

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO DE UN SIMULADOR DE ARRANQUE DE UN
MOTOR CATERPILLAR PARA ENTRENAMIENTO DEL
PERSONAL TÉCNICO**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECATRÓNICO
RICARDO EDUARDO CANO MARÍN
PROMOCIÓN 2009-II**

LIMA-PERÚ

2013

A Cristo, mi Salvador, la razón de mi existir.

A mi familia, a mis padres, Ricardo Cano Osorio y Elisa Marín Hinostroza, ejemplo de vida, amor y entrega, quienes con su esfuerzo hicieron realidad que haya llegado hasta este punto. A mi hermanita, Elisa Cano Marín, por el ánimo que me infunde y su cariño. A mi novia, Carla Lujan Flores, por su amor y constante aliento. Los amo, que Dios me guíe y enseñe a amarlos más.

“Porque en él fueron creadas todas las cosas, las que hay en los cielos y las que hay en la tierra, visibles e invisibles; sean tronos, sean dominios, sean principados, sean potestades; todo fue creado por medio de él y para él”. Col. 1:16

ÍNDICE

	Pág.
PRÓLOGO	1
1. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	3
1.1. ANTECEDENTES	3
1.2. OBJETIVOS	5
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	5
1.2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	5
1.3. JUSTIFICACIÓN	6
1.4. ALCANCE Y LIMITACIONES	11
2. CAPITULO II: ESTUDIO DE LOS SENSORES DE UN MOTOR C7 – CATERPILLAR	12
2.1. EL PAPEL DE LOS SENSORES EN UN MOTOR C7 CATERPILLAR	12
2.2. CLASIFICACIÓN DE SENSORES SEGÚN CATERPILLAR	43
2.3. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE SENSORES CATERPILLAR	62
2.4. CÓDIGOS DE FALLA, EVENTOS Y REGIÓN DE OPERACIÓN	102
3. CAPÍTULO III: PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN	103
3.1. DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR	103
3.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA SIMULADOR	104
3.3. GENERACIÓN DE SEÑALES	104
3.4. SIMULACIÓN	124
3.5. DIAGRAMA GENERAL DE LAS CONEXIONES	129
CONCLUSIONES	
BIBLIOGRAFÍA	
MATERIAL DE REFERENCIA	
ANEXOS	
PLANOS	

PRÓLOGO

La capacitación y entrenamiento del personal técnico especializado ha cobrado un papel protagónico en los últimos años, cada vez es más frecuente encontrar áreas de capacitación de personal en las empresas, programas de entrenamiento y desarrollo de habilidades.

La palabra entrenamiento podría entenderse de muchas maneras, quisiera usar la definición que mejor se ajusta a los propósitos del presente informe, considerando que el entrenamiento es un medio para desarrollar la fuerza laboral, preparando a la persona para enfrentar situaciones dentro de su trabajo.

Para la mejor realización del trabajo, el mismo se ha dividido en capítulos de la manera siguiente:

En el Capítulo I, Introducción del estudio, se presenta la situación problemática que enfrenta el proyecto, se citan los objetivos de este trabajo, además los antecedentes y finalmente la justificación del planteamiento de solución.

En el Capítulo II, “ESTUDIO DE LOS SENsoRES DE UN MOTOR C7, trata del estudio de los sensores en un motor C7 (Caterpillar), su clasificación y la obtención de las curvas características de los sensores estudiados.

En el Capítulo III, “PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN”, se detalla el lenguaje de programación en dos alternativas, generación de señales, replicando la data de los sensores y la simulación con el software.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Ferreyros S.A. cuenta con un área de capacitación, llamada Área de Desarrollo de Personal Técnico y Capacitación, la que tiene como misión y visión lo siguiente:

MISIÓN

Brindar servicios de formación de clase mundial en el área técnica, operativa y desarrollo personal a nuestros clientes para apoyarlos en obtener el mejor rendimiento en la inversión de bienes de capital y elemento humano

VISIÓN

Ser reconocido como un centro de capacitación y formación de clase mundial de los distribuidores Caterpillar en desarrollo técnico, operativo y personal que satisface las necesidades de nuestros clientes

De tal manera que ya hace varios años, la problemática de la empresa se centra en lograr ser un centro de capacitación y formación de clase mundial, en sus inicios con la capacitación *uno a uno*, formación en aulas y campo, sin embargo, la capacidad del personal se ve sobrepasada por la creciente necesidad del mercado de técnicos, por lo que se logra un estándar en cuanto a material de estudio, es decir manuales con certificación Caterpillar, poco a poco se forma y equipa un espacio destinado solamente al entrenamiento del personal técnico, llamado CDT, Centro de Desarrollo Técnico, en el que ahora, no solamente se realizan entrenamientos simulados, sino también, gracias a las gestiones internas, se cuenta con componentes y algunas máquinas que, juntamente con los manuales, facilitan el entrenamiento y capacitación.

Y por si fuera poco, ahora no solo se necesita la formación de personal técnico en cuestiones de mecánica de mantenimiento, sino también en temas de electricidad, que es un tema sumamente abstracto, con lo que nace la necesidad de módulos de entrenamiento en electricidad, para facilitar el entrenamiento, iniciando con material de proveedores externos y así poco a poco con la llegada de estos primeros módulos, se genera la oportunidad de crear módulos propios de acuerdo a la realidad de la necesidad de la empresa.

Alineado con la visión del área donde trabajo, los objetivos de la misma y de la empresa, me veo en la necesidad de generar herramientas innovadoras, como la que se diseñará y simulará, que permitan mejorar el entrenamiento y capacitación del personal.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este trabajo es el diseño de un simulador del arranque de un motor Caterpillar C7, para obtener una herramienta más de entrenamiento de personal técnico de la empresa Ferreyros S.A.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir de manera clara el principio de funcionamiento de un motor Caterpillar, específicamente un motor electrónico C7.

Describir los sensores y su rol en un motor Caterpillar.

Clasificar los sensores en un motor Caterpillar.

Determinar y graficar las curvas características de los sensores de un motor Caterpillar.

Obtener los datos de las señales de los sensores de un motor Caterpillar en el momento del arranque y replicarlas con lenguaje de programación.

Simular las señales generadas con software de simulación electrónico.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Definiré algunos conceptos que usaré a lo largo del contenido del informe.

Habilidad: Un conocimiento teórico y práctico sobre el mantenimiento de maquinaria pesada.

Certificación: El proceso de verificación de una habilidad en la empresa Ferreyros S.A.

Certificador: La persona que lleva a cabo la certificación como parte evaluadora.

Certificando: La persona que lleva a cabo la certificación como parte evaluada.

Citaré las declaraciones del gerente del área, Ramiro Bouroncle, en las que hace referencia a la creación de una escuela de operadores de maquinaria pesada, que se basa en gran parte en el uso de simuladores virtuales.

Fueron declaraciones al diario Gestión, el día miércoles 26 de septiembre del 2012.

“El Perú tiene un déficit de 4,000 operarios de maquinaria pesada, ya que la mayoría de trabajadores de este tipo aprendieron su oficio de manera empírica, sostiene Ramiro Bouroncle, gerente de Desarrollo de Personal Técnico y Capacitación de Ferreyros.

Según Bouroncle, los operadores no profesionales, si bien saben utilizar la maquinaria, “no toman en cuenta estándares de seguridad ni de mantenimiento básico, y no hacen rendir el equipo para alcanzar su productividad óptima”.

Frente a este escenario, Ferreyros, Tecsup y Caterpillar instalaron en el 2009 una escuela de operarios de maquinaria pesada en Mala, que es única en Latinoamérica. De este centro ya han egresado más de 900 estudiantes.

En la escuela, los estudiantes aprenden el correcto uso de cinco equipos: cargador frontal, excavadora hidráulica, tractor de hoja topadora, motoniveladora y camión minero fuera de carretera. El curso por cada maquinaria es de 80 horas, dentro de las cuales los estudiantes toman clases teóricas, practican el manejo en **simuladores virtuales** y finalmente suben al equipo real.

Bouroncle hace hincapié en que enseñar a operar maquinaria pesada en simuladores ayuda a reducir los costos y a afinar las habilidades, ya que los programas utilizados llevan una cuenta de los aciertos y errores cometidos, y cuáles pueden ser corregidos en tiempo real, sin estropear el equipo ni gastar combustible.

La escuela de operarios está abierta a personas de todo el Perú, especialmente jóvenes de zonas en las cuales existen proyectos mineros o de construcción. Además, Ferreyros busca incentivar a las empresas a que apuesten por capacitar el talento local.

Otro punto interesante es la participación de las mujeres. “Por nuestra escuela ya han pasado unas 23 y han demostrado ser más cuidadosas con el equipo y seguir

mejor las reglas. Además son muy productivas y tienen un promedio de notas mayor al de los varones”.”.

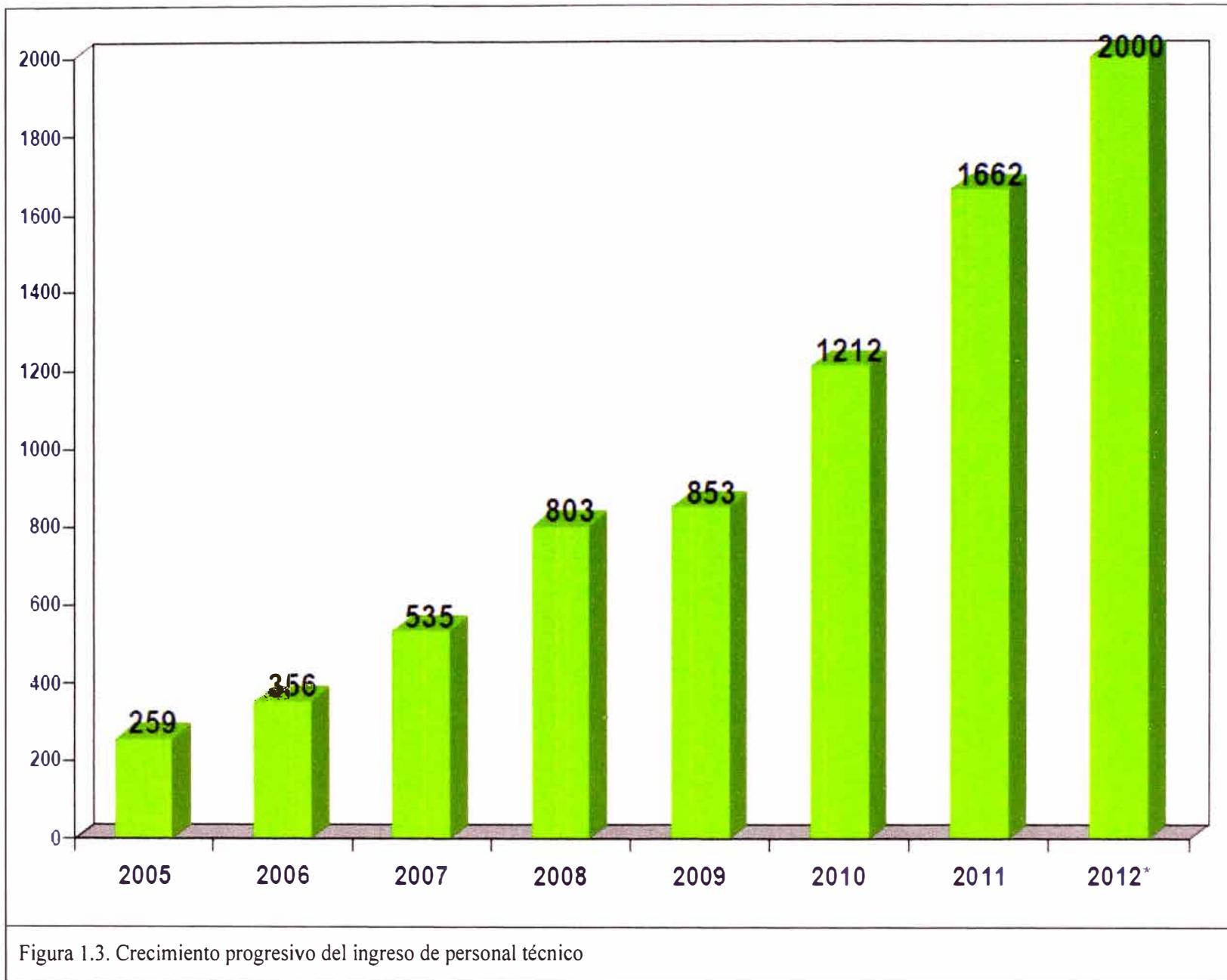
Además quiero resaltar el crecimiento de la empresa con respecto a la contratación de personal técnico, lo que implica también un incremento considerable en las certificaciones.

Programa	Objetivo 2011	Objetivo 2012	Incremento
SP	10,500	13,500	29%
LP	240	350	46%
FORTEC	400	500	25%
MSP	-	800	-
TOTAL	11,140	15,150	36%

Figura 1.1. Crecimiento progresivo de los objetivos de certificación

Programa	Objetivo	Resultado	% Avance
SP	23,000	4854	21.1%
LP	750	251	33.5%
FORTEC	300	108	36.0%
MSP	1000	157	15.7%
TOTAL	25,050	5370	21.4%

Figura 1.2. Crecimiento progresivo de los objetivos de certificación – Revisión 1er Trimestre 2013



1.4. ALCANCE Y LIMITACIONES

El proyecto, dentro del área de la capacitación y entrenamiento del personal técnico, trata del diseño de un simulador de arranque de un motor C7 Caterpillar, para el entrenamiento del personal técnico, utilizando técnicas de identificación de señales, programación con microcontroladores y simulación con software de ingeniería.

Este proyecto trata principalmente del funcionamiento electrónico del motor C7, así como los sensores que son necesarios para el correcto arranque de ese motor.

Este proyecto utiliza como recurso principal, el tiempo del proyectista.

Queda fuera del alcance de este proyecto la implementación del simulador y su impacto a largo plazo en la población de los técnicos de la empresa.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE LOS SENSORES DE UN MOTOR C7 – CATERPILLAR

2.1. EL PAPEL DE LOS SENSORES EN UN MOTOR C7 CATERPILLAR

Dado que el presente proyecto trata acerca del funcionamiento electrónico del motor C7 Caterpillar, trataremos del funcionamiento básico del motor, la función los sensores principales involucrados en el arranque del motor y los tipos que se encuentran en él.

El motor C7 es un motor de seis cilindros en línea. El orden de encendido del motor es 1-5-3-6-2-4. La rotación del motor es hacia la izquierda cuando se mira el motor desde el extremo de la volante. Utiliza un turbocompresor y un posenfriador aire a aire. Los cilindros tienen un calibre de 110 mm y una carrera de 127 mm. El desplazamiento es de 7,2 L.

El sistema de combustible es HEUI, llamado así por sus siglas en inglés, que traducido significa: Inyector Unitario controlado Electrónicamente accionado Hidráulicamente, este sistema elimina algunos de los componentes mecánicos que están en un sistema previo. El sistema de combustible HEUI también permite un mayor control de la sincronización y de la mezcla de combustible y aire. El avance de la sincronización se logra mediante un control preciso de la sincronización de los

inyectores unitarios. Las rpm del motor se controlan ajustando la duración de la inyección. Se dispone de una rueda especial de impulsos que proporciona información al Módulo de Control Electrónico (ECM) para detectar la posición del cilindro número 1 y las rpm del motor.

El ECM de motor tiene incorporados códigos de diagnóstico para asegurar que todos los componentes funcionen correctamente.

En caso de que falle un componente del sistema, una lámpara indicadora del estado del motor ubicada en el tablero de instrumentos avisará al operador. Se puede utilizar una herramienta electrónica de servicio para leer el código numérico del componente defectuoso o del estado del equipo.

El Módulo de Control Electrónico (ECM) del motor proporcionará automáticamente la cantidad correcta de combustible para arrancar el motor. No se debe mantener el acelerador pisado mientras el motor esté girando. Si el motor no arranca en veinte segundos, suelte el interruptor de arranque. Deje que el motor eléctrico de arranque se enfrie durante dos minutos antes de intentar arrancar otra vez.

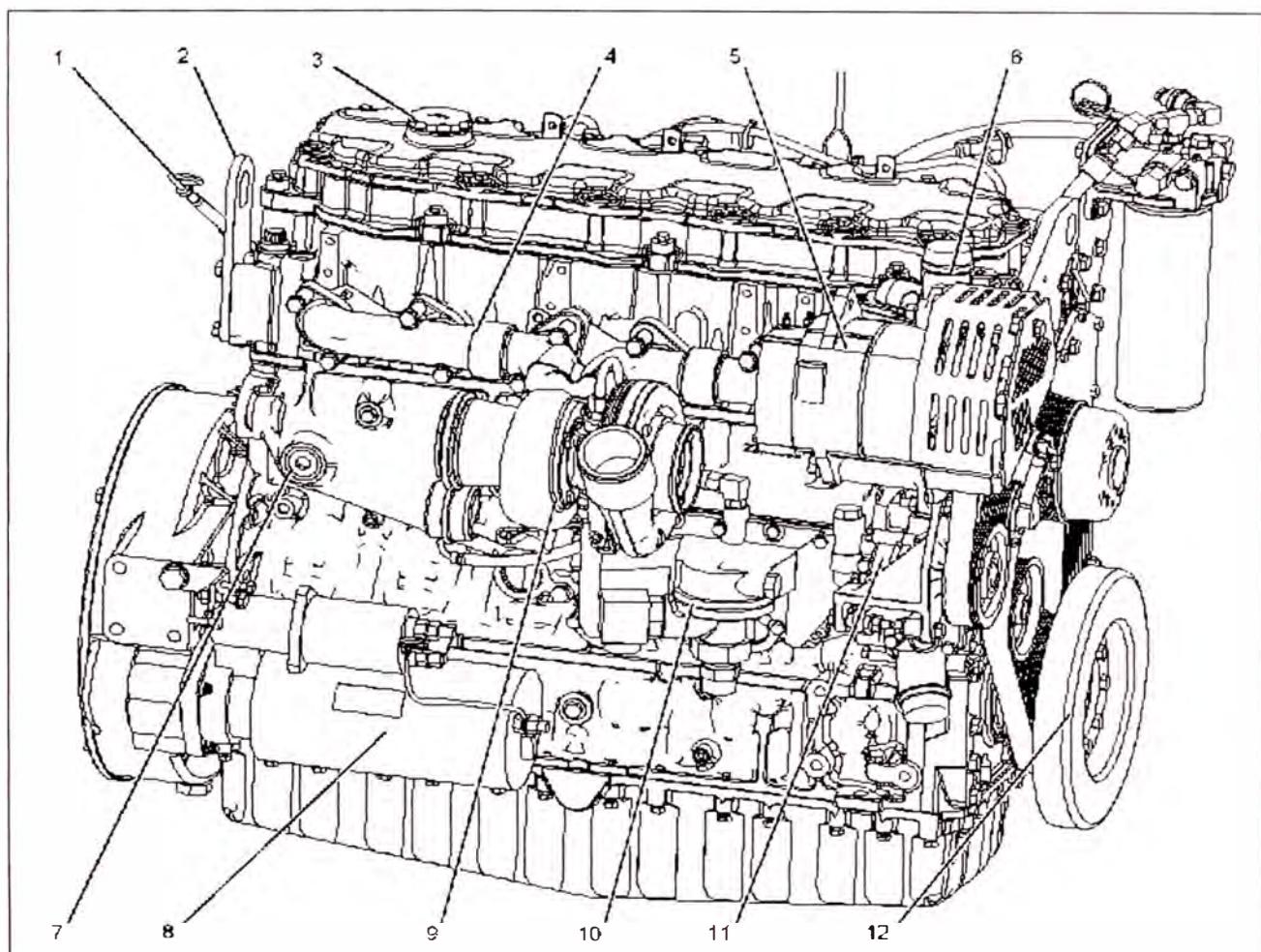


Figura 2.1. Vista lateral derecha

1. Indicador del nivel de combustible	7. Conexión de la manguera del calentador
2. Cáncamo de levantamiento	8. Motor de arranque
3. Tapa de llenado de aceite	9. Turbocompresor
4. Múltiple de escape	10. Base del filtro de aceite para el filtro de aceite remoto
5. Alternador	11. Bomba de agua
6. Caja del termostato	12. Amortiguador de vibraciones del cigüeñal

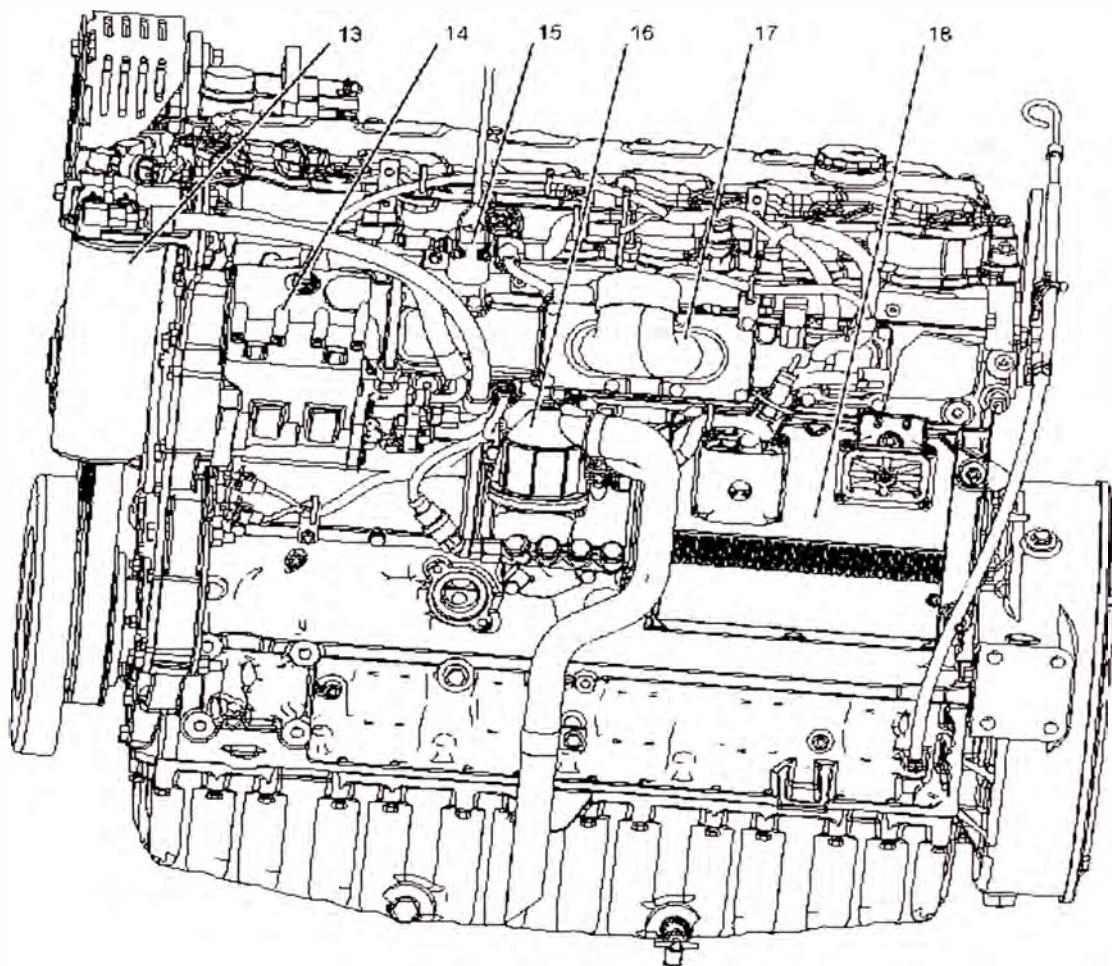


Figura 2.2. Vista lateral izquierda

13. Filtro de combustible	16. Respiradero del cárter del motor
14. Bomba hidráulica del inyector unitario	17. Codo de admisión
15. Relé del calentador de aire de admisión	18. Módulo de Control Electrónico (ECM)

El sistema de control electrónico está diseñado integralmente en el sistema de combustible y el sistema de admisión y escape, para controlar electrónicamente el suministro de combustible y la sincronización de la inyección. El sistema de control electrónico proporciona un mejor control de la sincronización y de la relación aire/combustible en comparación con los motores mecánicos convencionales. La sincronización de inyección se logra al controlar de forma precisa el tiempo de encendido del inyector. Las rpm del motor se controlan ajustando la duración de la

inyección. El Módulo de Control Electrónico (ECM) energiza los solenoides de los inyectores unitarios para comenzar la inyección de combustible y los desenergiza para detener la inyección de combustible.

Sistema de combustible

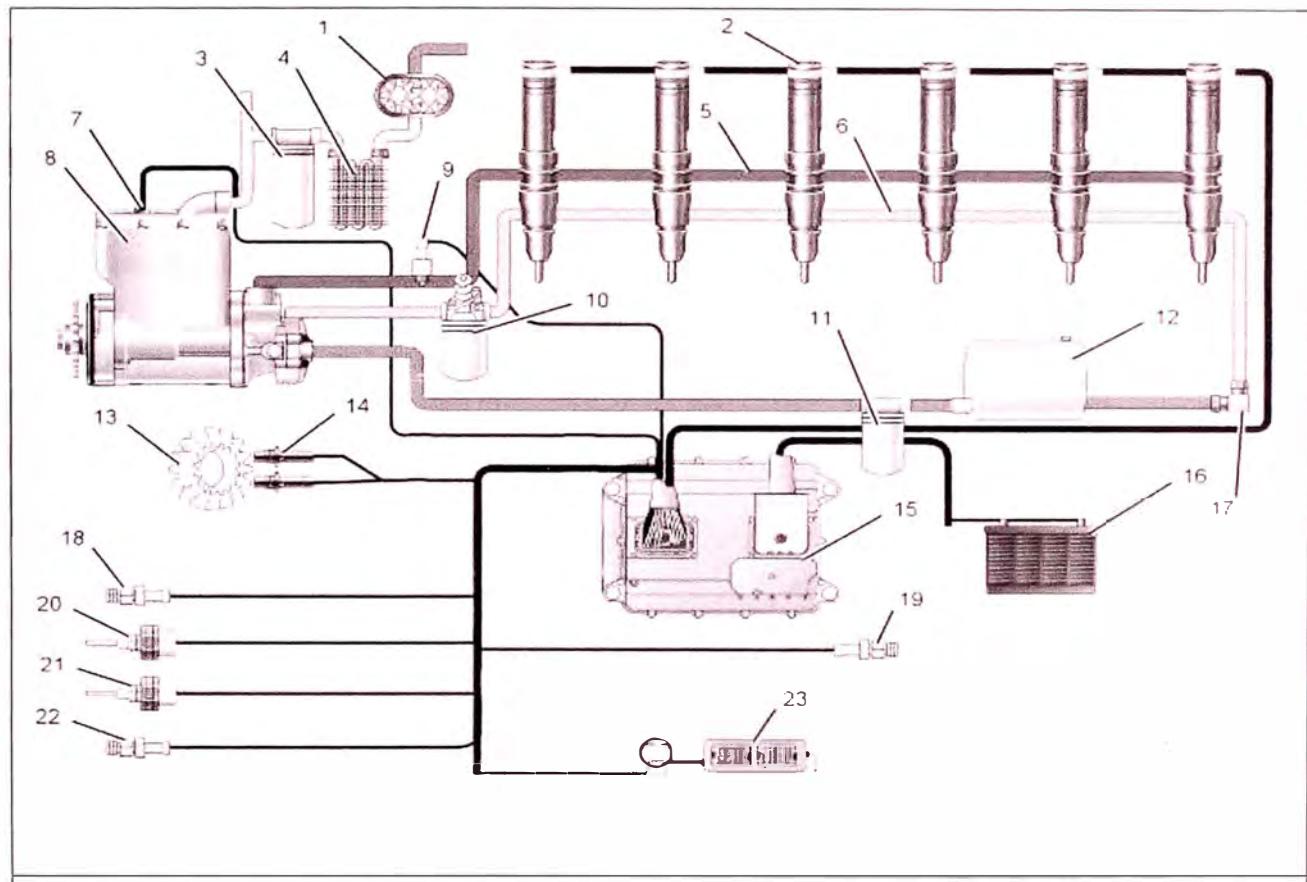


Figura 2.3. Componentes del sistema de combustible

1. Bomba de aceite	13. Engranaje del árbol de levas
2. Inyectores unitarios electrónicos hidráulicos	14. Sensores de velocidad/sincronización
3. Filtro de aceite	15. Módulo de Control Electrónico (ECM)
4. Enfriador de aceite	16. Batería
5. Aceite de alta presión	17. Regulador de presión de combustible
6. Tubería de combustible de baja presión	18. Sensor de presión del múltiple de admisión
7. Conector para la válvula de control de presión de accionamiento de la inyección (IAPCV)	19. Sensor de presión del aceite
8. Bomba hidráulica de inyector unitario	20. Sensor de temperatura del refrigerante
9. Sensor para la presión de accionamiento de la inyección (IAP)	21. Sensor de temperatura del aire de admisión
10. Filtro de combustible	22. Sensor de presión atmosférica
11. Filtro primario de combustible y separador de agua	23. Calentador de admisión de aire
12. Tanque de combustible	

La operación del sistema de combustible HEUI es completamente diferente de cualquier otro sistema de combustible accionado mecánicamente. Este sistema no necesita ajustes en lo absoluto.

No se pueden hacer ajustes a los componentes mecánicos. Los cambios de rendimiento se efectúan mediante la instalación de un software diferente en el Módulo de Control Electrónico (ECM), esta es una operación también llamada “Flasheo del ECM”.

Este sistema de combustible consta de cuatro componentes básicos:

- HEUI.
- ECM.
- Bomba hidráulica del inyector unitario.
- Bomba de transferencia de combustible.

Descripción de componentes

Injector unitario electrónico hidráulico – Injector HEUI

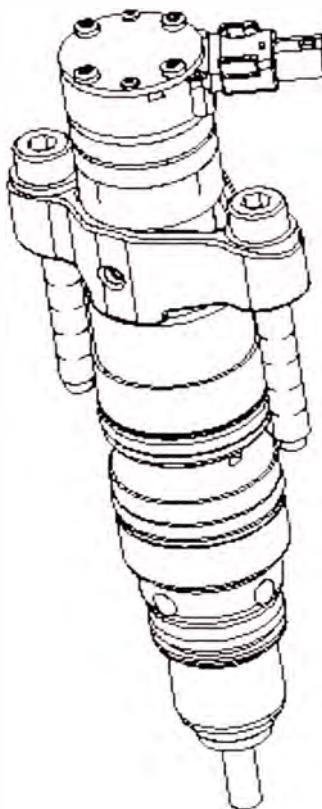


Figura 2.4. Inyector unitario

El sistema de combustible utiliza un inyector unitario electrónico accionado hidráulicamente.

Todos los sistemas de combustible para motores diesel utilizan un émbolo y un cañón para bombear el combustible a alta presión a la cámara de combustión. El HEUI utiliza aceite de motor a alta presión para impulsar el émbolo. El HEUI utiliza aceite lubricante del motor que se presuriza de 6 MPa (875 lb/pulg²) a 28 MPa

(4.050 lb/pulg²) para bombear combustible desde el inyector. Al aceite de alta presión se le llama presión de accionamiento de la inyección. El sistema HEUI opera de la misma forma que un cilindro hidráulico para multiplicar la fuerza del aceite de alta presión. Esta multiplicación de la presión se alcanza al aplicar la fuerza del aceite de alta presión a un pistón. El pistón es aproximadamente seis veces más grande que el émbolo. El pistón, que está impulsado por el aceite lubricante del motor a alta presión, empuja el émbolo. La presión de accionamiento del aceite genera la presión de inyección que se suministra por el inyector unitario. La presión de inyección es aproximadamente seis veces mayor que la presión de accionamiento del aceite.

ECM

El ECM está ubicado en el lado izquierdo del motor. Es una computadora potente que proporciona un control electrónico total del rendimiento del motor. Utiliza los datos de rendimiento del motor reunidos por varios sensores y utiliza estos datos para hacer los ajustes al suministro de combustible, la presión de inyección y la sincronización de la inyección. El ECM contiene mapas de rendimiento programados (software) para definir la potencia, las curvas de par motor y las rpm.

El ECM registra las fallas del rendimiento del motor. El ECM también es capaz de operar automáticamente varias pruebas de diagnóstico cuando se utilizan el ECM y el software Electronic Technician (ET) de Caterpillar conjuntamente.

Bomba hidráulica del inyector unitario

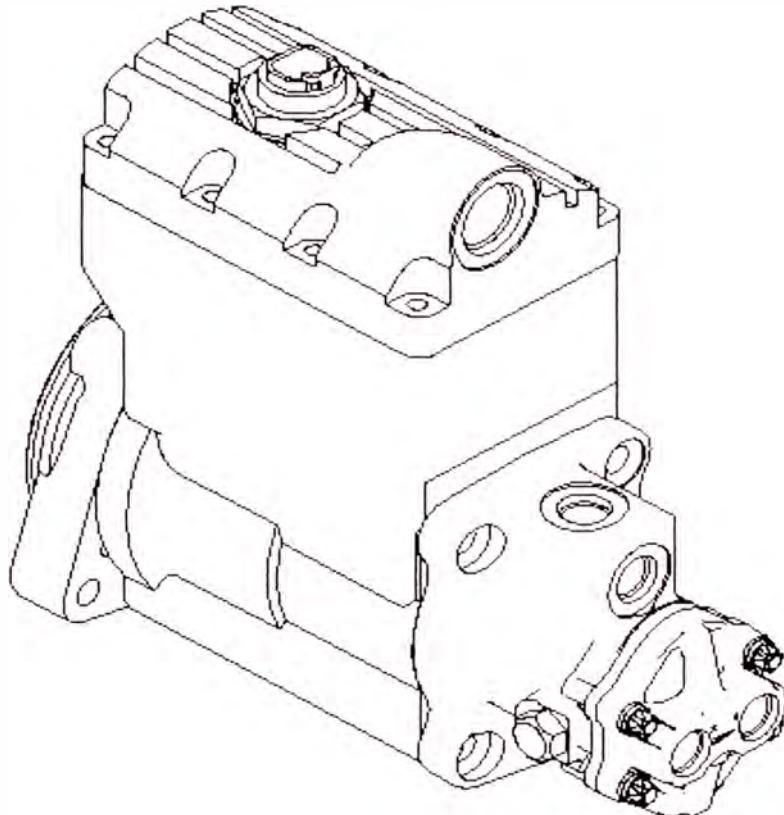
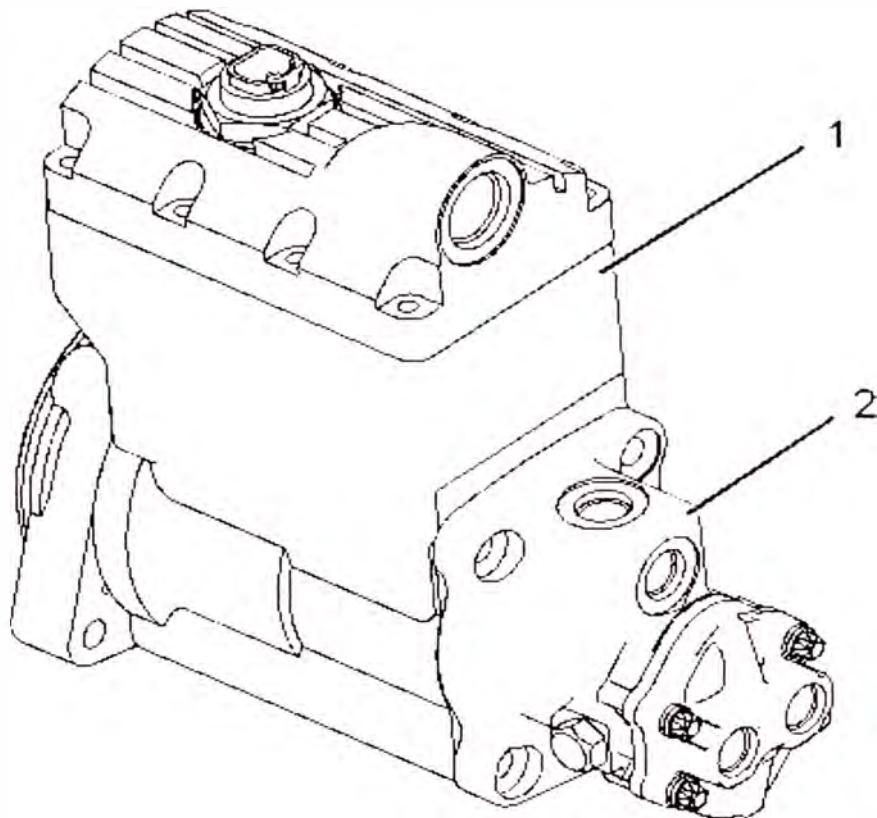


Figura 2.5. Bomba hidráulica del inyector unitario con bomba de transferencia de combustible

La bomba hidráulica del inyector unitario es una bomba de pistones de suministro variable. Utiliza una parte del aceite lubricante del motor. Presuriza el aceite lubricante del motor hasta la presión de accionamiento de la inyección requerida para impulsar los inyectores HEUI.

Bomba de transferencia de combustible**Figura 2.6.**

1. Bomba hidráulica del inyector unitario
2. Bomba mecánica de transferencia de combustible

La bomba mecánica de transferencia de combustible está montada en la parte trasera de la bomba hidráulica del inyector unitario. Es la única pieza reemplazable de la bomba hidráulica del inyector unitario. Se usa para extraer combustible del tanque de combustible. Además, para presurizar el combustible a 450 kPa (66 lb/pulg²). La bomba de transferencia de combustible tiene una válvula de alivio interna para proteger el sistema. El combustible presurizado se suministra a los inyectores.

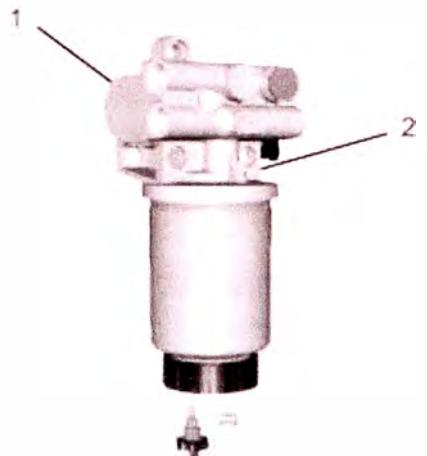


Figura 2.7.

1. Bomba eléctrica de transferencia de combustible
2. Base del filtro de combustible primario

La bomba eléctrica de transferencia de combustible está montada sobre la parte superior del filtro de combustible primario y del separador de agua. Esta pieza también es la única pieza reemplazable de la bomba hidráulica del inyector unitario. Se usa para extraer combustible del tanque de combustible. Además, la bomba de transferencia de combustible se utiliza para presurizar el combustible a 450 kPa (66 lb/pulg²). La bomba de transferencia de combustible tiene una válvula de alivio interna para proteger el sistema. El combustible presurizado se suministra a los inyectores.

Sensor de presión de accionamiento de la inyección (IAP)

El sensor IAP vigila la presión de accionamiento de la inyección. Envía una señal de voltaje continua de regreso al ECM, el ECM interpreta esta señal, lo que le permite monitorear, durante toda la operación, la presión de accionamiento de la inyección. El ECM analiza el voltaje del sensor y ajusta, de acuerdo al análisis, la corriente al solenoide de activación de la bomba hidráulica.

Sistema de combustible HEUI

Sistema de combustible de baja presión

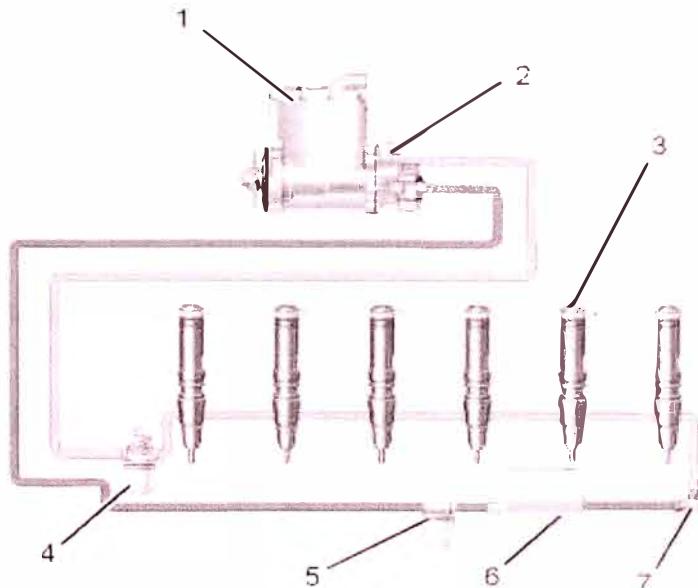


Figura 2.8. Sistema de combustible de baja presión

1. Bomba hidráulica del inyector unitario	5. Filtro de combustible primario y separador de agua
2. Bomba de transferencia de combustible	6. Tanque de combustible
3. Inyector unitario electrónico hidráulico	7. Regulador de presión de combustible
4. Filtro de combustible secundario	

El sistema de combustible de baja presión cumple dos funciones. Suministra el combustible para la combustión a los inyectores. Y también suministra un exceso de flujo de combustible para quitar el aire del sistema. Consta de cinco componentes básicos:

- Tanque de combustible
- Filtro primario de combustible/separador de agua
- Filtro de combustible secundario de dos micrones
- Bomba de transferencia de combustible
- Regulador de presión de combustible

El combustible se extrae del tanque de combustible y fluye a través de un filtro de combustible primario/separador de agua de trece micrones. El filtro de combustible primario/separador de agua elimina los agentes contaminantes externos “grandes” del combustible. El elemento de filtro primario separa también el agua del combustible. El agua se acumula en el recipiente que está en la parte inferior del filtro de combustible primario/separador de agua.

El combustible fluye desde el filtro de combustible primario/separador de agua hasta el lado de admisión de la bomba de transferencia de combustible. La válvula de retención de admisión en el orificio de admisión de la bomba de transferencia de combustible se abre para permitir el flujo del combustible a la bomba. Después de detener el flujo del combustible, esta válvula se cierra para evitar que el combustible salga del orificio de admisión. El combustible fluye desde el orificio de admisión de la bomba hasta el orificio de salida. El combustible presurizado fluye desde el orificio de salida de la bomba hasta el filtro de

combustible secundario de dos micrones. Un filtro de combustible secundario de dos micrones es estándar en todos los motores de Caterpillar. Estos filtros de combustible son de alta eficiencia. Este filtro quita los contaminantes abrasivos muy pequeños del combustible. El filtro de combustible primario/separador de agua no atrapa estos contaminantes pequeños. Las partículas abrasivas muy pequeñas en el combustible causan un deterioro abrasivo de los inyectores unitarios. El filtro de combustible secundario quita las partículas de dos micrones de tamaño o mayores. El uso y el mantenimiento regular de este filtro de dos micrones proporcionan una mejora significativa en la vida útil del inyector.

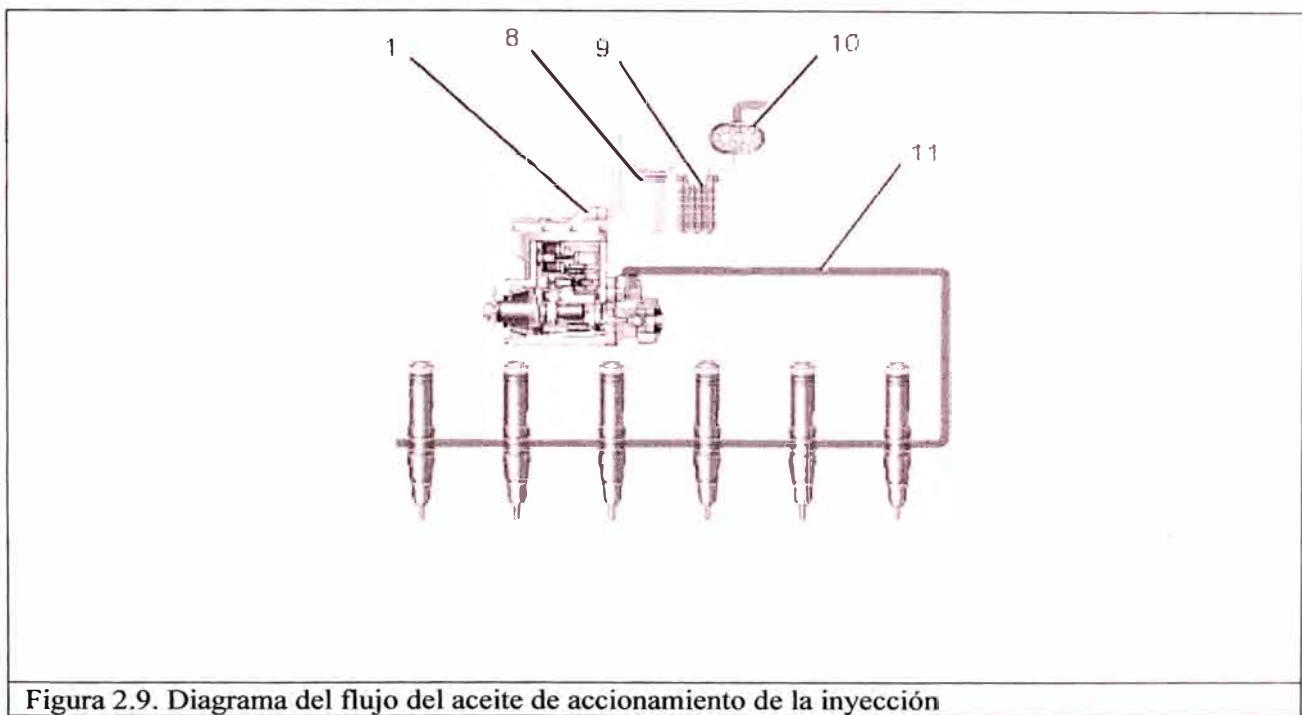
El combustible fluye desde el filtro secundario de dos micrones hasta el conducto de suministro de combustible en la culata de cilindro. El conducto de suministro de combustible es un orificio taladrado que comienza en la parte delantera de la culata de cilindro. El conducto de suministro de combustible se extiende hasta la parte trasera de la culata de cilindro. Este conducto se conecta con cada orificio del inyector unitario para suministrar combustible a los inyectores unitarios. El exceso de combustible sale por la parte trasera de la culata de cilindro. El combustible ingresa al regulador de presión de combustible.

El regulador de presión de combustible consta de un orificio y una válvula de retención con presión de resorte. El orificio es una restricción de flujo que presuriza el combustible de suministro. La válvula de retención con presión de resorte se abre a 35 kPa (5 lb/pulg²) para permitir que el combustible que haya fluido a través del orificio regrese al tanque de combustible. Cuando el motor está parado, no hay ninguna presión de combustible que esté actuando en la válvula de retención. Al no

haber presión de combustible en la válvula de retención, esta válvula se cierra. La válvula de retención se cierra para evitar que el combustible que esté en la culata de cilindro se drene de regreso al tanque de combustible.

Sistema de accionamiento de la inyección

Flujo de aceite de accionamiento



El sistema de accionamiento de la inyección tiene dos funciones. Suministra aceite de alta presión para impulsar los inyectores. Además, regula la presión de inyección producida por los inyectores unitarios al cambiar la presión de accionamiento del aceite.

El sistema de accionamiento de la inyección consta de cuatro componentes básicos:

- Bomba de aceite del motor
- Filtro de aceite del motor
- Bomba hidráulica del inyector unitario
- Sensor IAP

La bomba de aceite del motor presuriza el aceite que se extrae del sumidero para la presión de aceite del sistema de lubricación. El aceite fluye desde la bomba de aceite del motor a través del enfriador de aceite del motor, a través del filtro de aceite del motor y después hasta el conducto de aceite principal. Un circuito separado del conducto de aceite principal dirige una parte del aceite lubricante para alimentar la bomba hidráulica del inyector unitario. Un tubo de acero en el lado izquierdo del motor conecta el conducto de aceite principal con el orificio de admisión de la bomba hidráulica del inyector unitario. El punto de conexión es el orificio superior del múltiple en la tapa del lado del motor.

El aceite fluye dentro del orificio de admisión de la bomba hidráulica del inyector unitario y llena el depósito de la bomba. El depósito de la bomba proporciona aceite a la bomba hidráulica del inyector unitario durante el arranque. Además, el depósito de la bomba proporciona aceite a la bomba hidráulica del inyector unitario hasta que la bomba de aceite del motor pueda aumentar la presión.

El aceite del depósito de la bomba se presuriza en la bomba hidráulica del inyector unitario y luego se expulsa del orificio de salida de la bomba bajo alta

presión. El aceite fluye entonces desde el orificio de salida de la bomba hidráulica del inyector unitario hasta el conducto de aceite de alta presión en la culata.

El aceite de accionamiento que está bajo alta presión fluye desde la bomba hidráulica del inyector unitario, a través de la culata, a todos los inyectores. El aceite presurizado se mantiene en el conducto de alta presión hasta que los inyectores unitarios lo requieran. El aceite que los inyectores unitarios agotaron se expulsa por debajo de las tapas de válvulas, este aceite regresa al cárter a través de los orificios de drenaje del aceite en la culata.

Control de la presión del aceite de accionamiento

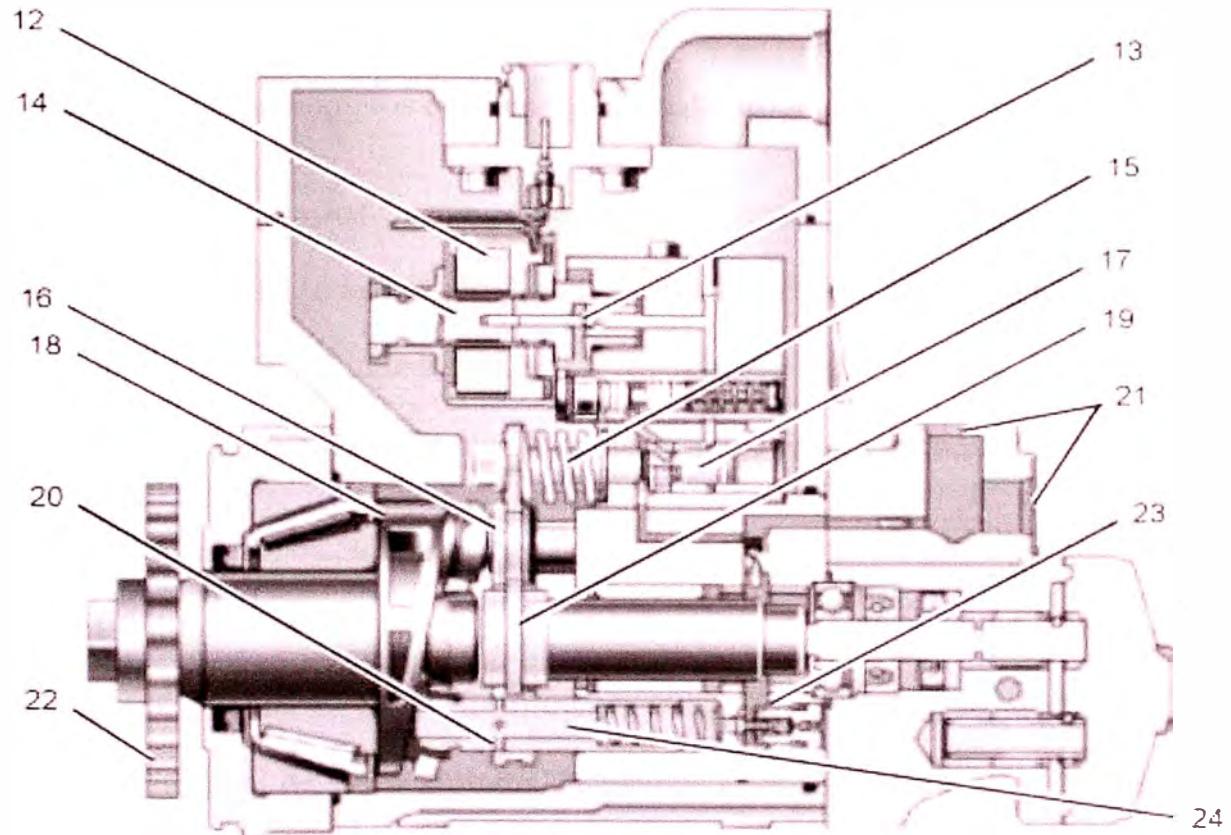


Figura 2.10. Vista en corte de la bomba hidráulica

12. Solenoide de la válvula de control	19. Rueda loca
13. Válvula de disco	20. Orificio de derrame
14. Inducido	21. Orificios de salida de la bomba
15. Resorte del accionador	22. Engranaje de mando
16. Manguito deslizante	23. Válvula de retención
17. Pistón del accionador	24. Pistón
18. Disco de mando excéntrico	

La bomba hidráulica del inyector unitario es una bomba de pistones de suministro variable. Utiliza un disco de mando angulado que gira. Los pistones no giran. Los pistones se mueven en relación con el disco de mando angulado. Los pistones se mueven en los manguitos deslizantes.

El tren de engranajes en la parte delantera del motor impulsa la bomba hidráulica del inyector unitario. El engranaje de mando en la parte delantera de la bomba hace girar el eje común. El disco de mando angulado está montado en el eje común. La rotación del disco de mando angulado causa que el pistón de la bomba se mueva dentro de los manguitos deslizantes hacia dentro y hacia afuera.

A medida que los pistones se mueven hacia fuera de los manguitos deslizantes, el aceite es arrastrado hacia el interior de los pistones a través del conducto en el disco de mando. El aceite es forzado fuera del pistón cuando se empuja el pistón hacia atrás en el manguito deslizante y se exponen los orificios.

Al cambiar la posición relativa del manguito deslizante al orificio de derrame, cambia el volumen de aceite en el pistón. La ubicación del manguito deslizante cambia continuamente. El ECM determina la ubicación del manguito deslizante. Al cambiar la ubicación de los manguitos deslizantes, cambia el flujo de la bomba. El resultado es la cantidad de aceite que se puede presurizar.

La presión del sistema de accionamiento de la inyección se controla al adaptar el flujo de salida de la bomba y la presión resultante a la demanda de presión para el sistema de accionamiento de la inyección. Se cambia la posición de los manguitos deslizantes para controlar el flujo de salida de la bomba. Si se mueven los manguitos al tope izquierda, se cubre el orificio de derrame para una distancia más larga. Esto aumenta la carrera eficaz de bombeo y el flujo de salida de la bomba. Si se mueven los manguitos al tope derecho, se cubren los orificios de derrame para una distancia más corta, lo cual reduce la carrera eficaz de bombeo. Esto también reduce el flujo de salida de la bomba.

Los manguitos deslizantes están conectados por una rueda loca. Un manguito está conectado a un pistón accionador. Al mover el pistón accionador hacia la derecha o hacia la izquierda, la rueda loca y los manguitos se mueven la misma distancia hacia la derecha o hacia la izquierda.

La cantidad de corriente del ECM al solenoide de control determina la presión de control. Una pequeña cantidad del flujo de salida de la bomba pasa a través de un conducto pequeño en el pistón accionador. Esta pequeña cantidad sale de un orificio y penetra en la cavidad de la presión de control. Una pequeña válvula de disco limita la presión en esta cavidad. La abertura de la válvula de disco permite que una porción del aceite en la cavidad fluya hacia el drenaje. Una fuerza mantiene cerrada la válvula de disco. Esta fuerza en la válvula de disco es creada por un campo magnético que actúa en un inducido. La resistencia del campo magnético determina la presión necesaria para soportar la fuerza del resorte del accionador.

Un aumento de corriente al solenoide causa un aumento a los siguientes elementos:

- La resistencia del campo magnético
- La fuerza en el inducido y la válvula de disco
- La presión de control que mueve el pistón accionador a una posición que causa más flujo

Una reducción de corriente al solenoide causa una reducción en los siguientes elementos:

- La resistencia del campo magnético
- La fuerza en el inducido y la válvula de disco
- La presión de control que mueve el pistón accionador a una posición que causa menos flujo

El ECM controla la presión de accionamiento. Cambia constantemente la corriente a la válvula de control de la bomba para controlar la presión de accionamiento. Tres componentes trabajan en conjunto en un circuito de bucle cerrado para controlar la presión de accionamiento:

- ECM
- Sensor IAP
- Válvula de control de la bomba

El circuito de bucle cerrado funciona de la siguiente manera:

- El ECM determina una presión de accionamiento deseada mediante la recolección de la información de las entradas del sensor y los mapas de software.
- El ECM controla la presión de accionamiento real a través de un voltaje constante de señal desde el sensor IAP.
- El ECM cambia constantemente la corriente de control a la válvula de control de la bomba. Esto cambia el flujo de salida de la bomba.

Hay dos tipos de presión de accionamiento:

- Presión de accionamiento deseada
- Presión de accionamiento real

La presión de accionamiento deseada es la presión de accionamiento de la inyección que el sistema necesita para lograr un rendimiento óptimo del motor. Los mapas de rendimiento en el ECM establecen la presión de accionamiento deseada. El ECM selecciona la presión de accionamiento deseada. La selección se basa en las entradas de señal de muchos sensores. El ECM obtiene entradas de señal de algunos de los siguientes sensores: sensor de posición del acelerador, sensor de presión de refuerzo, sensores de sincronización de velocidad y sensor de temperatura del refrigerante. La presión de accionamiento deseada cambia constantemente. El cambio se basa en diversas entradas de señal. La velocidad del motor y la carga del motor variables también provocan un cambio en la presión de accionamiento deseada. La presión de accionamiento deseada solamente es estable en condiciones de estado constante (velocidad y carga del motor constantes).

La presión de accionamiento real es la presión real del sistema del aceite de accionamiento que está impulsando los inyectores. El ECM y el regulador de presión de la bomba cambian constantemente la cantidad de flujo de salida de la bomba. Este cambio constante hace que la presión de accionamiento real sea igual a la presión de accionamiento deseada.

Injector HEUI (componentes)

El Inyector HEUI cumple cuatro funciones:

- El inyector HEUI presuriza el combustible de suministro desde 450 kPa (66 lb/pulg²) hasta 175 MPa (25.400 lb/pulg²).
- El inyector HEUI funciona como un atomizador al bombear el combustible de alta presión a través de los orificios restrictores de la punta del inyector unitario.
- El inyector HEUI suministra la cantidad correcta de combustible atomizado a la cámara de combustión.
- Y dispersa el combustible uniformemente por toda la cámara de combustión.

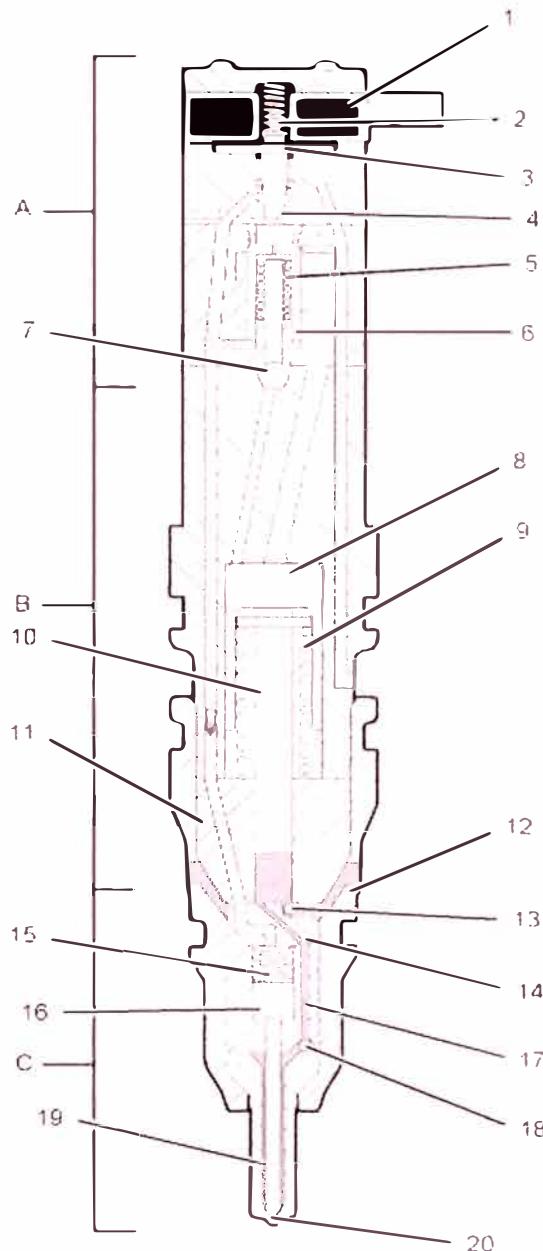


Figura 2.11. Sección transversal del inyector HEUI

1. Solenoide	11. Cañón
2. Resorte del inducido	12. Caja de la boquilla
3. Inducido	13. Dispositivo de retención del llenado de admisión
4. Pasador de asiento	14. Tope
5. Resorte de carrete	15. Resorte de la boquilla
6. Válvula de carrete	16. Pistón de retención
7. Bola de retención para el pistón intensificador	17. Manguito
8. Pistón intensificador	18. Válvula de retención de flujo inverso
9. Resorte de retorno	19. Dispositivo de retención de la boquilla
10. Émbolo	20. Punta de la boquilla

El inyector HEUI consta de tres piezas principales, según lo observado en la Figura 2.11.:

- Extremo superior o accionador (A)
- Punto intermedio o unidad de bombeo (B)
- Extremo inferior o conjunto de boquilla (C)

Estos componentes funcionan en conjunto para producir regímenes diferentes para la inyección de combustible. Los regímenes de inyección de combustible se controlan electrónicamente por el software de rendimiento en el ECM.

El motor utiliza los tres tipos de componentes electrónicos que se indican a continuación:

- Componente de entrada
- Componente de control
- Componente de salida

Un componente de entrada es aquel que envía una señal eléctrica al ECM del sistema. La señal enviada varía de una de las siguientes maneras:

- Voltaje
- Frecuencia
- Ancho de pulso modulado

La variación de las señales se produce debido a un cambio en cierto sistema específico del equipo. Algunos ejemplos específicos de un componente de entrada son los sensores de sincronización de velocidad del motor y el sensor de temperatura

del refrigerante. El ECM interpreta la señal procedente del componente de entrada como información sobre la condición, el entorno o la operación de la máquina.

Un componente de control recibe las señales de entrada de los componentes de entrada. Los circuitos electrónicos dentro del componente de control evalúan las señales de los componentes de entrada. Estos circuitos electrónicos también suministran energía eléctrica a los componentes de salida del sistema. La energía eléctrica suministrada a los componentes de salida se basa en combinaciones predeterminadas de los valores de las señales de entrada.

Un componente de salida es aquel que se controla por un módulo de control. El componente de salida recibe energía eléctrica del grupo de control. El componente de salida utiliza esa energía eléctrica en una de dos formas. El componente de salida puede utilizar esa energía eléctrica para realizar trabajo. El componente de salida también puede utilizar esa energía eléctrica para suministrar información.

Estos componentes electrónicos tienen la capacidad de controlar electrónicamente la operación del motor.

Los motores con controles electrónicos ofrecen las siguientes ventajas:

- Mejora en el rendimiento
- Mejora en el consumo de combustible
- Reducción en los niveles de emisiones

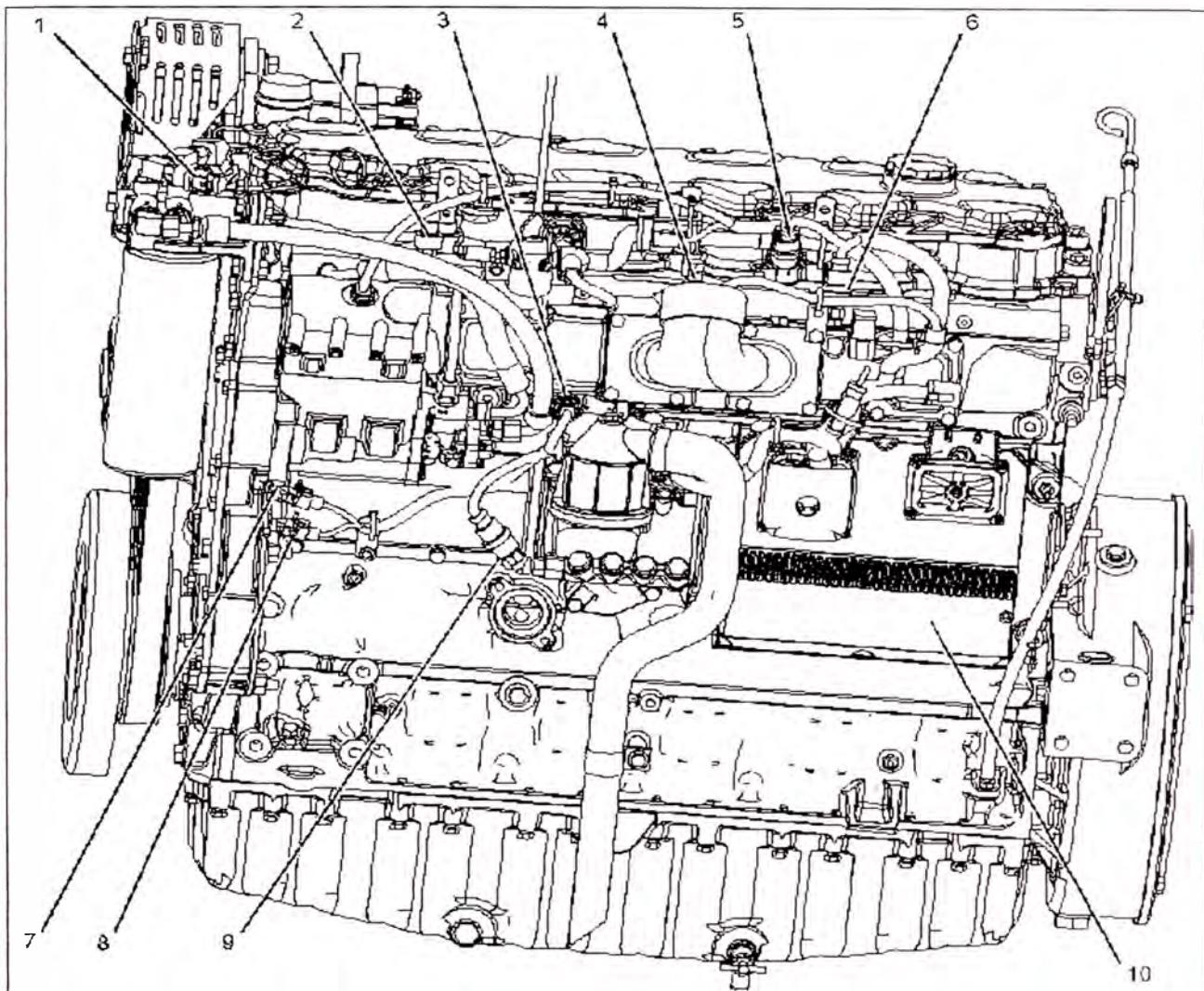


Figura 2.12. Componentes del sistema de control electrónico (vista lateral izquierda)

1. Sensor de la presión del combustible	6. Sensor de presión del múltiple de admisión
2. Sensor de presión de accionamiento de la inyección (IAP)	7. Sensor primario de velocidad/sincronización
3. Sensor de temperatura del refrigerante	8. Sensor secundario de velocidad/sincronización
4. Sensor de temperatura del aire de admisión	9. Sensor de presión del aceite
5. Sensor de presión atmosférica	10. Módulo de Control Electrónico (ECM)

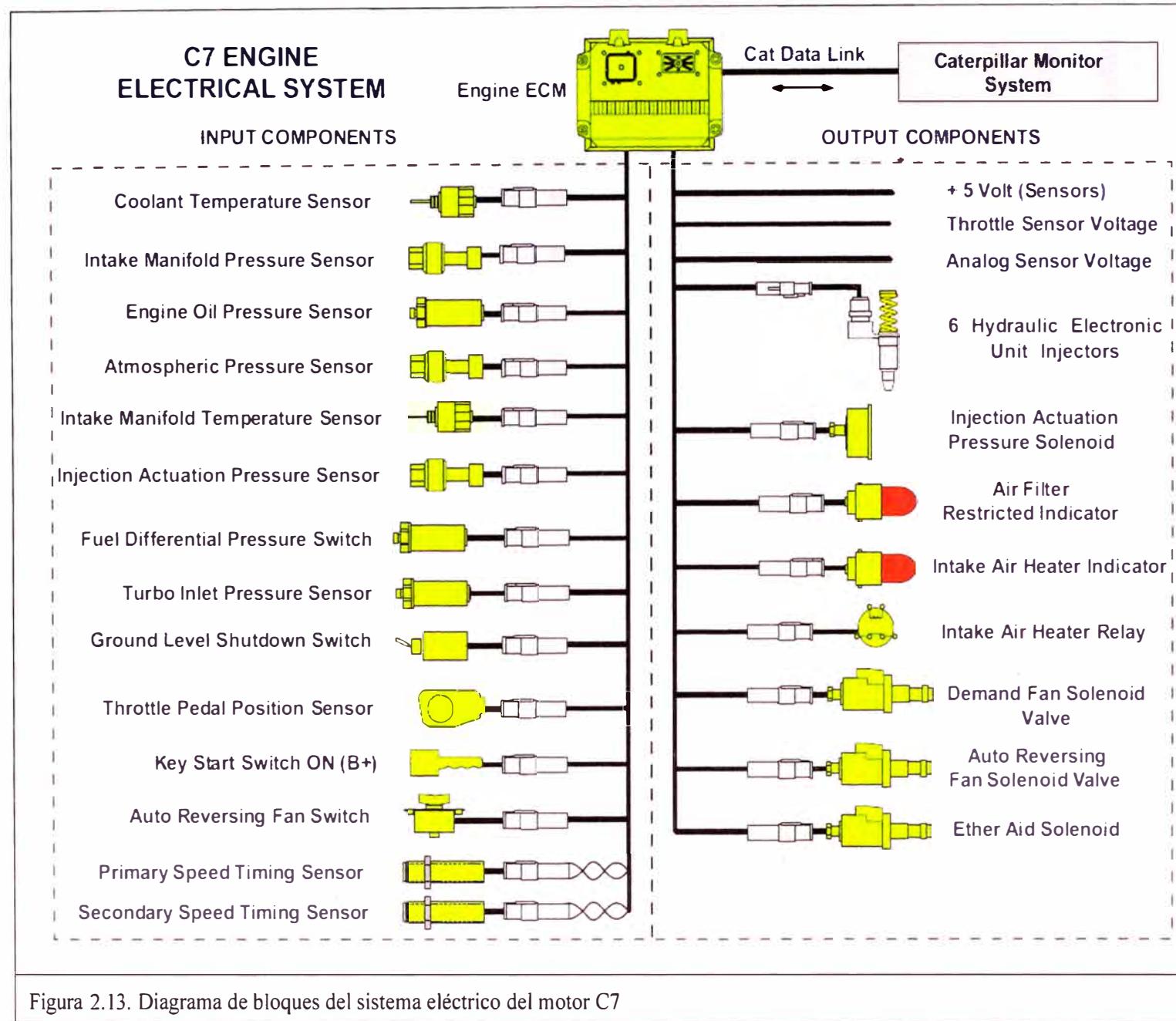


Figura 2.13. Diagrama de bloques del sistema eléctrico del motor C7

Este diagrama de bloques del sistema eléctrico del motor muestra los componentes que se montan en el motor que proporcionan señales de entrada y los componentes que reciben señales del Módulo de Control Electrónico (ECM) del motor.

Basado en las señales de entrada, el ECM del motor energiza las válvulas de solenoide del inyector para controlar de suministro de combustible al motor, y la válvula de solenoide proporcional ventilador de refrigeración para ajustar la presión al embrague del ventilador de enfriamiento.

Componentes de entrada:

Sensor de presión atmosférica - Se utiliza como una referencia para la restricción del filtro de aire. Además se utiliza para suministrar información al ECM de motor durante el funcionamiento a gran altitud.

Sensor de presión de entrada al turbocompresor – Este suministra información sobre la restricción de aire antes del paso por el turbocompresor.

Sensor de temperatura al múltiple de admisión – Este suministra información acerca de la temperatura de aire que entra en el múltiple de admisión de la ATAAC.

Sensor de presión al múltiple de admisión - Suministra información acerca de la presión de aire de refuerzo (boost) en el múltiple de admisión.

Switch de presión diferencial de combustible – Informa sobre la restricción de la presión de combustible, es decir la diferencia entre la presión a la salida de la base del filtro y la presión a la entrada de este.

Sensor de temperatura del refrigerante - Suministra información sobre la temperatura del refrigerante del motor. El ECM utiliza esta información para suministrar la corriente que demanda el solenoide del ventilador, alta temperatura del refrigerante genera alertas en el sistema de monitoreo, y produce una disminución de potencia en el motor.

Sensor de presión de aceite de motor - Suministra información sobre la presión de aceite del motor. El ECM usa esta información para generar advertencias sobre una baja presión de aceite y como protección disminuye la potencia del motor cuando esta presión es muy baja.

Sensor de posición del pedal acelerador - Este sensor envía una señal de ancho de pulso modulado (PWM) al ECM del motor con la cantidad de movimiento del pedal del gobernador. Esta señal se utiliza para aumentar o disminuir la cantidad de combustible por los inyectores.

Interruptor de apagado a nivel del suelo - Esta entrada desactiva la inyección de combustible cuando el motor está en marcha.

Sensor de sincronización de velocidad primario y secundario - Estos sensores de velocidad son sensores pasivos, que proporcionan una señal similar a una onda sinusoidal que varía en amplitud y frecuencia cuando la velocidad aumenta. El sensor monitorea la velocidad y posición de la rueda volante.

2.2. CLASIFICACIÓN DE SENSORES SEGÚN CATERPILLAR

SENDERS / SENSORS (VARIABLE INPUT DEVICES)			
Parameter Monitored	Sensor Makeup	Active or Passive	DMM Measurements
Speed	Pickup Coil	Passive (2 Wire)	Volts / Hz / Ohms
	Hall Effect	Active (2/3/4 Wire)	Volts / Hz / Duty Cycle
Temperature	Variable Resistor	Passive (2 Wire)	Volts / Ohms
	Variable Resistor	Active (3 Wire)	Volts / Ohms
	Variable Resistor	Active (3 Wire)	Volts / Hz / Duty Cycle
Pressure	Strain Gauge with Variable Resistor	Active (3 Wire)	Volts
		Active (3 Wire)	Volts / Hz / Duty Cycle
Position	Variable Resistor	Active (3 Wire)	Volts / Hz / Duty Cycle
	Hall Effect	Active (3 Wire)	
	Magnetoresistive	Active (3 Wire)	
Fuel Level	Variable Resistor	Passive (2 Wire)	Volts / Ohms
	Ultrasonic	Active (4 Wire)	Volts / Hz / Duty Cycle

Figura 2.14. Cuadro resumen de clasificación de sensores según Caterpillar

Los sensores como dispositivos de entrada (variables) se pueden clasificar en varias formas como se muestra en la Figura 14. Esta gráfica muestra los sensores típicos y sender que se encuentran en motores y máquinas CAT. Los tipos de sender y sensores en esta Figura se clasifican por el parámetro sensado. Otras características del sensor son:

- Sensor Makeup (Característica del Sensor): Los componentes internos que determinan el tipo de señal producido.
- Active or Passive (Activo o pasivo): Un sensor activo recibe alimentación del ECM o batería y debe ser alimentado para comprobar su funcionamiento. Un

sensor pasivo no requiere de alimentación del ECM y se puede probar sin aplicarle energía de alimentación.

- DMM Measurements (Mediciones DMM): Tipo de señal que puede ser medida con el multímetro digital.

Sensores pasivos

Los sensores pasivos son típicamente sensores de dos cables, con la excepción de los sender de un solo cable. Los sensores pasivos no requieren energía de la batería o ECM para poder funcionar y ser probados. Por lo general se pueden probar mediante la medición de la resistencia del sensor. Todos los sensores pasivos son del tipo analógico.

La asignación de los conectores para los sensores pasivos son los siguientes:

- Posición 1: Señal
- Posición 2: Retorno / Tierra

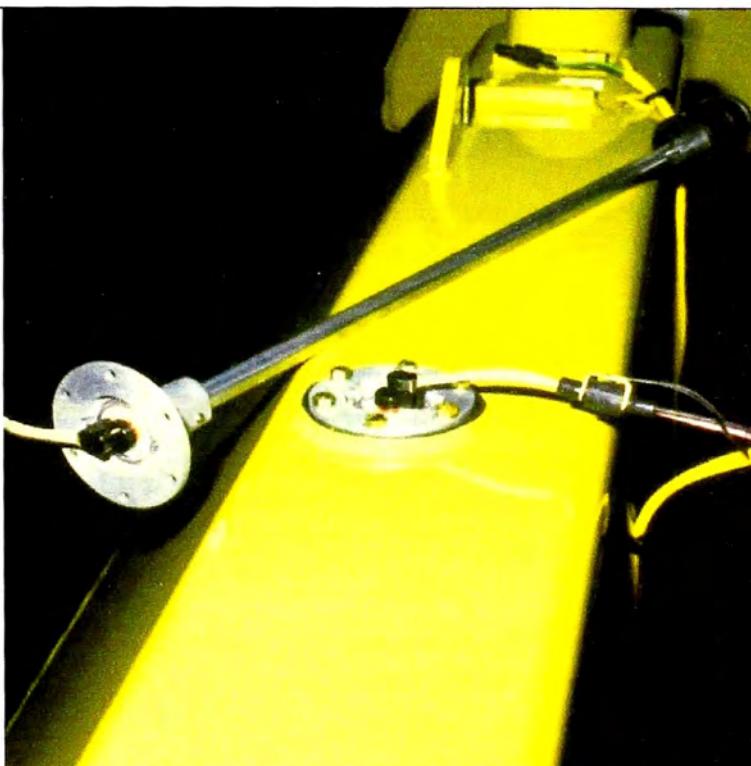


Figura 2.15. Sensores pasivos típicos

Sensores activos

Los sensores activos son típicamente sensores de tres cables, pero pueden ser de dos o cuatro hilos. Requieren energía de la batería o ECM con el fin de permitir su funcionamiento y de pruebas. Los sensores activos caen en una de dos categorías:

Analógico: Una señal que varía suavemente en el tiempo y en proporción al parámetro medido. Estas señales son típicamente DC.

Digital: Las señales digitales se asocian generalmente con controles electrónicos computarizados y dispositivos de medición. La señal varía entre dos niveles distintos, como por ejemplo 0-10 voltios o más, reconocido simplemente como baja y alta. Los componentes electrónicos internos de un sensor determinan la amplitud o nivel.

La asignación de los conectores para los sensores activos son los siguientes:

- A o Posición 1: Fuente o alimentación
- B o Posición 2: Retorno / Tierra
- C o Posiciones 3 o4: Señal



Figura 2.16. Sensor analógico (superior) y sensor digital (inferior)

Señales analógicas

Como se mencionó anteriormente, una señal analógica es una señal que varía con el tiempo sin problemas y en proporción al parámetro medido. Las señales analógicas de los equipos Cat son típicamente AC o tensión de DC. La Figura 2.17 muestra una señal analógica de un sensor de presión DC. Este tipo de señal electrónica es proporcional a la cantidad de presión detectada en un sistema, a medida que aumenta la presión, la resistencia del dispositivo de sensado cambia. El cambio en la resistencia, y en consecuencia el cambio de la tensión, serán detectados por el ECM.

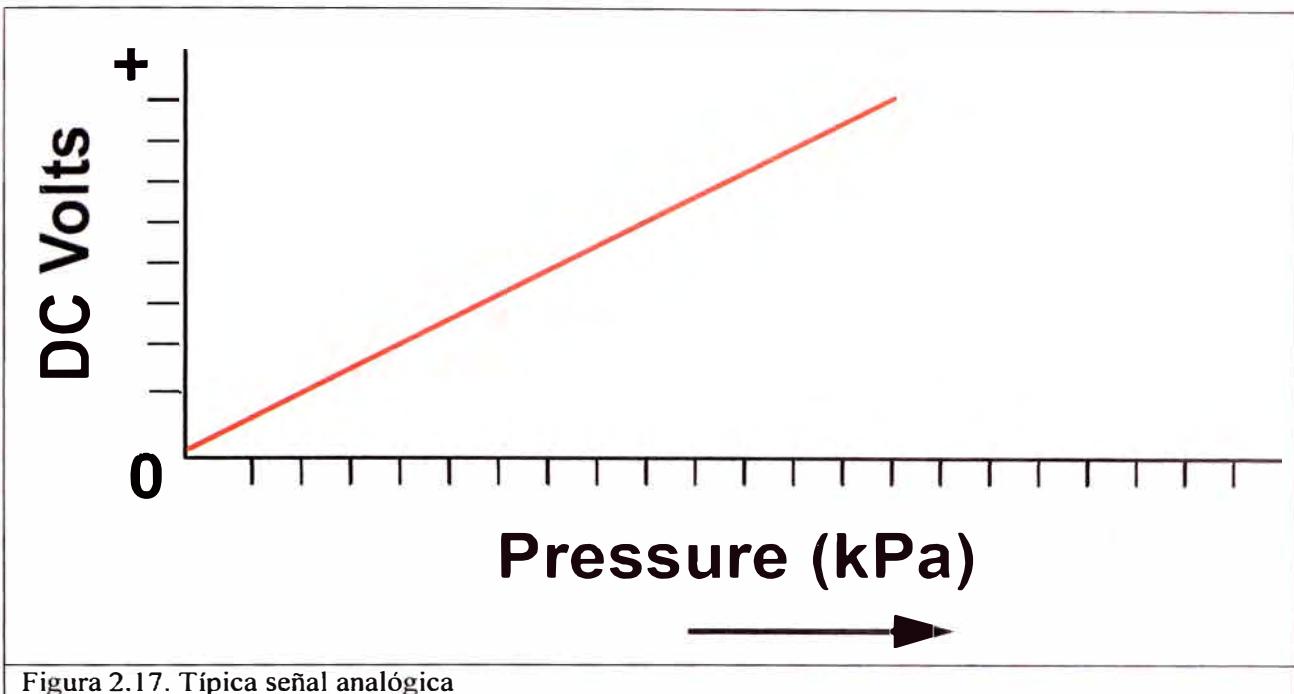
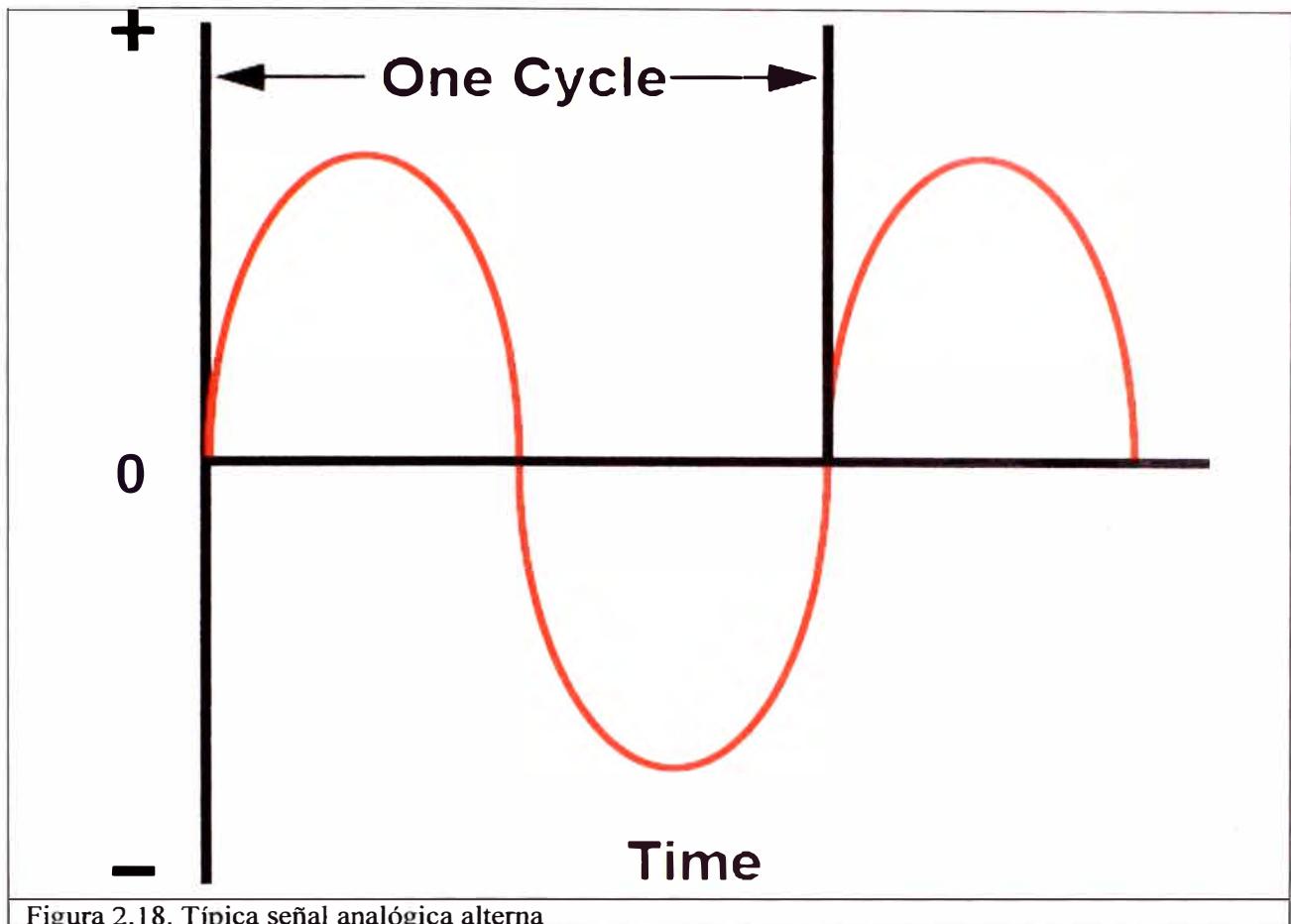


Figura 2.17. Típica señal analógica

La Figura 2.18 muestra una onda sinusoidal producida por los sensores de velocidad / tiempo analógicos. Las ondas sinusoidales son tipos de señales que cambian de dirección (corriente alterna). En el ejemplo de la Figura 2.18, la tensión se eleva a un valor de pico positivo, se reduce a cero, se invierte polaridad, se eleva a un valor negativo máximo y regresa a cero. Un pico positivo y uno negativa producen un ciclo. El ciclo se repite continuamente. El número de ciclos que se cuentan en un segundo se llama frecuencia y se mide en Hertz (Hz). A medida que la velocidad de los parámetros medidos aumenta, también lo hará la frecuencia.



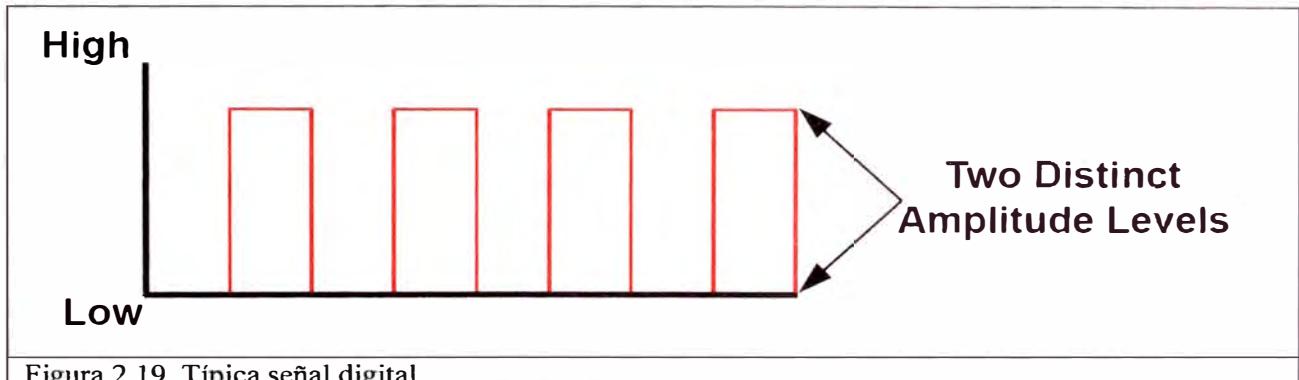
Señales Digitales

Las señales digitales alternan entre dos niveles distintos, como 0 a 10 voltios, o como alta y baja. Los componentes electrónicos internos de un dispositivo específico determinan la amplitud o nivel. Las señales digitales en los equipos Cat suelen ser de la anchura de pulso modulado (PWM) o de efecto Hall.

La Figura 2.19 muestra una señal típica de efecto Hall. Los sensores de efecto Hall operan utilizando un campo de corriente y una pieza de hierro (dientes de engranaje). Cuando el diente de engranaje se introduce perpendicular al campo magnético, los electrones se ven obligados orientarse a un lado del semiconductor. Cuando la corriente fluye a un lado del semiconductor, una diferencia de potencial se

puede detectar. Los dientes de los engranajes en movimiento a través de la celda Hall producen un estado "alto". El estado "bajo" indica que la celda Hall se encuentra en el valle, es decir entre dos dientes.

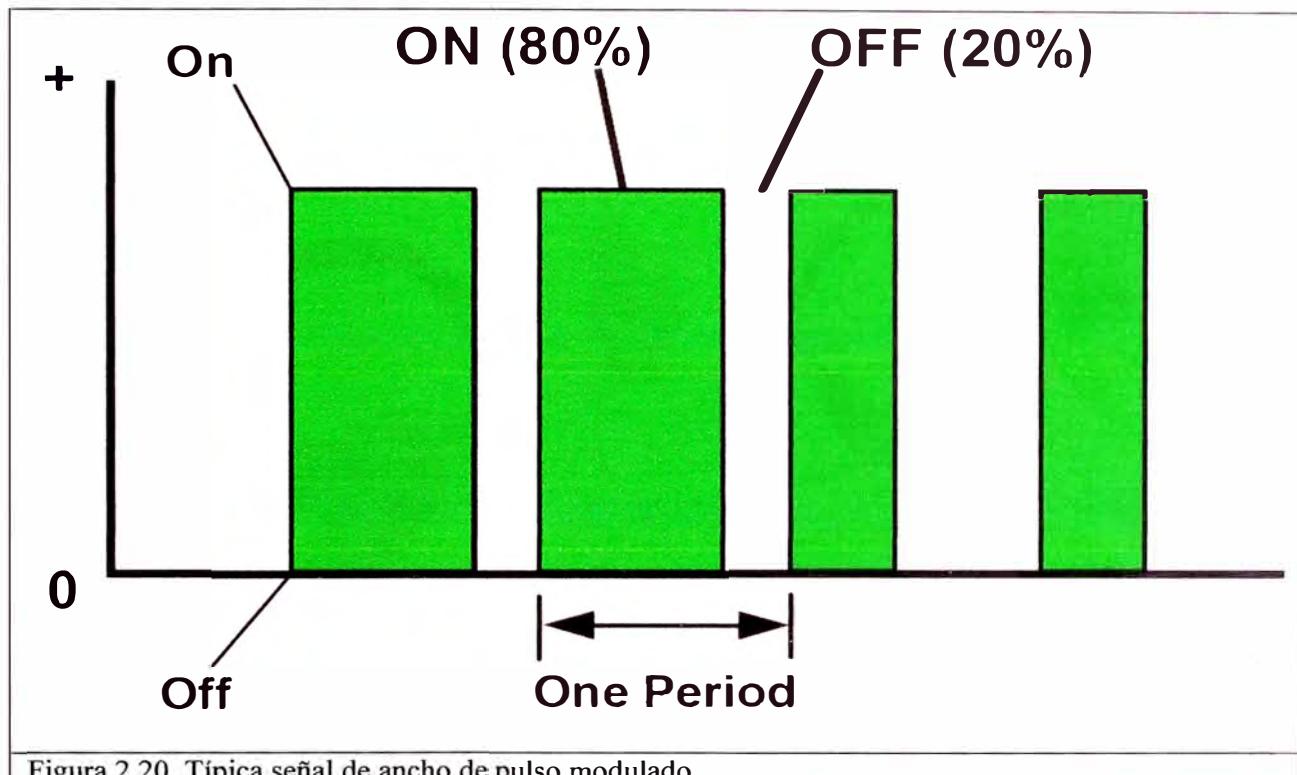
Las señales digitales creados por efecto Hall tendrán una frecuencia que varía con la velocidad del parámetro que se está midiendo, y tendrá típicamente un ciclo de trabajo constante de 50%.



La Figura 2.20 muestra una señal PWM. Una señal PWM se mide en ciclo de trabajo o carga, que se define como el tiempo activado en % (alta) vs % el tiempo apagada en % (bajo) para un pulso. En el ejemplo de la Figura 2.20, la señal está activada (o alta) el 80% del pulso y apagado (o bajo) el 20% del pulso. Esto indicaría un ciclo de trabajo de 80%.

En los equipos Cat, un sensor de posición sería un buen ejemplo de un dispositivo que produce una señal PWM. Una señal PWM tiene una salida de frecuencia constante y el ciclo de trabajo de la señal varía según las condiciones

varían (posición de giro). La salida del sensor es enviada a un ECM donde la señal es procesada e interpretada.



Tipos de sensores

Los sensores convierten un parámetro físico en una señal electrónica. Los controles electrónicos utilizan esta señal (información de entrada) para controlar el motor, las condiciones de la máquina y determinar las señales de salida apropiadas. Existen diferentes tipos de sensores que proporcionan esta información de entrada al ECM. Estos son:

- Velocidad / sincronización
- Temperatura
- Presión

- Posición
- Nivel de líquido



Figura 2.21. Algunos sensores Caterpillar

Sensores de sincronización/velocidad

Sensores pasivos

Un sensor magnético de tipo frecuencia pasivo (de dos hilos), convierte el movimiento mecánico a una tensión AC. Un sensor magnético típico consiste en una bobina, un polo magnético, un imán, y su carcasa. El sensor produce un campo magnético que, cuando se altera por el paso de un diente de un engranaje, genera

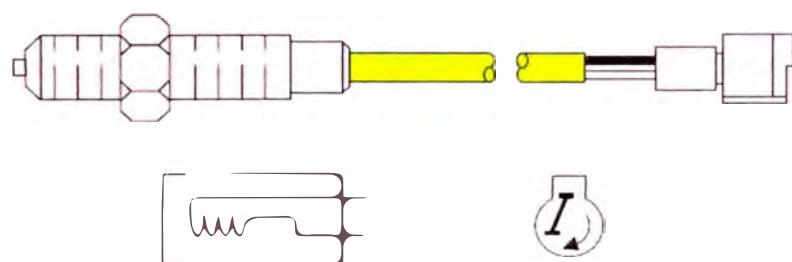
tensión AC en la bobina. La tensión AC y la frecuencia de la señal AC son proporcionales a la velocidad.

Los sensores pickup magnético se basan en la distancia entre el extremo de la pastilla magnética y el paso del diente del engranaje para funcionar correctamente. Normalmente, cuando se instala el sensor, se enrosca hasta que haga contacto con la parte superior de un diente del engranaje y luego se gira ligeramente en sentido inverso, con el propósito de alejar la pastilla magnética del diente del engranaje, antes de ser bloqueado en su lugar con una tuerca de bloqueo. Una señal débil puede indicar que el sensor está muy lejos del engranaje. Es importante comprobar las especificaciones al instalar estos sensores para asegurar la separación adecuada.

Los sensores de velocidad magnéticos de motor, pueden ser utilizados en pares. Uno de ellos es específicamente diseñado para un rendimiento óptimo a velocidades bajas del motor, como por ejemplo las que se producen durante arranque. El otro sensor está diseñado para un óptimo rendimiento a velocidades normales de funcionamiento del motor. El montaje de los sensores puede diferir unos de otros para evitar que sean intercambiados.

PASSIVE SPEED SENSORS

- Two-Wire Sensor
- Magnetic Pickup Coil



DMM MEASUREMENTS

- Volts
- Hz
- Ohms

Figura 2.22. Características del sensor de velocidad pasivo

Sensores Activos

Algunos sistemas electrónicos de Caterpillar utilizan sensores de efecto Hall para la detección magnética campos. El control electrónico de la transmisión utiliza este tipo de sensores para determinar velocidad de salida de la transmisión, y el sistema de inyección electrónica utiliza también este tipo de sensores para proporcionar señales de pulso y así determinar la velocidad y la sincronización del motor. Ambos tipos de sensores tienen una celda Hall situada en la punta del sensor. Cuando un diente de engranaje pasa por la celda Hall, el cambio en el campo magnético produce una pequeña señal. Los componentes electrónicos internos del sensor procesan la señal y envían una señal digital al ECM.

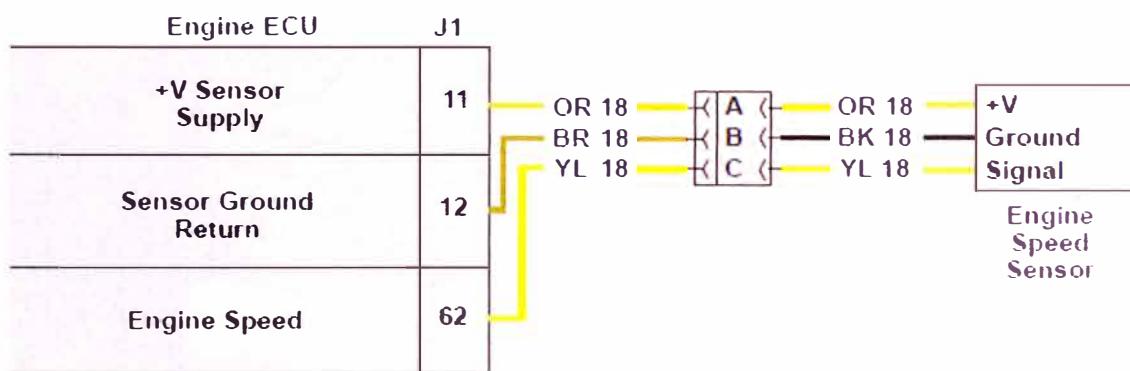
El elemento de detección es extremadamente preciso, ya que no depende de la velocidad. La elemento de detección opera a 0 rpm y en un amplio rango de temperaturas.

ACTIVE SPEED SENSORS

- Two, Three, or Four-Wire
- Hall-Effect



SPEED SENSOR CIRCUIT



DMM MEASUREMENTS

- Volts
- Frequency

Figura 2.23. Características del sensor de velocidad activo

Cuando un sensor de sincronización/velocidad cumple la función de medición de tiempo, utiliza los cambios en el campo magnético que se produce cuando pasa un diente de engranaje. Un patrón único en uno de los dientes de la rueda de sincronización permite al ECM determinar la posición del cigüeñal, la dirección de rotación, y las rpm. El ECM cuenta cada pulso y determina la velocidad, guarda en su memoria interna el patrón de los pulsos, y compara ese patrón a un estándar diseñado para determinar la posición del cigüeñal y la dirección de rotación. La Figura 24 muestra una rueda de sincronización y el sensor. A medida que cada diente de engranaje cuadrado (flecha) pasa por la celda, el elemento de detección genera una señal. Si la señal es inferior a la media, la salida será baja. Si la señal es superior a la media, la salida será alta.

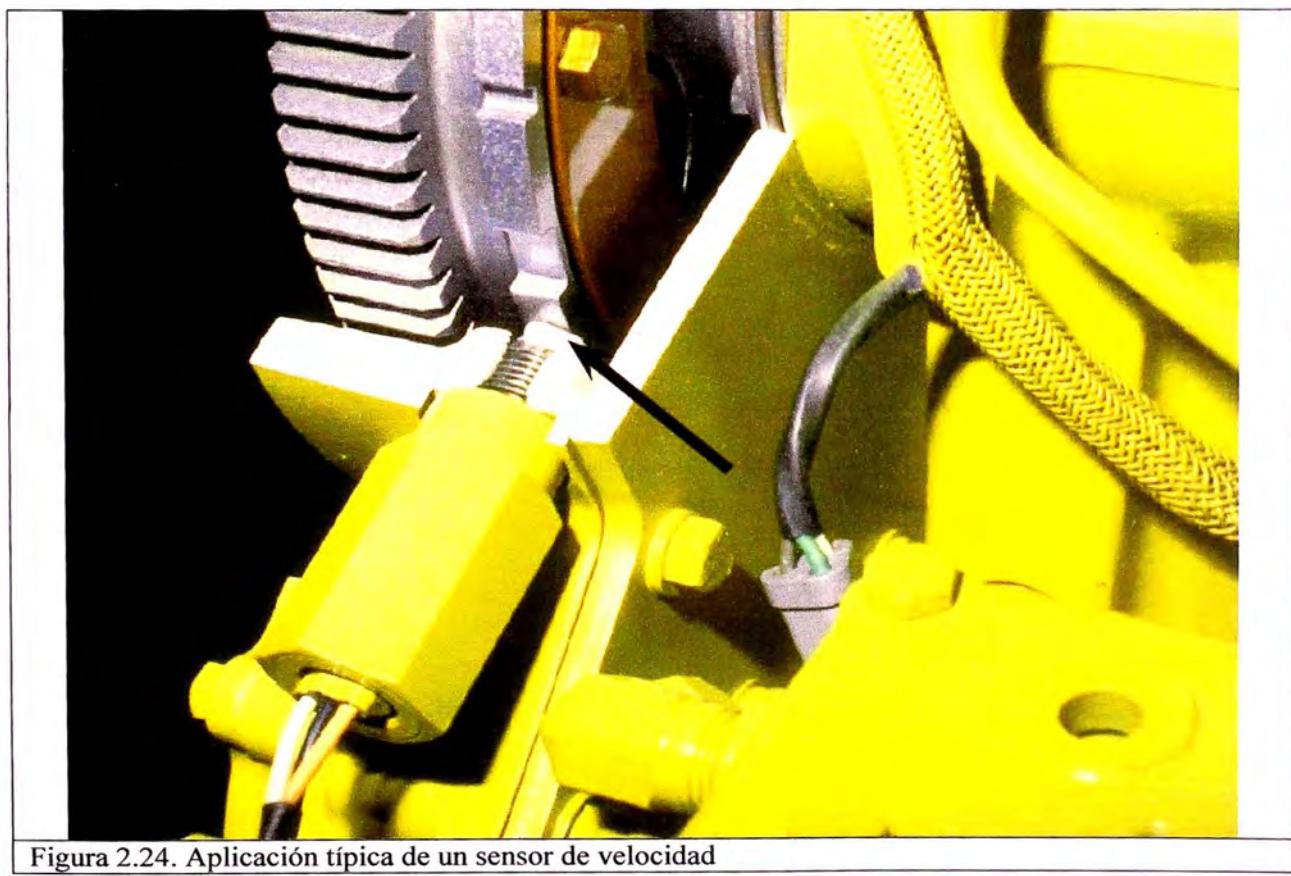


Figura 2.24. Aplicación típica de un sensor de velocidad

Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura miden la temperatura del refrigerante, aceite, aire de admisión, combustible, escape, etc. Estos sensores pueden ser activos (tres cables) o pasivos (dos cables). Tienen una resistencia variable sensible a la temperatura (termistor). La caídas de tensión de los sensores pasivos y la salida de voltaje de sensores analógicos activos correlacionan a una temperatura específica. En este tipo de sensor de temperatura, la señal (voltaje DC) se puede comprobar conectando el sensor. La resistencia del sensor de los sensores pasivos se puede comprobar sin alimentar el sensor. Los sensores activos digitales de temperatura también utilizan un termistor que es sensible a los cambios de la temperatura. Los circuitos internos del sensor convierten la salida analógica del termistor a una señal PWM, que se envía al ECM.

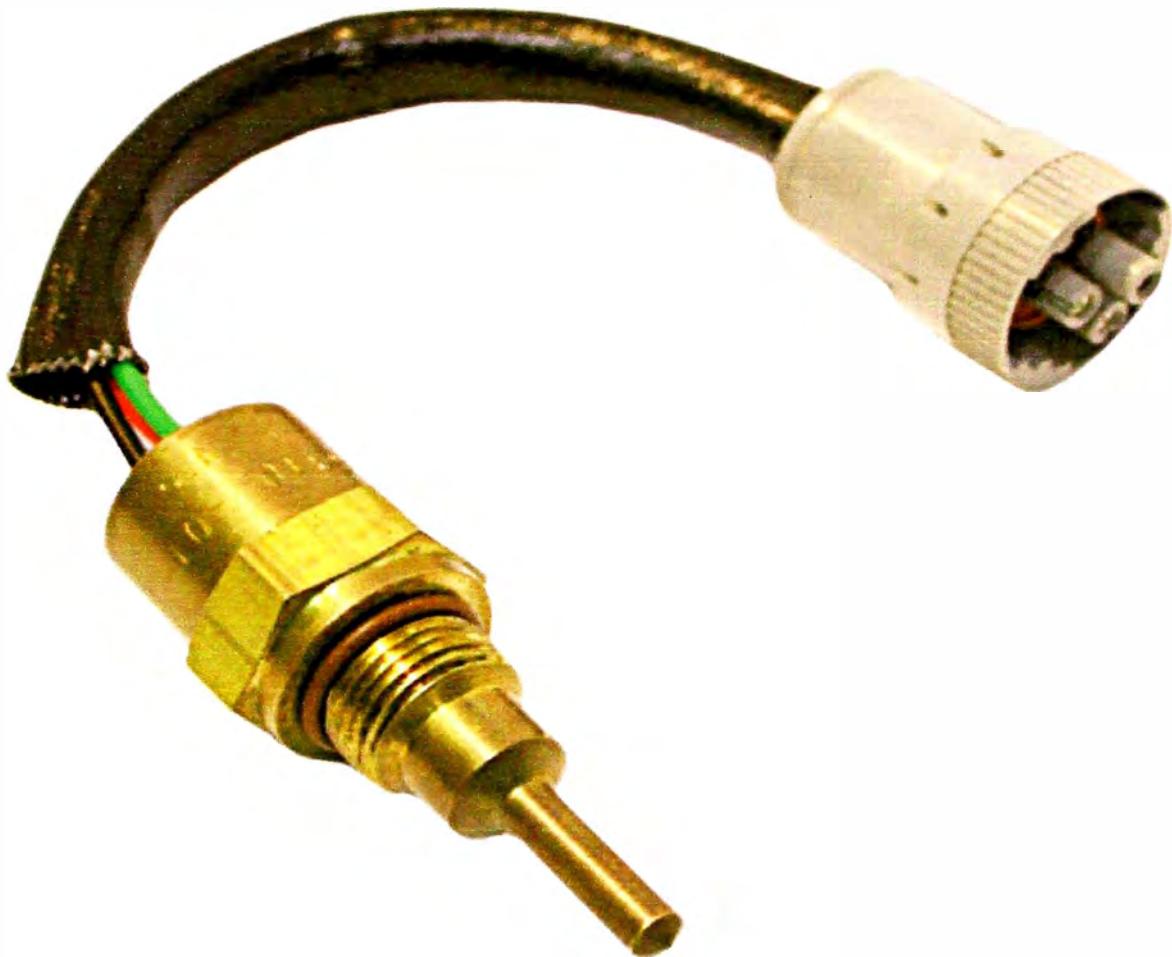


Figura 2.25. Sensor de temperatura

Sensores de presión

Los sensores de presión se utilizan para medir las presiones de aceite, combustible, múltiple de admisión (refuerzo), atmosférica, cárter, accionamiento de la inyección, etc. La mayoría de los sensores de presión que se encuentran en equipos Cat son sensores analógicos activos (tres cables). Estos sensores contienen un medidor de deformación interno, que cambia su resistencia cuando una presión se aplica a este. Los circuitos internos del sensor, detectan este cambio en la resistencia y emiten una tensión proporcional a esta resistencia. La tensión de salida de un sensor de presión se correlaciona con una presión específica.

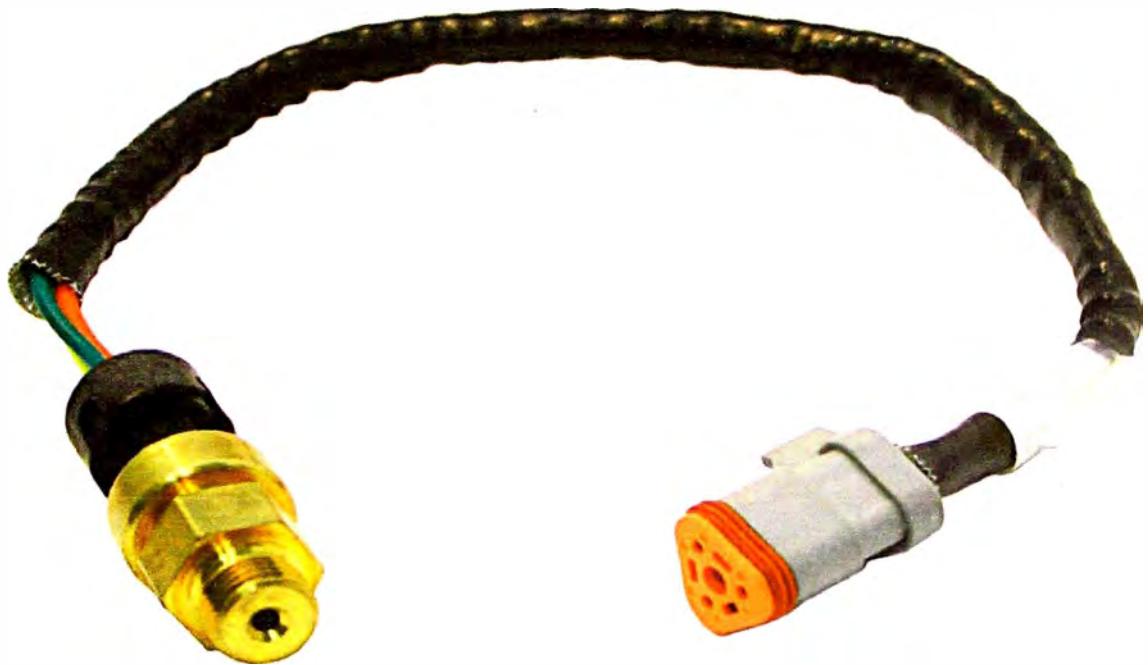


Figura 2.26. Sensor de presión

Sensores de posición

Los sensores de posición convierten la posición de un componente mecánico en una señal eléctrica para el ECM. Son sensores digitales que producen una señal PWM. El ECM lee esta señal PWM y determina la posición del componente, tal como la posición del pedal acelerador. La Figura 27 muestra el sensor de posición del pedal del acelerador.



Figura 2.27. Sensor de posición

Sensores de nivel

Un “sender” de nivel se encuentra en la parte superior o lateral de un tanque y mide la profundidad de combustible o de aceite en el tanque. La profundidad del líquido en el tanque determina la posición de un flotador, este flotador está unido a una palanca o una barra en espiral. El flotador hará que la palanca se mueva hacia arriba o hacia abajo, o también el flotador se desplazará hacia arriba o hacia abajo en la dirección de la varilla en espiral. El “sender” está unido a la palanca o varilla, y mide los cambios de resistencias que se producen cuando la palanca se mueve de arriba hacia abajo. Esta resistencia se mide por el ECM o un indicador mecánico.

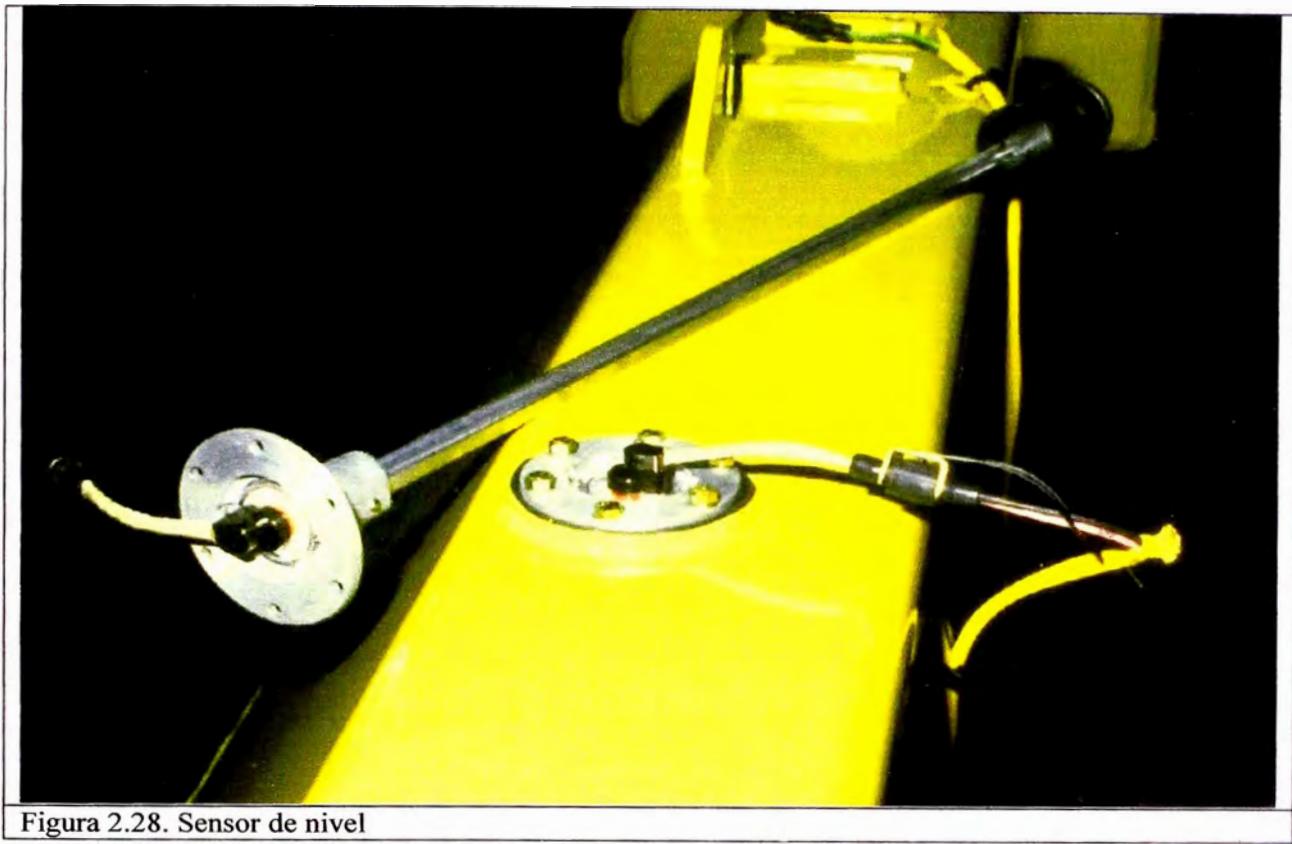
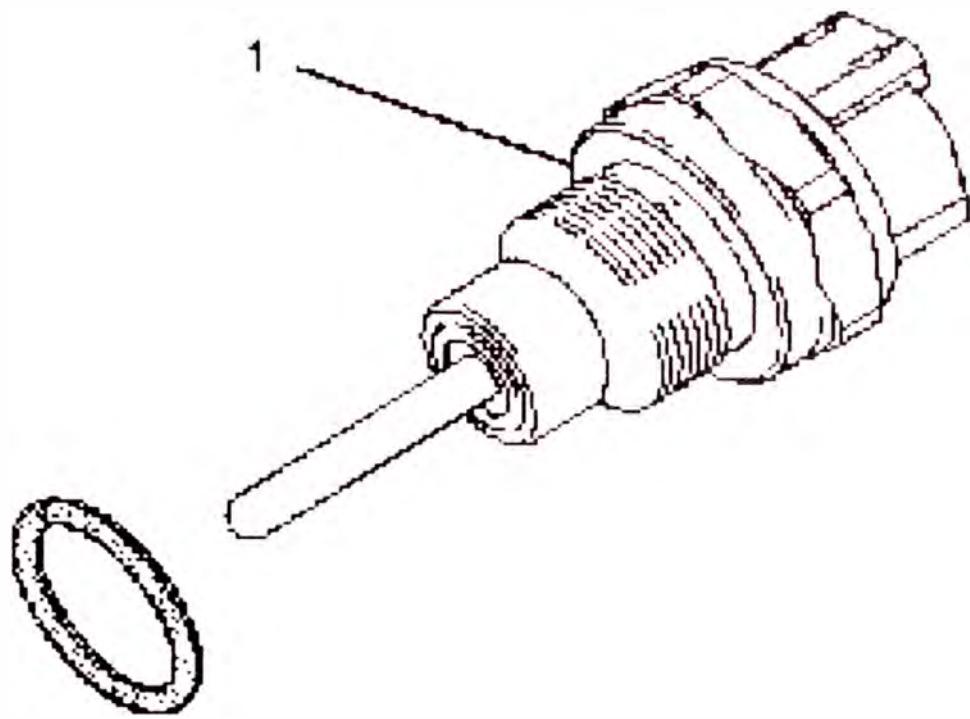


Figura 2.28. Sensor de nivel

2.3. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE SENSORES CATERPILLAR

Caterpillar cuenta con un vasto sistema de información técnica de servicio, este sistema organiza la información mediante un sistema de codificación, llamado números de medio, sin embargo, en toda esta información no encontramos las curvas características de los sensores más comunes en los motores electrónicos, por lo que nos vimos en la necesidad de identificar las curvas características de los sensores más importantes de este motor.

A continuación mostraremos las especificaciones que nos brinda Caterpillar de los sensores de temperatura, presión, posición y velocidad.

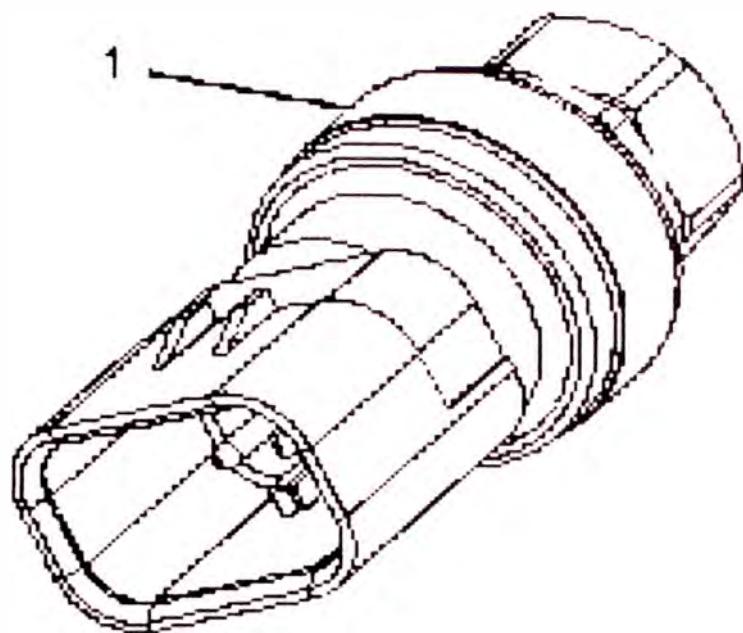


Specification Description

Torque to $20 \pm 3 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($175 \pm 25 \text{ lb in}$).

Output type is passive.

Figura 2.29. Especificaciones de los sensores de temperatura 130-9811, 274-7396, 197-8392 y 256-6453

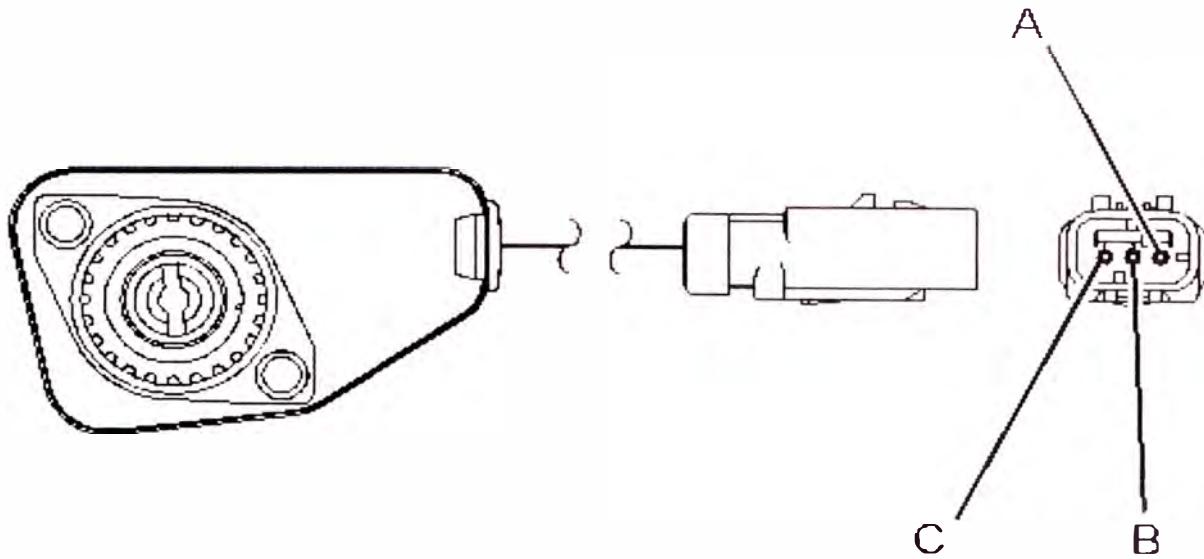


Specification Description

Torque to
 $10 \pm 2 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($89 \pm 18 \text{ lb in}$)

Operating voltage is $5.0 \pm 0.5 \text{ VDC}$

Figura 2.30. Especificaciones de los sensores de presión 276-9067 y 274-6719



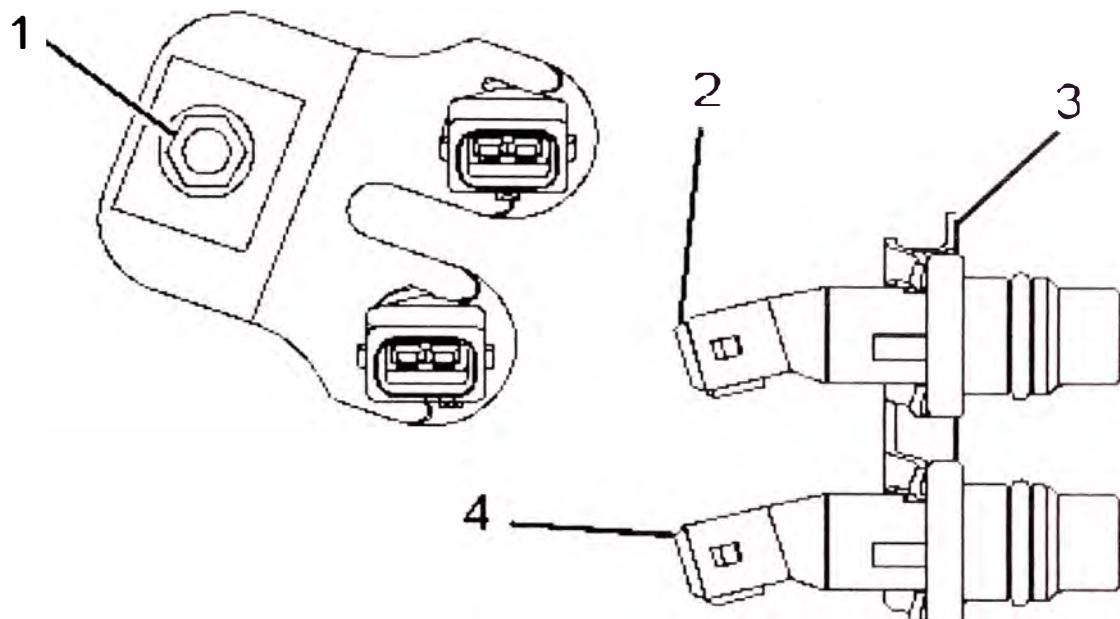
Operating temperature ... -40 to 85°C (-40 to 185°F)

Maximum current ... 30 mA

The voltage range of the sensor ... 9 VDC to 32 VDC

The actuation force that is necessary to rotate the rotor ... $0.25\text{ N}\cdot\text{m}$ (2 lb in)

Figura 2.31. Especificaciones de los sensores de posición 267-5222



Specification Description

Locate each sensor to the sensor support before tightening the bolt. Final installation torque for the bolt (1) of the mounting bracket (3) for the speed sensor group is $28 \pm 7 \text{ N}\cdot\text{m}$ ($248 \pm 62 \text{ lb in}$).

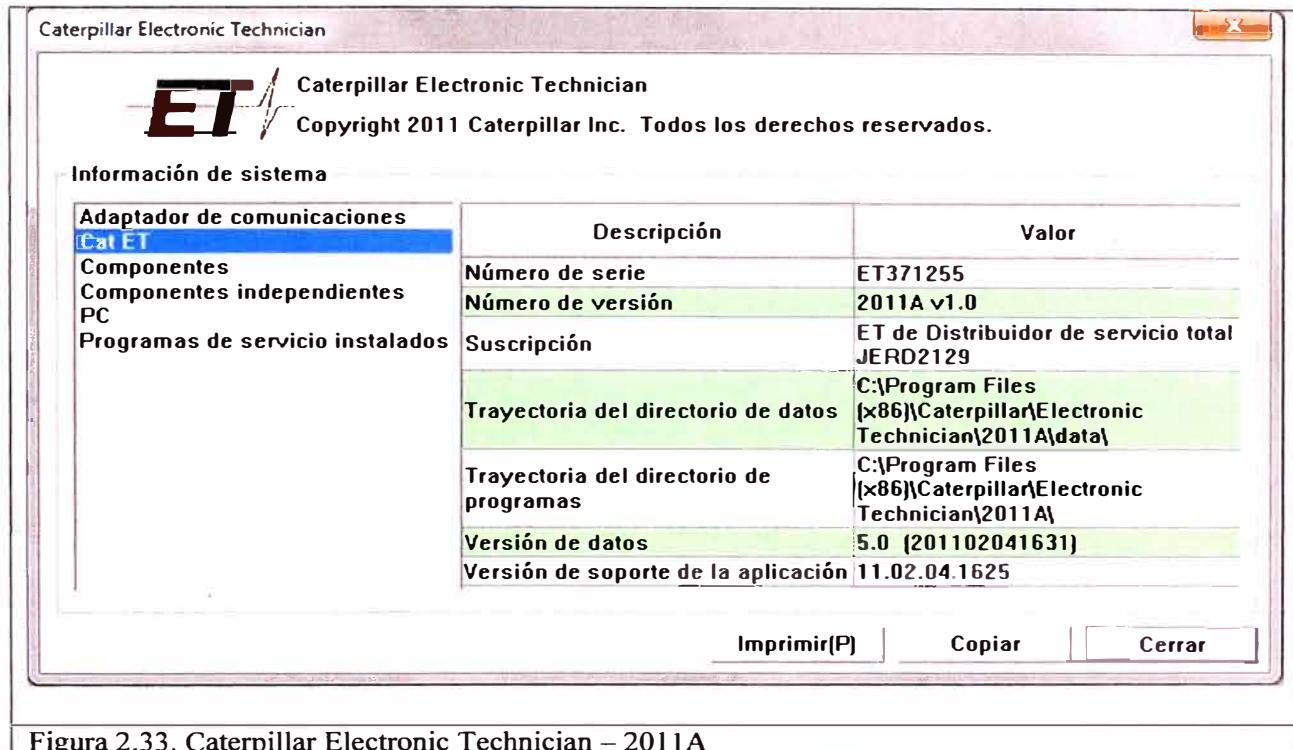
The speed sensor group must be replaced as a pair. Each sensor has a different part number.

Output type of the speed sensor group is analog.

Figura 2.32. Especificaciones de los sensores de velocidad 245-4630

Estas especificaciones son principalmente de tipo mecánicas, de torque y dimensionales, para el estudio y diseño del simulador, son necesarias curvas características de los sensores, es decir el comportamiento de estos, para poder replicarlos con el microcontrolador, por lo que se utilizaron métodos de muestreo

tradicionales y una herramienta Caterpillar, Electronic Technician, que permite monitorear el estado de los sensores en tiempo real.



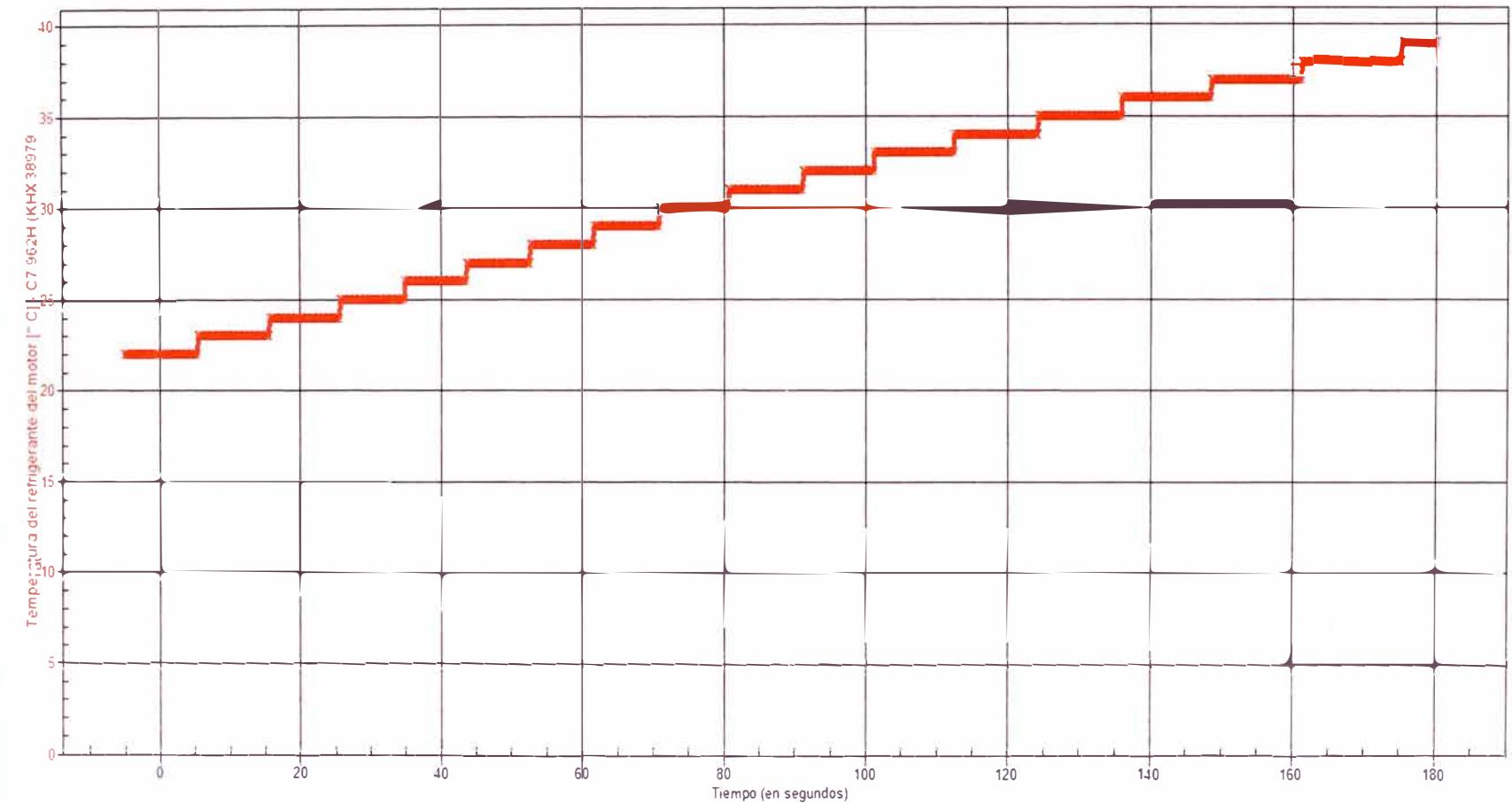


Figura 2.34. Sensor de temperatura de refrigerante

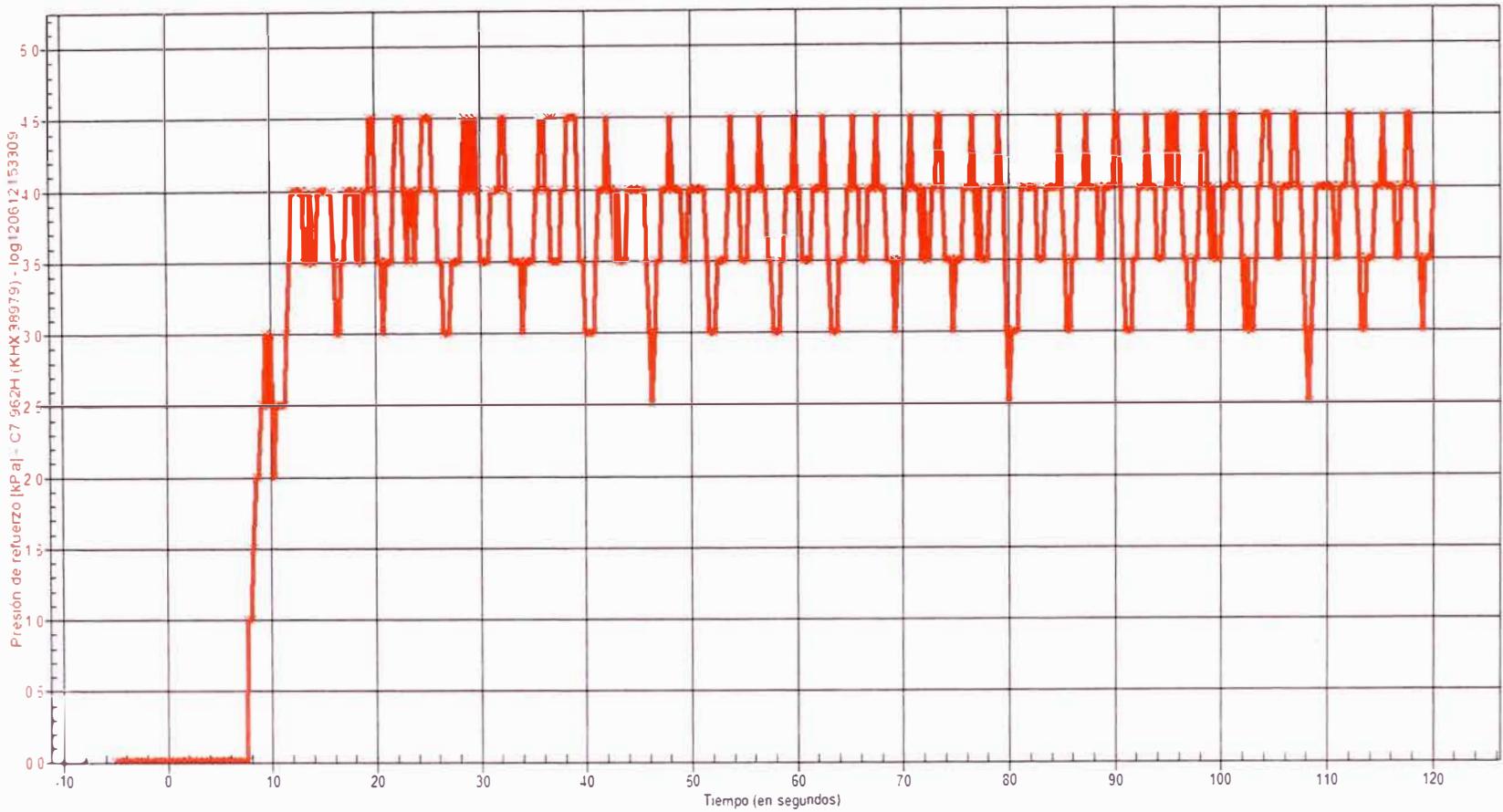


Figura 2.35. Sensor de presión de múltiple de admisión

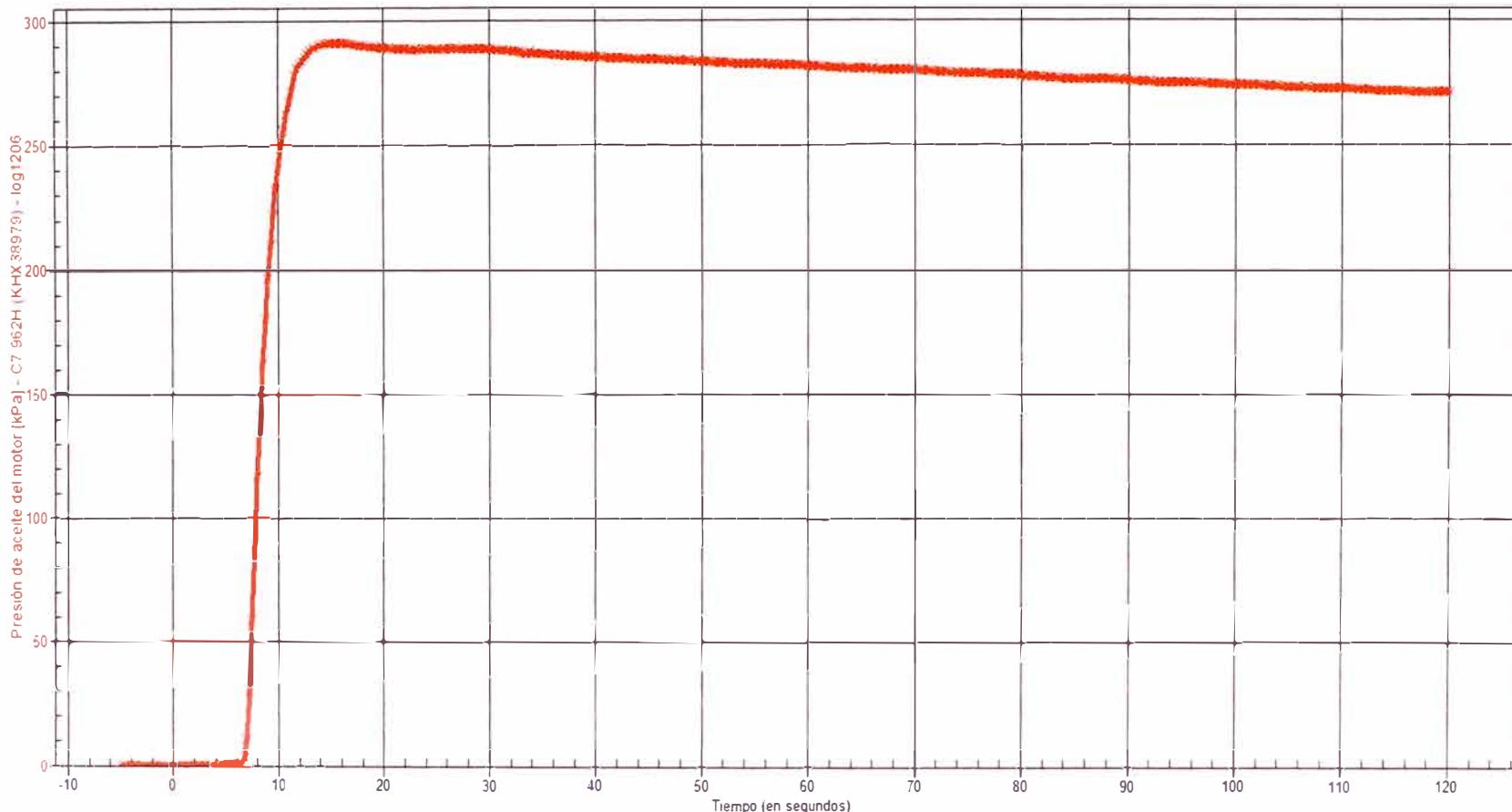


Figura 2.36. Sensor de presión de aceite de motor

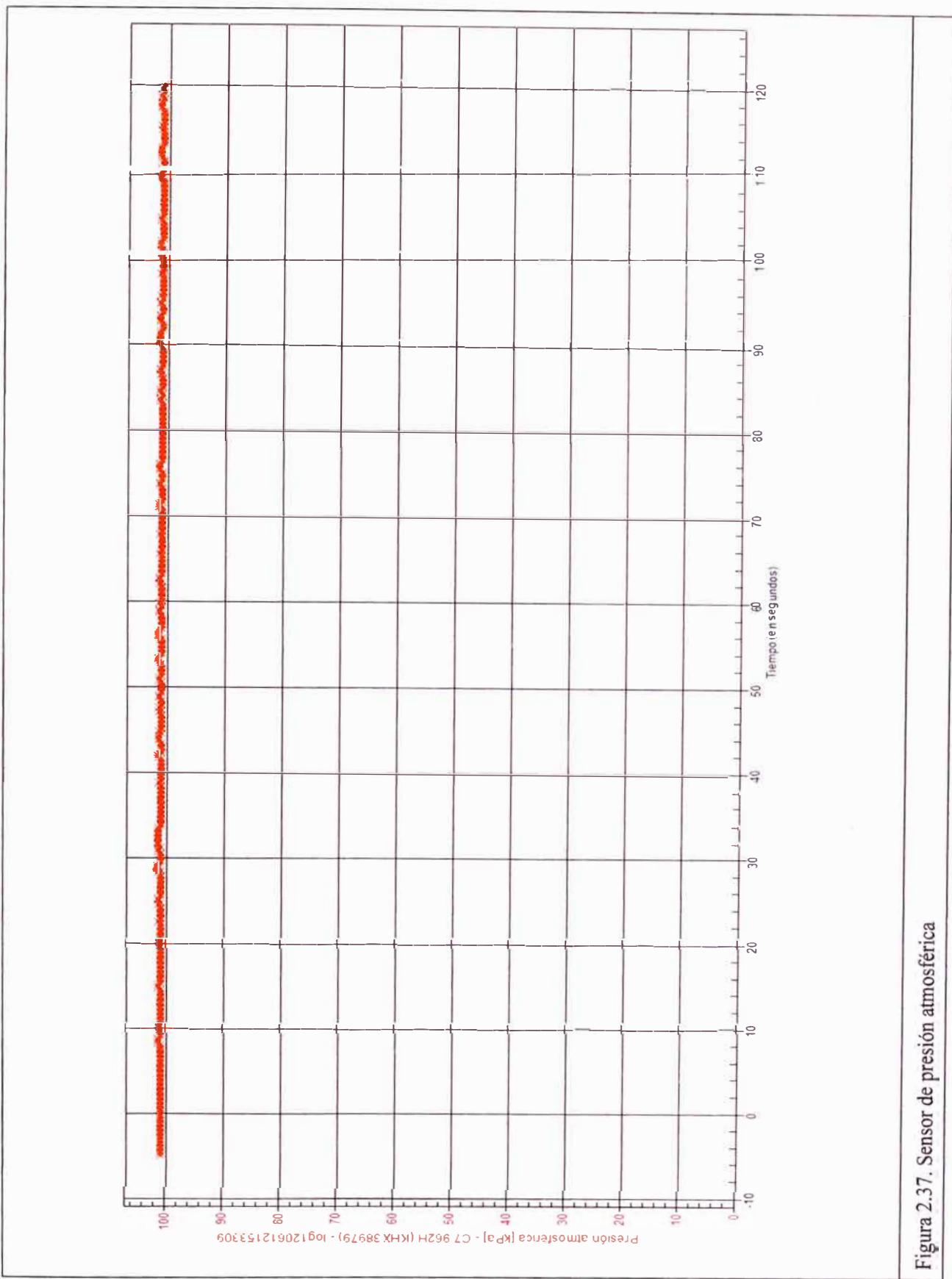


Figura 2.37. Sensor de presión atmosférica

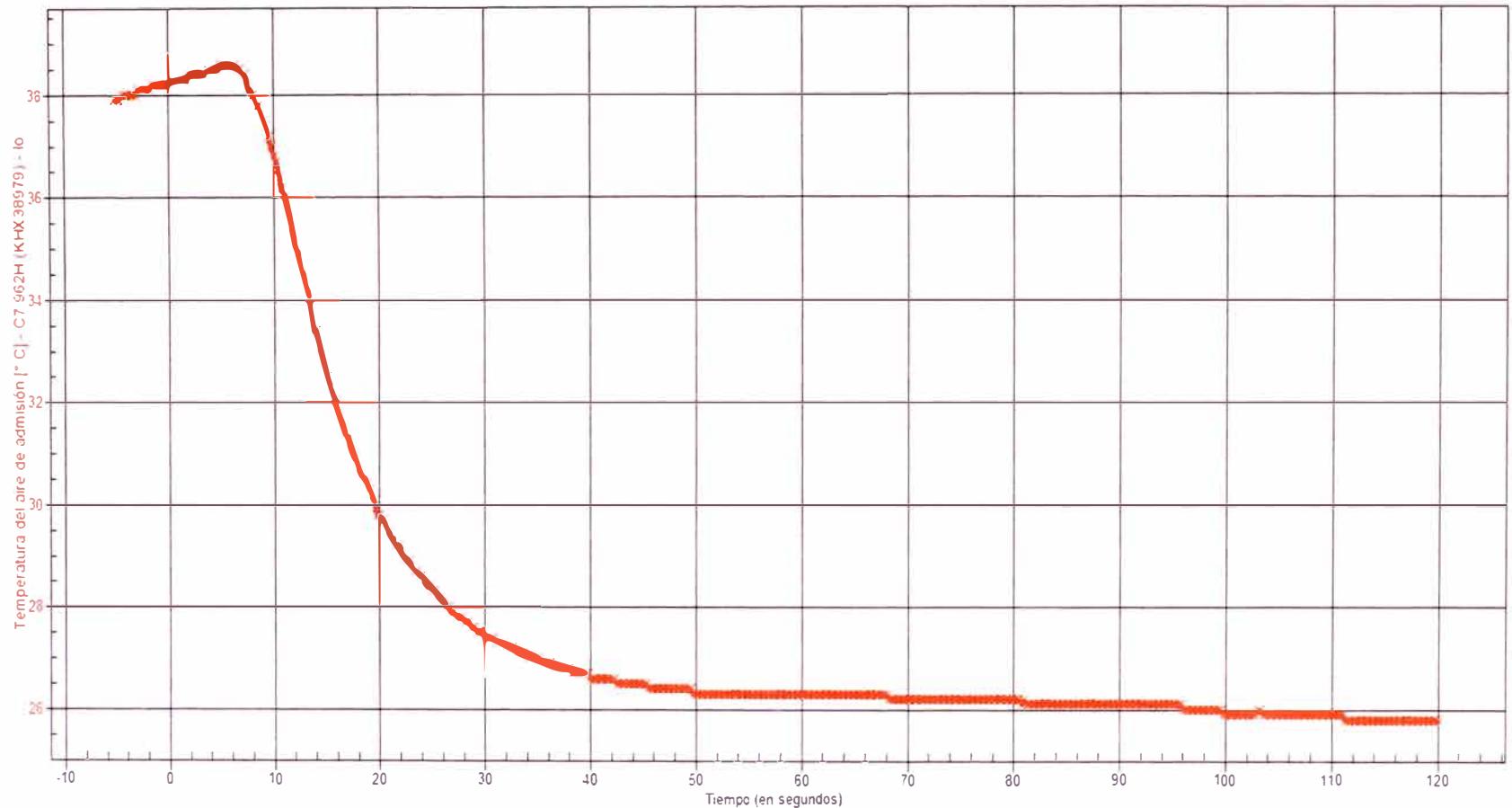
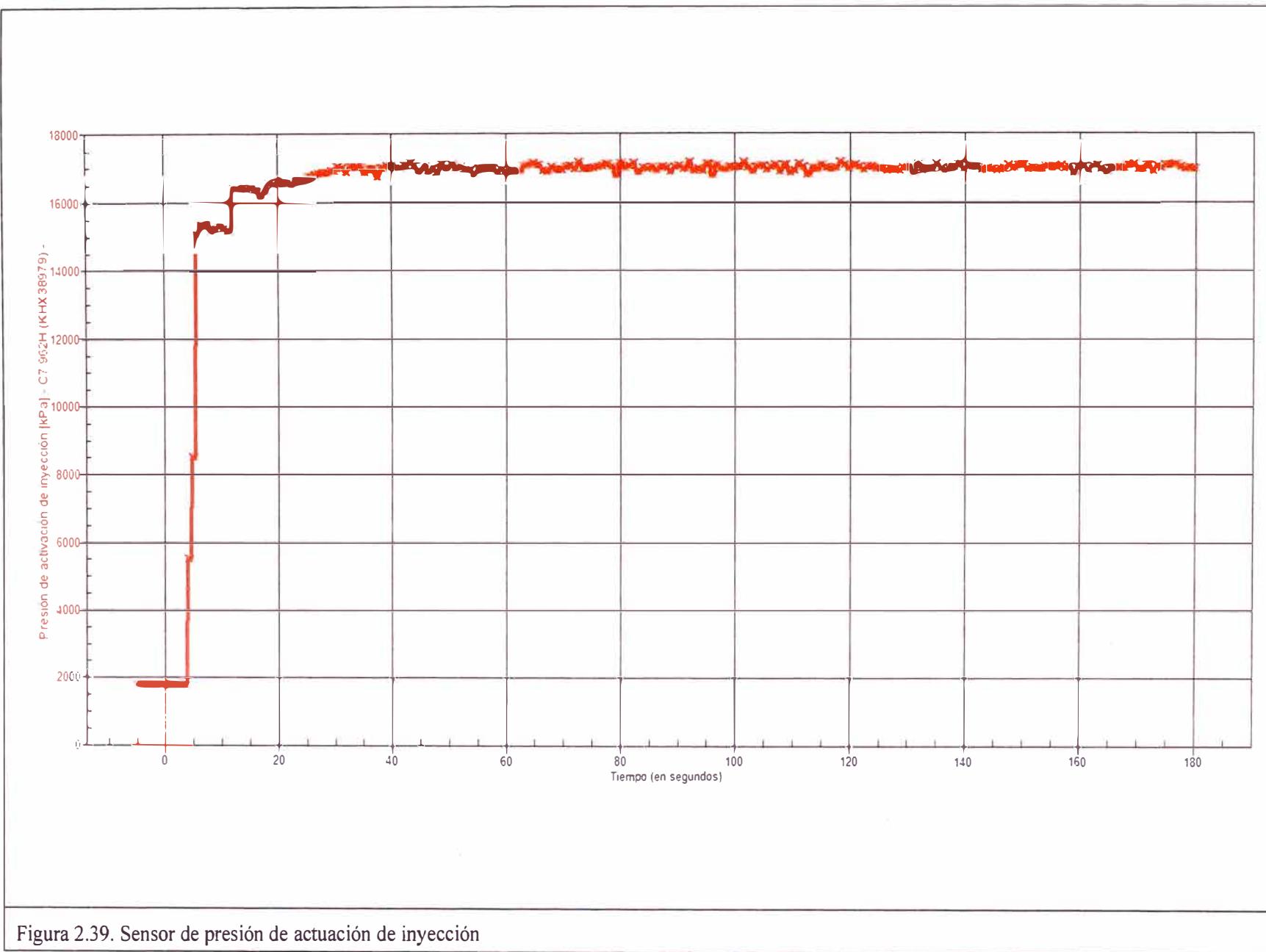


Figura 2.38. Sensor de temperatura de múltiple de admisión



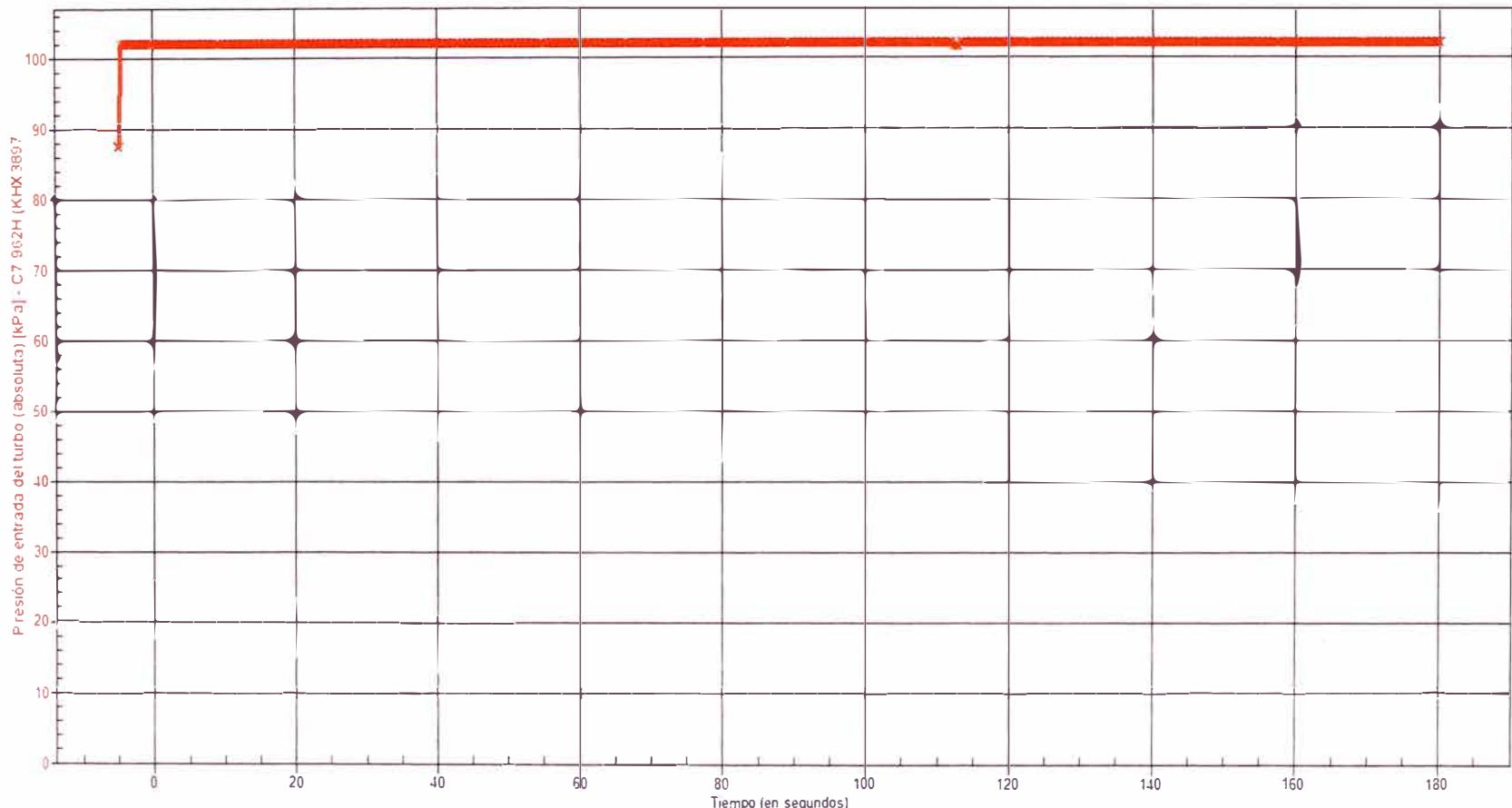


Figura 2.40. Sensor de presión de entrada al turbo

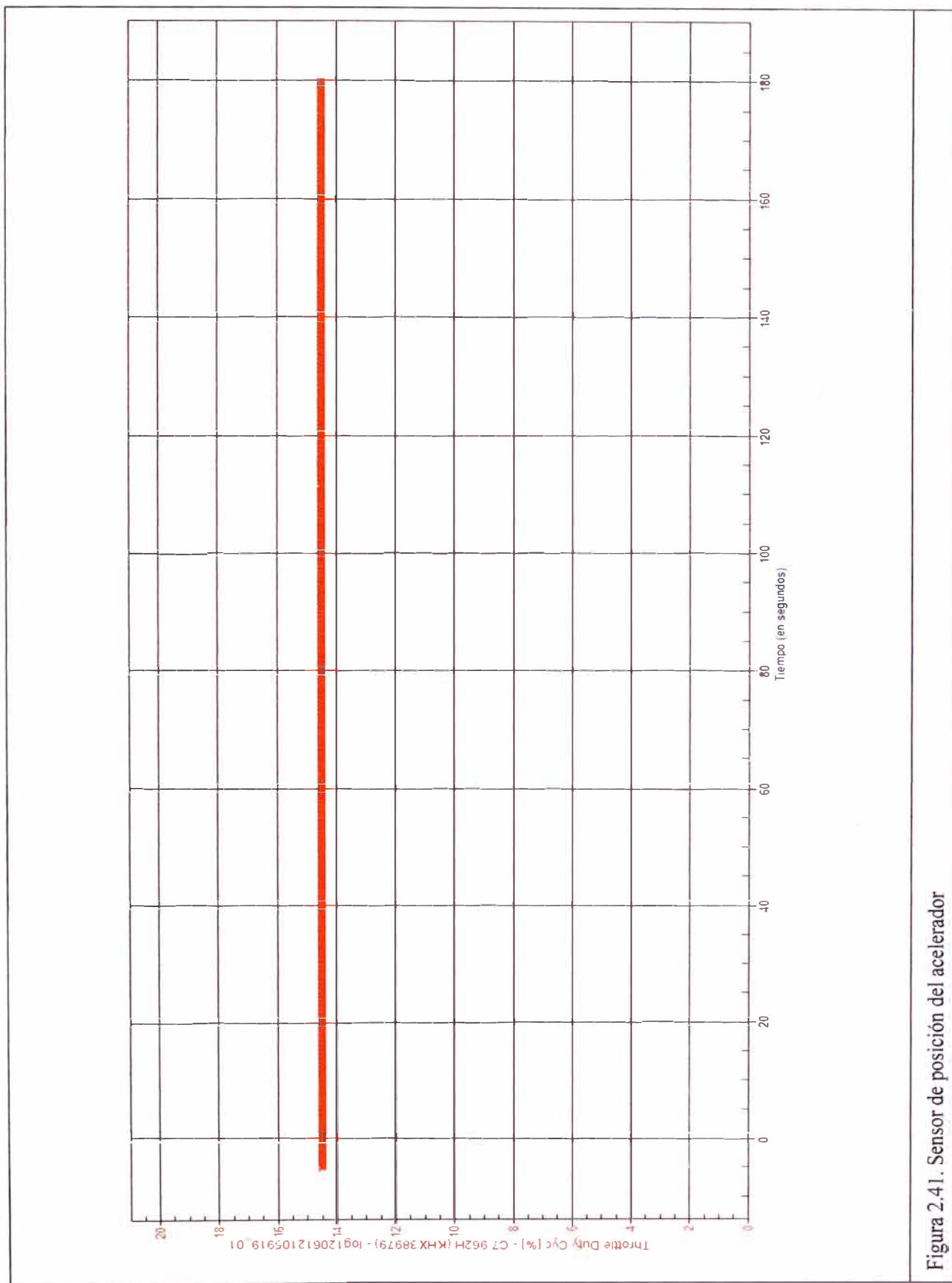
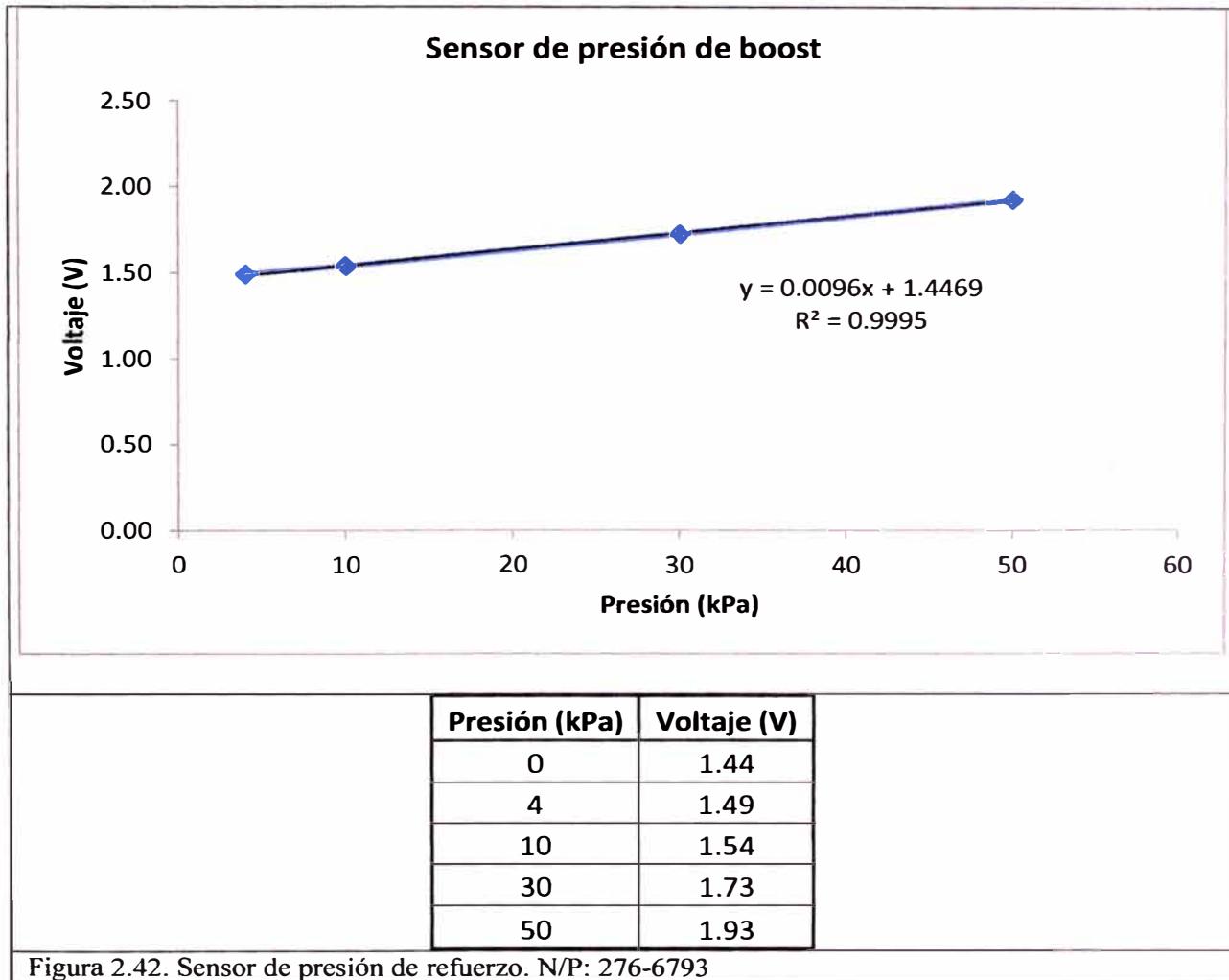
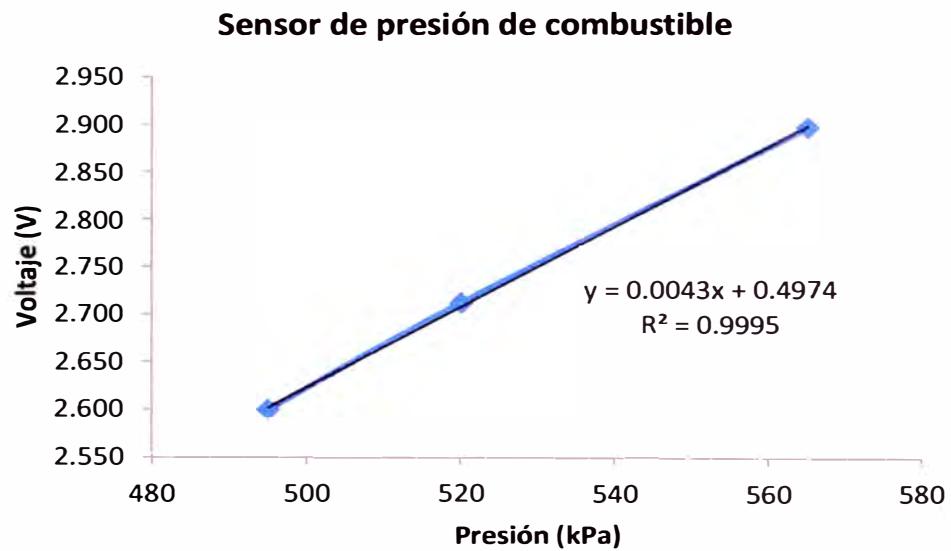


Figura 2.41. Sensor de posición del acelerador

En las ilustraciones anteriores se observa el comportamiento de los sensores en el arranque del motor C7, se observa lo que el ECM traduce de las señales de voltaje que envían los sensores, señales de entrada. A continuación mostraremos las señales de voltaje que envían los sensores al ECM.

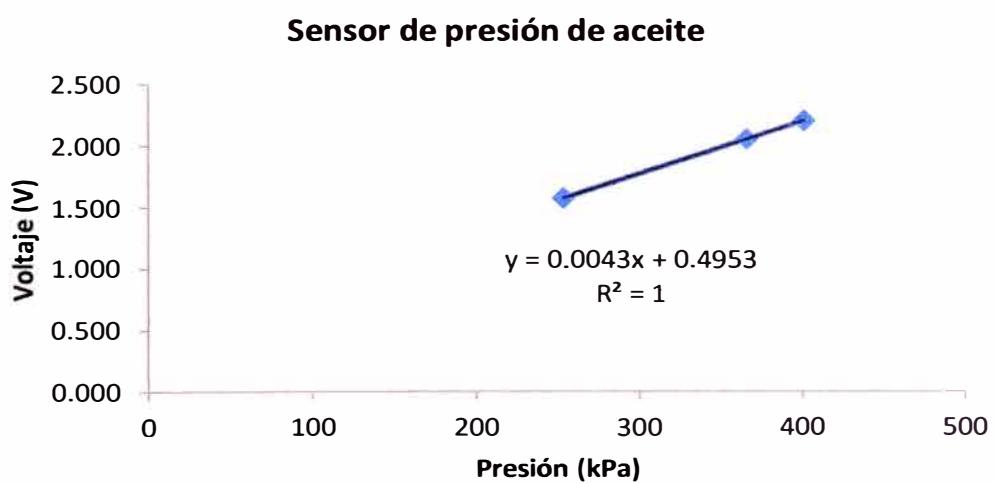
Se mostrarán las curvas características de los sensores de presión, temperatura y velocidad.





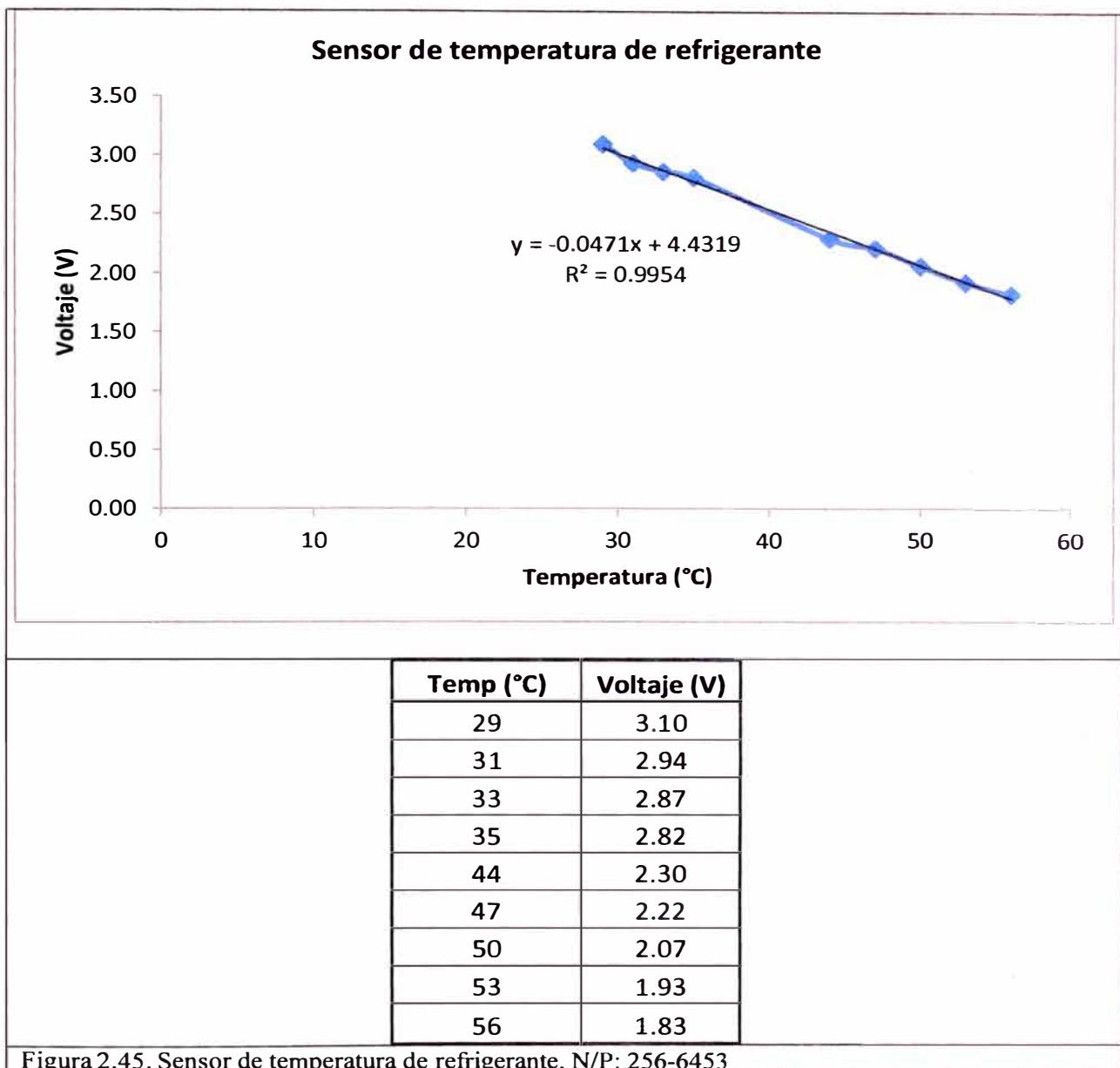
Presión (kPa)	Voltaje (V)
495	2.601
520	2.714
565	2.900

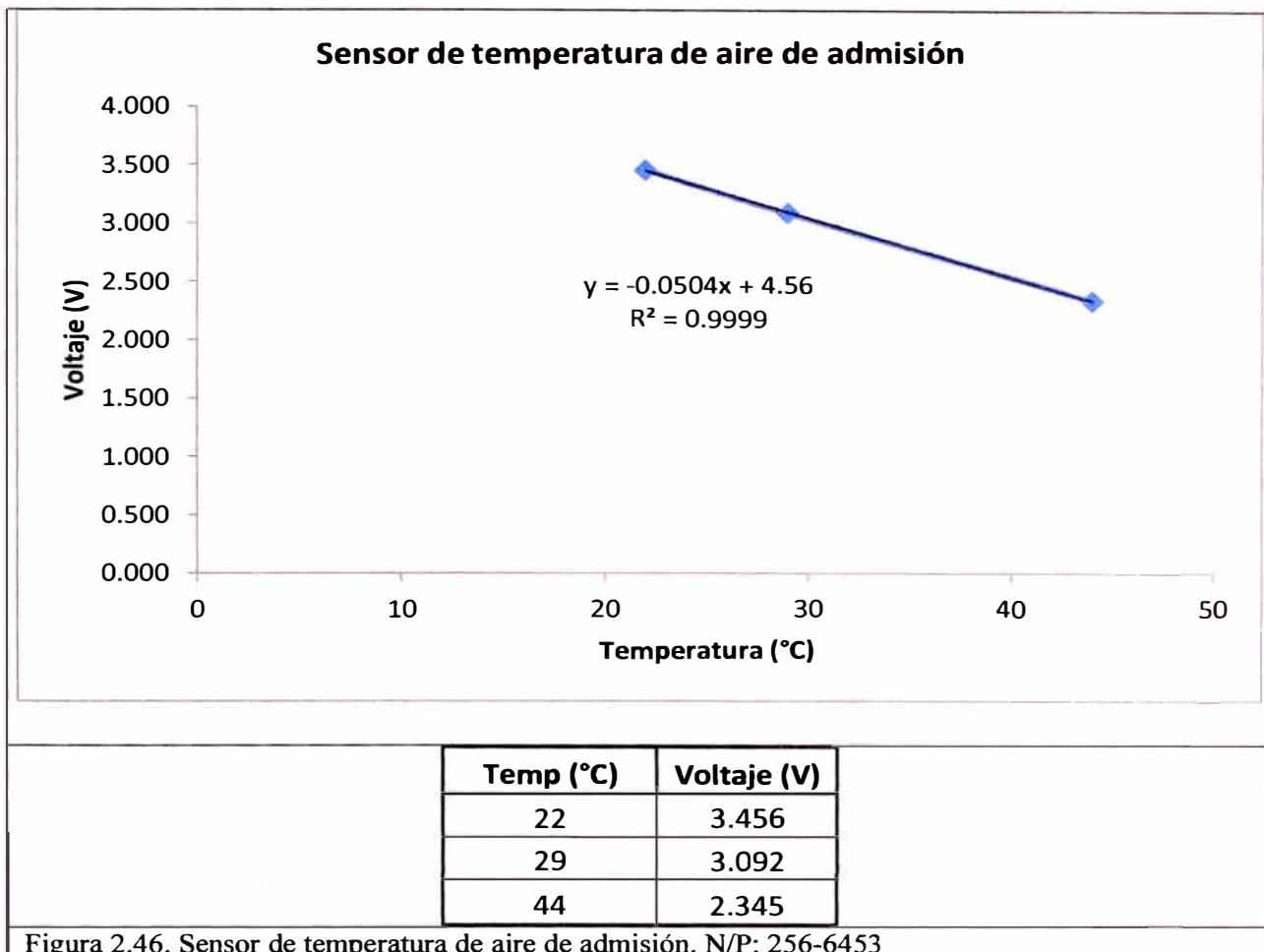
Figura 2.43. Sensor de presión de combustible. N/P: 274-6719



Presión (kPa)	Voltaje (V)
253	1.580
365	2.061
400	2.210

Figura 2.44. Sensor de presión de aceite. N/P: 274-6719



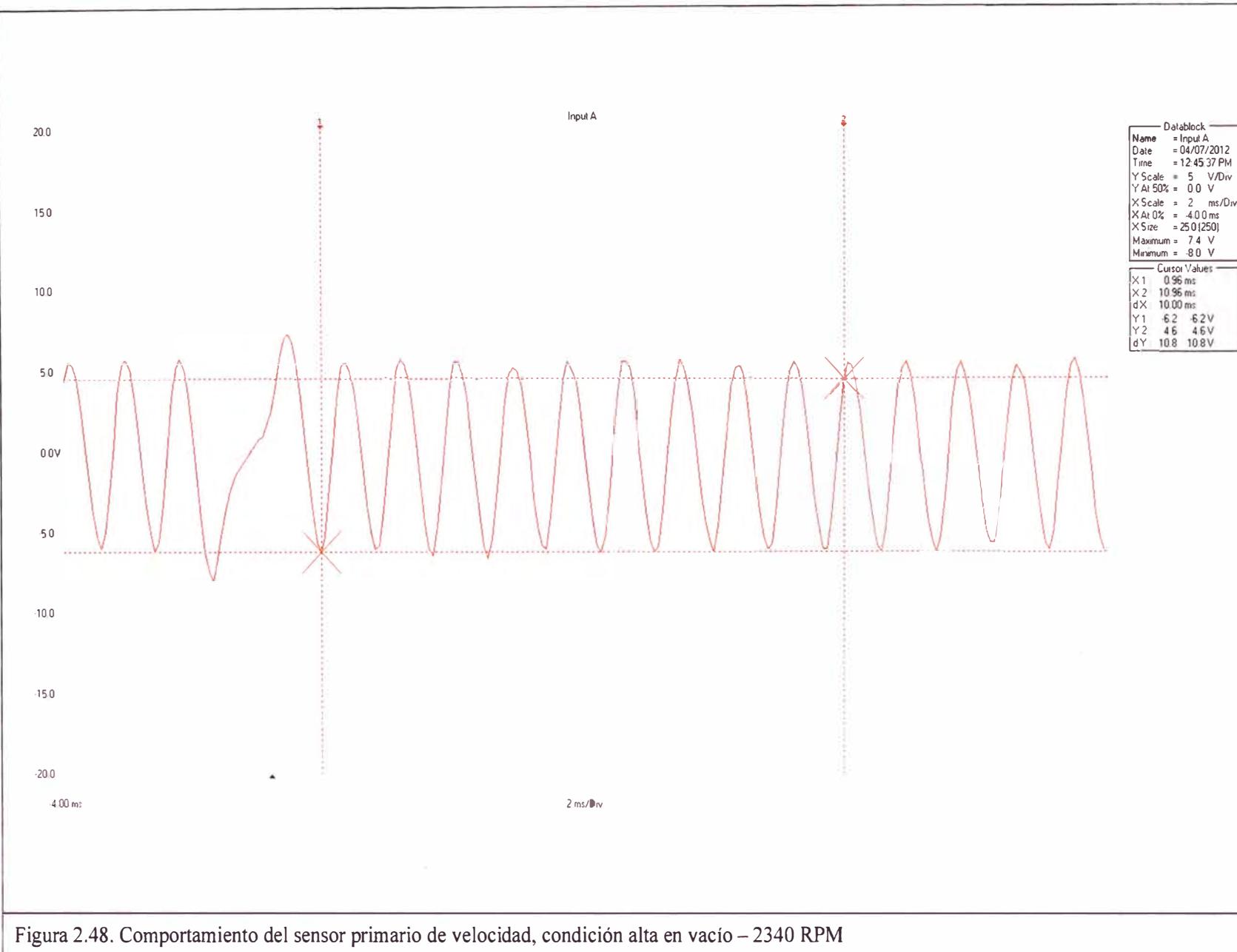


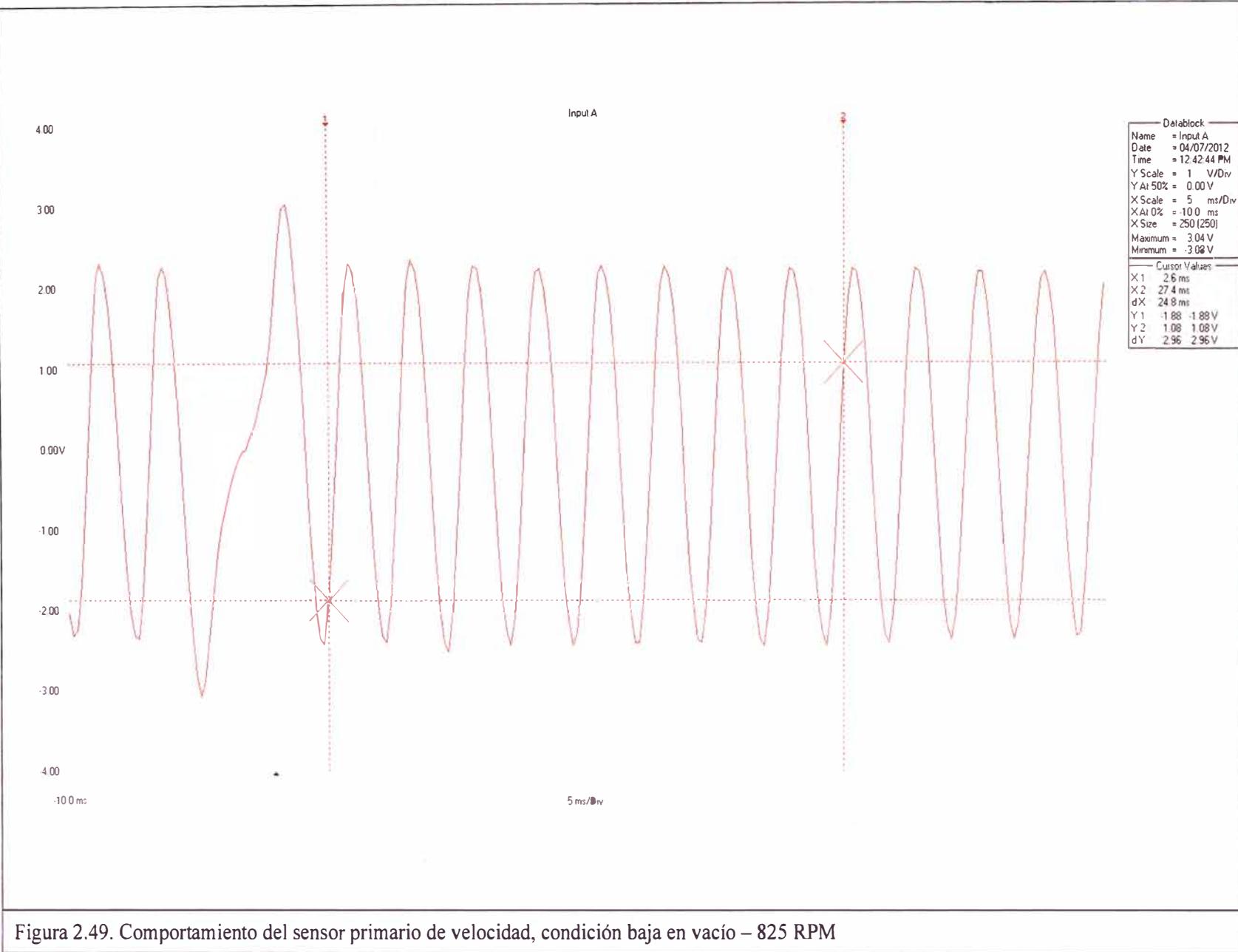
Para simular las señales de los sensores de velocidad fue necesario evaluar exhaustivamente el comportamiento de dichos sensores, a continuación la data recolectada, las gráficas obtenidas y algunos cálculos necesarios para repetir el comportamiento de los sensores con el microcontrolador.

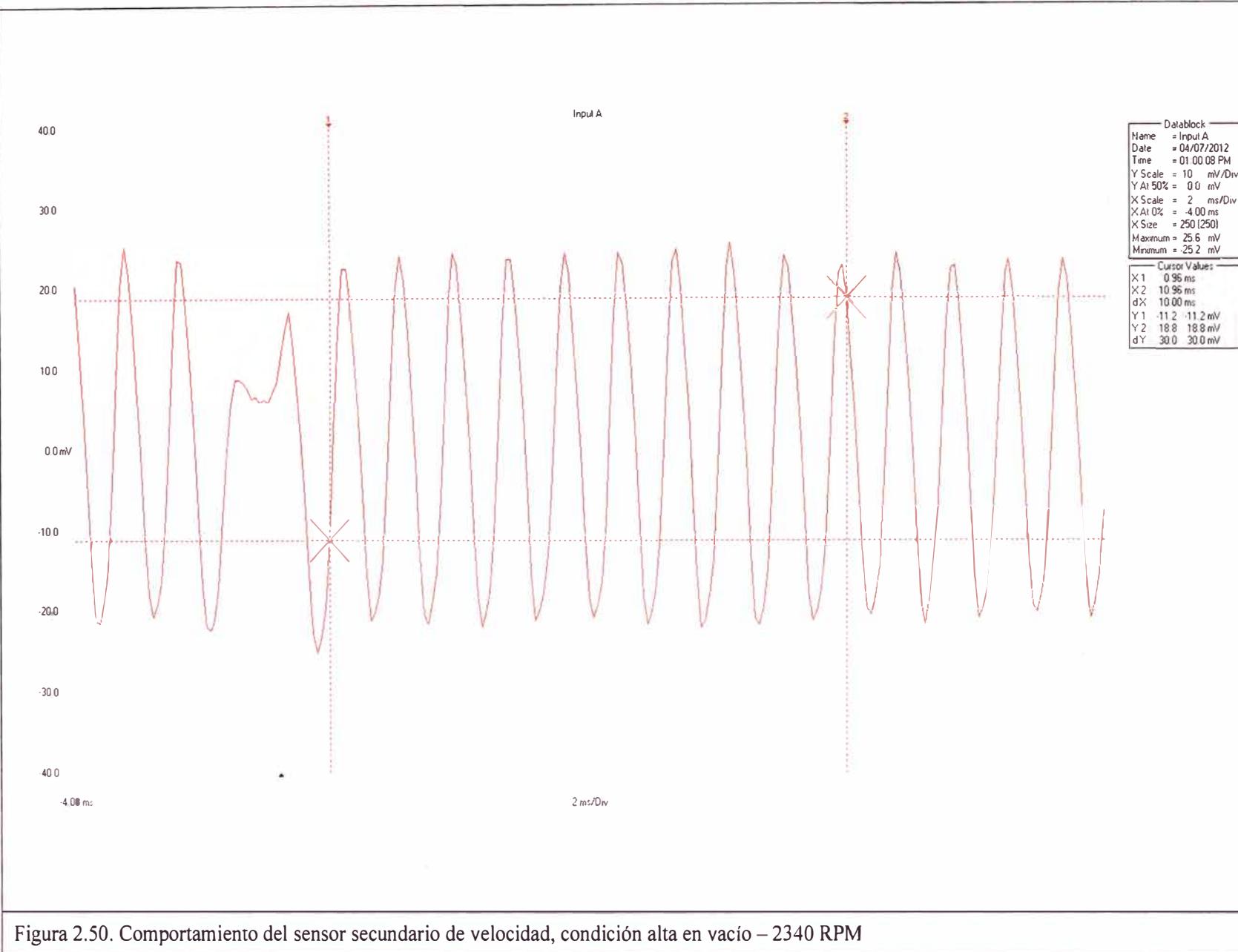
Para tal propósito se utilizó Fluke ScopeMeter® serie 120 con el software propietario.

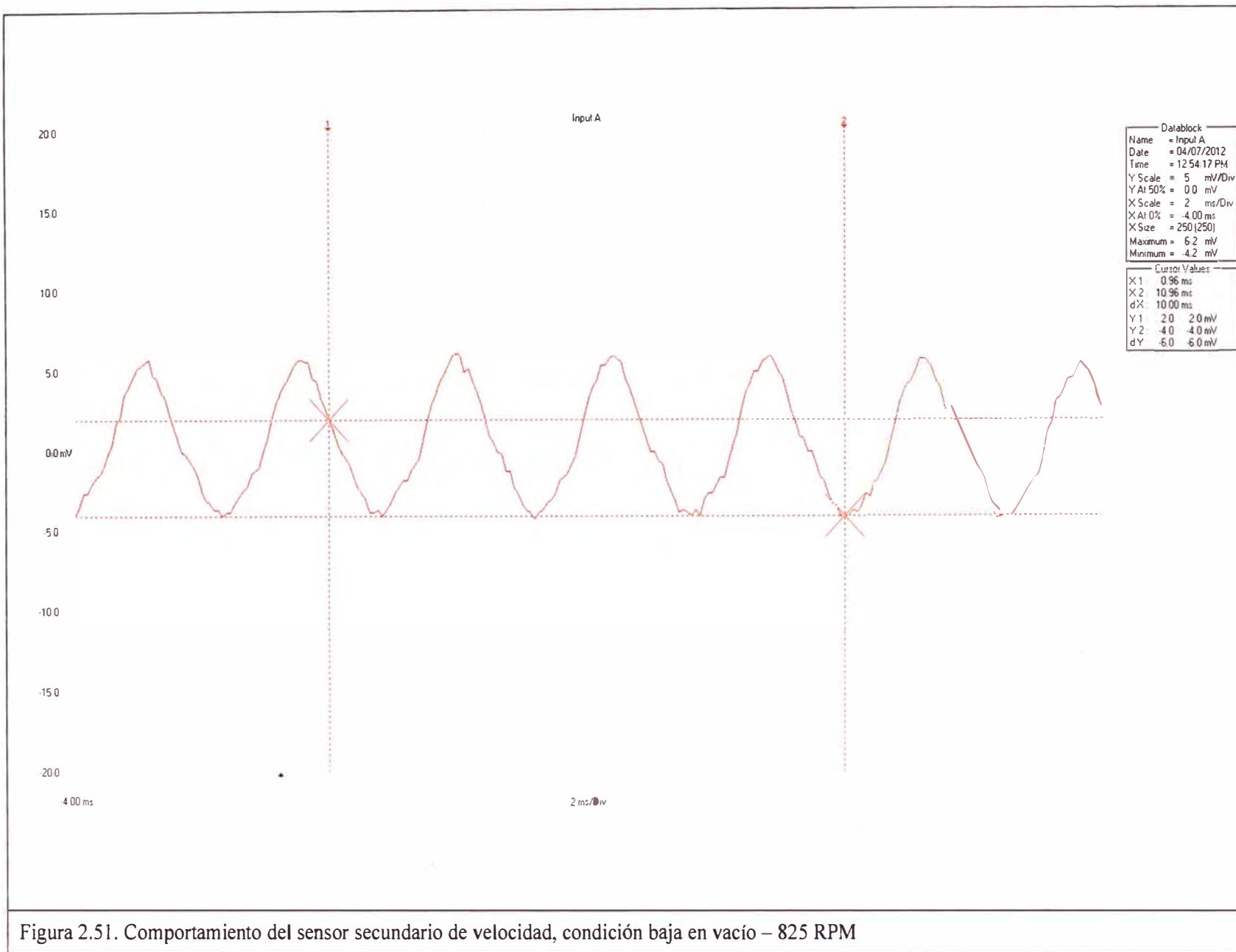


Figura 2.47. Software propietario del equipo Fluke utilizado









La data extraída, que se utilizó para graficar las señales en Excel y calcular las relaciones necesarias para programar el microcontrolador.

Data adquirida con el Fluke View para el sensor de velocidad, condición baja en vacío.

```
260Hz
"Title      "  "Input A"
"ID         "  1
"Type       "  "Envelope"
"Date       "  06/20/12
"Time       "  15:03:38
"X Scale    "  5.0E-03
"X At 0%    "-1.00E-02
"X Resolution "  2.500000E+01
"X Size     "  250
"X Unit     "  "s"
"X Label    "  "5 ms/Div"
"Y Scale    "  1.00E+00
"Y At 50%   "  0.E-02
"Y Resolution "  2.500000E+01
"Y Size     "  256
"Y Unit     "  "V"
"Y Label    "  "V"

-1.00E-02  1.24E+00  1.24E+00
-9.8E-03  1.56E+00  1.56E+00
-9.6E-03  1.64E+00  1.64E+00
-9.4E-03  1.52E+00  1.52E+00
-9.2E-03  1.32E+00  1.32E+00
-9.0E-03  9.6E-01   9.6E-01
-8.8E-03  4.4E-01   4.4E-01
-8.6E-03  -1.2E-01  -1.2E-01
-8.4E-03  -6.4E-01  -6.4E-01
-8.2E-03  -1.04E+00 -1.04E+00
-8.0E-03  -1.40E+00 -1.40E+00
-7.8E-03  -1.64E+00 -1.64E+00
-7.6E-03  -1.72E+00 -1.72E+00
-7.4E-03  -1.60E+00 -1.60E+00
-7.2E-03  -1.12E+00 -1.12E+00
-7.0E-03  -5.2E-01   -5.2E-01
-6.8E-03  1.6E-01   1.6E-01
-6.6E-03  7.6E-01   7.6E-01
-6.4E-03  1.28E+00  1.28E+00
```

-6.2E-03	1.52E+00	1.52E+00
-6.0E-03	1.60E+00	1.60E+00
-5.8E-03	1.48E+00	1.48E+00
-5.6E-03	1.28E+00	1.28E+00
-5.4E-03	8.8E-01	8.8E-01
-5.2E-03	3.6E-01	3.6E-01
-5.0E-03	-2.0E-01	-2.0E-01
-4.8E-03	-7.6E-01	-7.6E-01
-4.6E-03	-1.28E+00	-1.28E+00
-4.4E-03	-1.64E+00	-1.64E+00
-4.2E-03	-2.00E+00	-2.00E+00
-4.0E-03	-2.28E+00	-2.28E+00
-3.8E-03	-2.28E+00	-2.28E+00
-3.6E-03	-2.08E+00	-2.08E+00
-3.4E-03	-1.72E+00	-1.72E+00
-3.2E-03	-1.36E+00	-1.36E+00
-3.0E-03	-1.04E+00	-1.04E+00
-2.8E-03	-8.4E-01	-8.4E-01
-2.6E-03	-6.4E-01	-6.4E-01
-2.4E-03	-4.8E-01	-4.8E-01
-2.2E-03	-3.6E-01	-3.6E-01
-2.0E-03	-2.4E-01	-2.4E-01
-1.8E-03	-1.6E-01	-1.6E-01
-1.6E-03	-4.E-02	-4.E-02
-1.4E-03	0.E-02	0.E-02
-1.2E-03	8.E-02	8.E-02
-1.0E-03	1.6E-01	1.6E-01
-8.E-04	2.8E-01	2.8E-01
-6.E-04	3.6E-01	3.6E-01
-4.E-04	5.2E-01	5.2E-01
-2.E-04	6.8E-01	6.8E-01
0.E-04	9.2E-01	9.2E-01
2.E-04	1.20E+00	1.20E+00
4.E-04	1.60E+00	1.60E+00
6.E-04	1.96E+00	1.96E+00
8.E-04	2.16E+00	2.16E+00
1.0E-03	2.20E+00	2.20E+00
1.2E-03	2.00E+00	2.00E+00
1.4E-03	1.72E+00	1.72E+00
1.6E-03	1.32E+00	1.32E+00
1.8E-03	8.4E-01	8.4E-01
2.0E-03	2.4E-01	2.4E-01
2.2E-03	-3.2E-01	-3.2E-01
2.4E-03	-8.4E-01	-8.4E-01
2.6E-03	-1.28E+00	-1.28E+00
2.8E-03	-1.56E+00	-1.56E+00
3.0E-03	-1.76E+00	-1.76E+00

3.2E-03	-1.68E+00	-1.68E+00
3.4E-03	-1.28E+00	-1.28E+00
3.6E-03	-7.2E-01	-7.2E-01
3.8E-03	-8.E-02	-8.E-02
4.0E-03	5.6E-01	5.6E-01
4.2E-03	1.12E+00	1.12E+00
4.4E-03	1.48E+00	1.48E+00
4.6E-03	1.60E+00	1.60E+00
4.8E-03	1.52E+00	1.52E+00
5.0E-03	1.36E+00	1.36E+00
5.2E-03	1.04E+00	1.04E+00
5.4E-03	5.6E-01	5.6E-01
5.6E-03	0.E-02	0.E-02
5.8E-03	-5.2E-01	-5.2E-01
6.0E-03	-1.00E+00	-1.00E+00
6.2E-03	-1.32E+00	-1.32E+00
6.4E-03	-1.60E+00	-1.60E+00
6.6E-03	-1.72E+00	-1.72E+00
6.8E-03	-1.56E+00	-1.56E+00
7.0E-03	-1.20E+00	-1.20E+00
7.2E-03	-5.6E-01	-5.6E-01
7.4E-03	8.E-02	8.E-02
7.6E-03	7.6E-01	7.6E-01
7.8E-03	1.28E+00	1.28E+00
8.0E-03	1.60E+00	1.60E+00
8.2E-03	1.60E+00	1.60E+00
8.4E-03	1.52E+00	1.52E+00
8.6E-03	1.32E+00	1.32E+00
8.8E-03	9.6E-01	9.6E-01
9.0E-03	4.8E-01	4.8E-01
9.2E-03	-8.E-02	-8.E-02
9.4E-03	-6.0E-01	-6.0E-01
9.6E-03	-1.08E+00	-1.08E+00
9.8E-03	-1.44E+00	-1.44E+00
1.00E-02	-1.68E+00	-1.68E+00
1.02E-02	-1.76E+00	-1.76E+00
1.04E-02	-1.56E+00	-1.56E+00
1.06E-02	-1.16E+00	-1.16E+00
1.08E-02	-5.6E-01	-5.6E-01
1.10E-02	8.E-02	8.E-02
1.12E-02	7.6E-01	7.6E-01
1.14E-02	1.24E+00	1.24E+00
1.16E-02	1.52E+00	1.52E+00
1.18E-02	1.60E+00	1.60E+00
1.20E-02	1.52E+00	1.52E+00
1.22E-02	1.28E+00	1.28E+00
1.24E-02	9.6E-01	9.6E-01

1.26E-02	4.8E-01	4.8E-01
1.28E-02	-4.E-02	-4.E-02
1.30E-02	-5.6E-01	-5.6E-01
1.32E-02	-1.04E+00	-1.04E+00
1.34E-02	-1.36E+00	-1.36E+00
1.36E-02	-1.56E+00	-1.56E+00
1.38E-02	-1.68E+00	-1.68E+00
1.40E-02	-1.60E+00	-1.60E+00
1.42E-02	-1.20E+00	-1.20E+00
1.44E-02	-6.0E-01	-6.0E-01
1.46E-02	0.E-02	0.E-02
1.48E-02	6.4E-01	6.4E-01
1.50E-02	1.12E+00	1.12E+00
1.52E-02	1.48E+00	1.48E+00
1.54E-02	1.56E+00	1.56E+00
1.56E-02	1.52E+00	1.52E+00
1.58E-02	1.32E+00	1.32E+00
1.60E-02	1.04E+00	1.04E+00
1.62E-02	6.0E-01	6.0E-01
1.64E-02	1.2E-01	1.2E-01
1.66E-02	-3.6E-01	-3.6E-01
1.68E-02	-8.8E-01	-8.8E-01
1.70E-02	-1.24E+00	-1.24E+00
1.72E-02	-1.52E+00	-1.52E+00
1.74E-02	-1.72E+00	-1.72E+00
1.76E-02	-1.68E+00	-1.68E+00
1.78E-02	-1.36E+00	-1.36E+00
1.80E-02	-8.4E-01	-8.4E-01
1.82E-02	-1.6E-01	-1.6E-01
1.84E-02	4.4E-01	4.4E-01
1.86E-02	1.04E+00	1.04E+00
1.88E-02	1.40E+00	1.40E+00
1.90E-02	1.56E+00	1.56E+00
1.92E-02	1.56E+00	1.56E+00
1.94E-02	1.44E+00	1.44E+00
1.96E-02	1.16E+00	1.16E+00
1.98E-02	7.6E-01	7.6E-01
2.00E-02	2.4E-01	2.4E-01
2.02E-02	-3.2E-01	-3.2E-01
2.04E-02	-8.4E-01	-8.4E-01
2.06E-02	-1.24E+00	-1.24E+00
2.08E-02	-1.52E+00	-1.52E+00
2.10E-02	-1.72E+00	-1.72E+00
2.12E-02	-1.72E+00	-1.72E+00
2.14E-02	-1.44E+00	-1.44E+00
2.16E-02	-8.8E-01	-8.8E-01
2.18E-02	-2.4E-01	-2.4E-01

2.20E-02	3.6E-01	3.6E-01
2.22E-02	1.00E+00	1.00E+00
2.24E-02	1.44E+00	1.44E+00
2.26E-02	1.60E+00	1.60E+00
2.28E-02	1.60E+00	1.60E+00
2.30E-02	1.48E+00	1.48E+00
2.32E-02	1.20E+00	1.20E+00
2.34E-02	7.6E-01	7.6E-01
2.36E-02	2.0E-01	2.0E-01
2.38E-02	-3.6E-01	-3.6E-01
2.40E-02	-8.4E-01	-8.4E-01
2.42E-02	-1.24E+00	-1.24E+00
2.44E-02	-1.56E+00	-1.56E+00
2.46E-02	-1.76E+00	-1.76E+00
2.48E-02	-1.72E+00	-1.72E+00
2.50E-02	-1.44E+00	-1.44E+00
2.52E-02	-8.8E-01	-8.8E-01
2.54E-02	-2.4E-01	-2.4E-01
2.56E-02	4.4E-01	4.4E-01
2.58E-02	1.08E+00	1.08E+00
2.60E-02	1.48E+00	1.48E+00
2.62E-02	1.64E+00	1.64E+00
2.64E-02	1.64E+00	1.64E+00
2.66E-02	1.48E+00	1.48E+00
2.68E-02	1.20E+00	1.20E+00
2.70E-02	6.8E-01	6.8E-01
2.72E-02	1.2E-01	1.2E-01
2.74E-02	-4.4E-01	-4.4E-01
2.76E-02	-9.2E-01	-9.2E-01
2.78E-02	-1.36E+00	-1.36E+00
2.80E-02	-1.64E+00	-1.64E+00
2.82E-02	-1.80E+00	-1.80E+00
2.84E-02	-1.68E+00	-1.68E+00
2.86E-02	-1.32E+00	-1.32E+00
2.88E-02	-7.2E-01	-7.2E-01
2.90E-02	-4.E-02	-4.E-02
2.92E-02	6.4E-01	6.4E-01
2.94E-02	1.24E+00	1.24E+00
2.96E-02	1.52E+00	1.52E+00
2.98E-02	1.64E+00	1.64E+00
3.00E-02	1.60E+00	1.60E+00
3.02E-02	1.40E+00	1.40E+00
3.04E-02	1.04E+00	1.04E+00
3.06E-02	5.2E-01	5.2E-01
3.08E-02	0.E-02	0.E-02
3.10E-02	-6.0E-01	-6.0E-01
3.12E-02	-1.04E+00	-1.04E+00

3.14E-02	-1.44E+00	-1.44E+00
3.16E-02	-1.68E+00	-1.68E+00
3.18E-02	-1.80E+00	-1.80E+00
3.20E-02	-1.68E+00	-1.68E+00
3.22E-02	-1.20E+00	-1.20E+00
3.24E-02	-5.2E-01	-5.2E-01
3.26E-02	1.6E-01	1.6E-01
3.28E-02	8.0E-01	8.0E-01
3.30E-02	1.32E+00	1.32E+00
3.32E-02	1.60E+00	1.60E+00
3.34E-02	1.64E+00	1.64E+00
3.36E-02	1.56E+00	1.56E+00
3.38E-02	1.28E+00	1.28E+00
3.40E-02	9.2E-01	9.2E-01
3.42E-02	4.4E-01	4.4E-01
3.44E-02	-1.6E-01	-1.6E-01
3.46E-02	-7.2E-01	-7.2E-01
3.48E-02	-1.20E+00	-1.20E+00
3.50E-02	-1.52E+00	-1.52E+00
3.52E-02	-1.72E+00	-1.72E+00
3.54E-02	-1.76E+00	-1.76E+00
3.56E-02	-1.56E+00	-1.56E+00
3.58E-02	-1.04E+00	-1.04E+00
3.60E-02	-3.2E-01	-3.2E-01
3.62E-02	3.2E-01	3.2E-01
3.64E-02	9.2E-01	9.2E-01
3.66E-02	1.40E+00	1.40E+00
3.68E-02	1.64E+00	1.64E+00
3.70E-02	1.64E+00	1.64E+00
3.72E-02	1.52E+00	1.52E+00
3.74E-02	1.20E+00	1.20E+00
3.76E-02	8.0E-01	8.0E-01
3.78E-02	2.4E-01	2.4E-01
3.80E-02	-2.8E-01	-2.8E-01
3.82E-02	-8.4E-01	-8.4E-01
3.84E-02	-1.20E+00	-1.20E+00
3.86E-02	-1.48E+00	-1.48E+00
3.88E-02	-1.72E+00	-1.72E+00
3.90E-02	-1.76E+00	-1.76E+00
3.92E-02	-1.48E+00	-1.48E+00
3.94E-02	-9.6E-01	-9.6E-01
3.96E-02	-2.8E-01	-2.8E-01
3.98E-02	3.6E-01	3.6E-01

Data adquirida con el Fluke View para el sensor de velocidad, condición alta en vacío.

830 Hz

```
"Title      " "Input A"
"ID        " 1
"Type      " "Envelope"
"Date      " 06/20/12
"Time      " 15:04:49
"X Scale   " 1.00E-03
"X At 0%   "-2.00E-03
"X Resolution " 2.500000E+01
"X Size    " 250
"X Unit    " "s"
"X Label   " "1 ms/Div"
"Y Scale   " 5.0E+00
"Y At 50%  " 0.E-01
"Y Resolution " 2.500000E+01
"Y Size    " 256
"Y Unit    " "V"
"Y Label   " "V"
```

-2.00E-03	1.2E+00	1.2E+00
-1.96E-03	2.4E+00	2.4E+00
-1.92E-03	3.4E+00	3.4E+00
-1.88E-03	4.2E+00	4.2E+00
-1.84E-03	4.6E+00	4.6E+00
-1.80E-03	4.6E+00	4.6E+00
-1.76E-03	4.8E+00	4.8E+00
-1.72E-03	4.4E+00	4.4E+00
-1.68E-03	4.0E+00	4.0E+00
-1.64E-03	3.0E+00	3.0E+00
-1.60E-03	2.0E+00	2.0E+00
-1.56E-03	1.0E+00	1.0E+00
-1.52E-03	0.E-01	0.E-01
-1.48E-03	-1.0E+00	-1.0E+00
-1.44E-03	-2.2E+00	-2.2E+00
-1.40E-03	-3.2E+00	-3.2E+00
-1.36E-03	-4.4E+00	-4.4E+00
-1.32E-03	-5.2E+00	-5.2E+00
-1.28E-03	-6.0E+00	-6.0E+00
-1.24E-03	-6.6E+00	-6.6E+00
-1.20E-03	-7.0E+00	-7.0E+00
-1.16E-03	-7.0E+00	-7.0E+00
-1.12E-03	-7.0E+00	-7.0E+00

-1.08E-03	-6.4E+00	-6.4E+00
-1.04E-03	-5.6E+00	-5.6E+00
-1.00E-03	-5.0E+00	-5.0E+00
-9.6E-04	-4.6E+00	-4.6E+00
-9.2E-04	-3.6E+00	-3.6E+00
-8.8E-04	-3.2E+00	-3.2E+00
-8.4E-04	-2.6E+00	-2.6E+00
-8.0E-04	-2.2E+00	-2.2E+00
-7.6E-04	-2.0E+00	-2.0E+00
-7.2E-04	-1.6E+00	-1.6E+00
-6.8E-04	-1.4E+00	-1.4E+00
-6.4E-04	-1.2E+00	-1.2E+00
-6.0E-04	-8.E-01	-8.E-01
-5.6E-04	-4.E-01	-4.E-01
-5.2E-04	-4.E-01	-4.E-01
-4.8E-04	-4.E-01	-4.E-01
-4.4E-04	0.E-01	0.E-01
-4.0E-04	-2.E-01	-2.E-01
-3.6E-04	0.E-01	0.E-01
-3.2E-04	0.E-01	0.E-01
-2.8E-04	2.E-01	2.E-01
-2.4E-04	6.E-01	6.E-01
-2.0E-04	8.E-01	8.E-01
-1.6E-04	1.2E+00	1.2E+00
-1.2E-04	1.4E+00	1.4E+00
-8.E-05	1.8E+00	1.8E+00
-4.E-05	2.2E+00	2.2E+00
0.E-05	3.0E+00	3.0E+00
4.E-05	3.4E+00	3.4E+00
8.E-05	4.2E+00	4.2E+00
1.2E-04	4.6E+00	4.6E+00
1.6E-04	5.4E+00	5.4E+00
2.0E-04	6.2E+00	6.2E+00
2.4E-04	6.4E+00	6.4E+00
2.8E-04	6.4E+00	6.4E+00
3.2E-04	6.0E+00	6.0E+00
3.6E-04	5.8E+00	5.8E+00
4.0E-04	5.4E+00	5.4E+00
4.4E-04	4.8E+00	4.8E+00
4.8E-04	4.2E+00	4.2E+00
5.2E-04	3.2E+00	3.2E+00
5.6E-04	2.2E+00	2.2E+00
6.0E-04	1.0E+00	1.0E+00
6.4E-04	0.E-01	0.E-01
6.8E-04	-1.0E+00	-1.0E+00
7.2E-04	-2.0E+00	-2.0E+00
7.6E-04	-2.8E+00	-2.8E+00

8.0E-04	-4.0E+00	-4.0E+00
8.4E-04	-4.4E+00	-4.4E+00
8.8E-04	-5.0E+00	-5.0E+00
9.2E-04	-5.0E+00	-5.0E+00
9.6E-04	-5.2E+00	-5.2E+00
1.00E-03	-4.8E+00	-4.8E+00
1.04E-03	-3.8E+00	-3.8E+00
1.08E-03	-2.6E+00	-2.6E+00
1.12E-03	-1.2E+00	-1.2E+00
1.16E-03	0.E-01	0.E-01
1.20E-03	1.2E+00	1.2E+00
1.24E-03	2.2E+00	2.2E+00
1.28E-03	3.6E+00	3.6E+00
1.32E-03	4.2E+00	4.2E+00
1.36E-03	4.4E+00	4.4E+00
1.40E-03	4.6E+00	4.6E+00
1.44E-03	4.4E+00	4.4E+00
1.48E-03	4.4E+00	4.4E+00
1.52E-03	3.8E+00	3.8E+00
1.56E-03	3.4E+00	3.4E+00
1.60E-03	2.4E+00	2.4E+00
1.64E-03	1.6E+00	1.6E+00
1.68E-03	2.E-01	2.E-01
1.72E-03	-6.E-01	-6.E-01
1.76E-03	-1.4E+00	-1.4E+00
1.80E-03	-2.4E+00	-2.4E+00
1.84E-03	-3.2E+00	-3.2E+00
1.88E-03	-4.0E+00	-4.0E+00
1.92E-03	-4.4E+00	-4.4E+00
1.96E-03	-5.0E+00	-5.0E+00
2.00E-03	-5.2E+00	-5.2E+00
2.04E-03	-5.2E+00	-5.2E+00
2.08E-03	-4.2E+00	-4.2E+00
2.12E-03	-3.2E+00	-3.2E+00
2.16E-03	-2.4E+00	-2.4E+00
2.20E-03	-8.E-01	-8.E-01
2.24E-03	4.E-01	4.E-01
2.28E-03	1.6E+00	1.6E+00
2.32E-03	3.0E+00	3.0E+00
2.36E-03	3.8E+00	3.8E+00
2.40E-03	4.6E+00	4.6E+00
2.44E-03	4.8E+00	4.8E+00
2.48E-03	4.8E+00	4.8E+00
2.52E-03	4.4E+00	4.4E+00
2.56E-03	4.2E+00	4.2E+00
2.60E-03	3.6E+00	3.6E+00
2.64E-03	3.2E+00	3.2E+00

2.68E-03	2.4E+00	2.4E+00
2.72E-03	1.2E+00	1.2E+00
2.76E-03	0.E-01	0.E-01
2.80E-03	-8.E-01	-8.E-01
2.84E-03	-2.0E+00	-2.0E+00
2.88E-03	-3.0E+00	-3.0E+00
2.92E-03	-3.8E+00	-3.8E+00
2.96E-03	-4.6E+00	-4.6E+00
3.00E-03	-4.8E+00	-4.8E+00
3.04E-03	-5.4E+00	-5.4E+00
3.08E-03	-5.4E+00	-5.4E+00
3.12E-03	-5.2E+00	-5.2E+00
3.16E-03	-4.4E+00	-4.4E+00
3.20E-03	-3.2E+00	-3.2E+00
3.24E-03	-1.8E+00	-1.8E+00
3.28E-03	-6.E-01	-6.E-01
3.32E-03	6.E-01	6.E-01
3.36E-03	1.8E+00	1.8E+00
3.40E-03	3.2E+00	3.2E+00
3.44E-03	4.0E+00	4.0E+00
3.48E-03	4.4E+00	4.4E+00
3.52E-03	4.8E+00	4.8E+00
3.56E-03	4.4E+00	4.4E+00
3.60E-03	4.2E+00	4.2E+00
3.64E-03	4.2E+00	4.2E+00
3.68E-03	3.6E+00	3.6E+00
3.72E-03	2.8E+00	2.8E+00
3.76E-03	2.0E+00	2.0E+00
3.80E-03	8.E-01	8.E-01
3.84E-03	-2.E-01	-2.E-01
3.88E-03	-1.2E+00	-1.2E+00
3.92E-03	-2.4E+00	-2.4E+00
3.96E-03	-3.2E+00	-3.2E+00
4.00E-03	-4.0E+00	-4.0E+00
4.04E-03	-4.6E+00	-4.6E+00
4.08E-03	-4.8E+00	-4.8E+00
4.12E-03	-5.4E+00	-5.4E+00
4.16E-03	-5.4E+00	-5.4E+00
4.20E-03	-5.0E+00	-5.0E+00
4.24E-03	-4.2E+00	-4.2E+00
4.28E-03	-3.0E+00	-3.0E+00
4.32E-03	-1.8E+00	-1.8E+00
4.36E-03	-4.E-01	-4.E-01
4.40E-03	6.E-01	6.E-01
4.44E-03	2.2E+00	2.2E+00
4.48E-03	3.0E+00	3.0E+00
4.52E-03	4.0E+00	4.0E+00

4.56E-03	4.8E+00	4.8E+00
4.60E-03	4.8E+00	4.8E+00
4.64E-03	4.6E+00	4.6E+00
4.68E-03	4.6E+00	4.6E+00
4.72E-03	4.4E+00	4.4E+00
4.76E-03	3.8E+00	3.8E+00
4.80E-03	3.0E+00	3.0E+00
4.84E-03	2.0E+00	2.0E+00
4.88E-03	1.2E+00	1.2E+00
4.92E-03	0.E-01	0.E-01
4.96E-03	-1.2E+00	-1.2E+00
5.00E-03	-2.4E+00	-2.4E+00
5.04E-03	-3.4E+00	-3.4E+00
5.08E-03	-4.2E+00	-4.2E+00
5.12E-03	-4.6E+00	-4.6E+00
5.16E-03	-5.2E+00	-5.2E+00
5.20E-03	-5.4E+00	-5.4E+00
5.24E-03	-5.6E+00	-5.6E+00
5.28E-03	-5.0E+00	-5.0E+00
5.32E-03	-4.0E+00	-4.0E+00
5.36E-03	-2.8E+00	-2.8E+00
5.40E-03	-1.6E+00	-1.6E+00
5.44E-03	-2.E-01	-2.E-01
5.48E-03	1.0E+00	1.0E+00
5.52E-03	2.4E+00	2.4E+00
5.56E-03	3.6E+00	3.6E+00
5.60E-03	4.4E+00	4.4E+00
5.64E-03	4.6E+00	4.6E+00
5.68E-03	5.0E+00	5.0E+00
5.72E-03	4.8E+00	4.8E+00
5.76E-03	4.6E+00	4.6E+00
5.80E-03	4.2E+00	4.2E+00
5.84E-03	3.8E+00	3.8E+00
5.88E-03	2.8E+00	2.8E+00
5.92E-03	1.8E+00	1.8E+00
5.96E-03	8.E-01	8.E-01
6.00E-03	-4.E-01	-4.E-01
6.04E-03	-1.6E+00	-1.6E+00
6.08E-03	-2.8E+00	-2.8E+00
6.12E-03	-3.4E+00	-3.4E+00
6.16E-03	-4.2E+00	-4.2E+00
6.20E-03	-5.2E+00	-5.2E+00
6.24E-03	-5.6E+00	-5.6E+00
6.28E-03	-5.8E+00	-5.8E+00
6.32E-03	-5.4E+00	-5.4E+00
6.36E-03	-4.8E+00	-4.8E+00
6.40E-03	-3.8E+00	-3.8E+00

6.44E-03	-2.4E+00	-2.4E+00
6.48E-03	-1.2E+00	-1.2E+00
6.52E-03	2.E-01	2.E-01
6.56E-03	1.6E+00	1.6E+00
6.60E-03	2.8E+00	2.8E+00
6.64E-03	4.0E+00	4.0E+00
6.68E-03	4.6E+00	4.6E+00
6.72E-03	4.8E+00	4.8E+00
6.76E-03	5.0E+00	5.0E+00
6.80E-03	4.6E+00	4.6E+00
6.84E-03	4.2E+00	4.2E+00
6.88E-03	4.0E+00	4.0E+00
6.92E-03	3.4E+00	3.4E+00
6.96E-03	2.4E+00	2.4E+00
7.00E-03	1.4E+00	1.4E+00
7.04E-03	2.E-01	2.E-01
7.08E-03	-6.E-01	-6.E-01
7.12E-03	-1.8E+00	-1.8E+00
7.16E-03	-2.8E+00	-2.8E+00
7.20E-03	-3.6E+00	-3.6E+00
7.24E-03	-4.4E+00	-4.4E+00
7.28E-03	-5.2E+00	-5.2E+00
7.32E-03	-5.4E+00	-5.4E+00
7.36E-03	-5.8E+00	-5.8E+00
7.40E-03	-5.6E+00	-5.6E+00
7.44E-03	-5.0E+00	-5.0E+00
7.48E-03	-3.8E+00	-3.8E+00
7.52E-03	-2.4E+00	-2.4E+00
7.56E-03	-1.0E+00	-1.0E+00
7.60E-03	4.E-01	4.E-01
7.64E-03	1.6E+00	1.6E+00
7.68E-03	3.0E+00	3.0E+00
7.72E-03	4.0E+00	4.0E+00
7.76E-03	4.6E+00	4.6E+00
7.80E-03	5.2E+00	5.2E+00
7.84E-03	5.0E+00	5.0E+00
7.88E-03	5.0E+00	5.0E+00
7.92E-03	4.8E+00	4.8E+00
7.96E-03	4.0E+00	4.0E+00

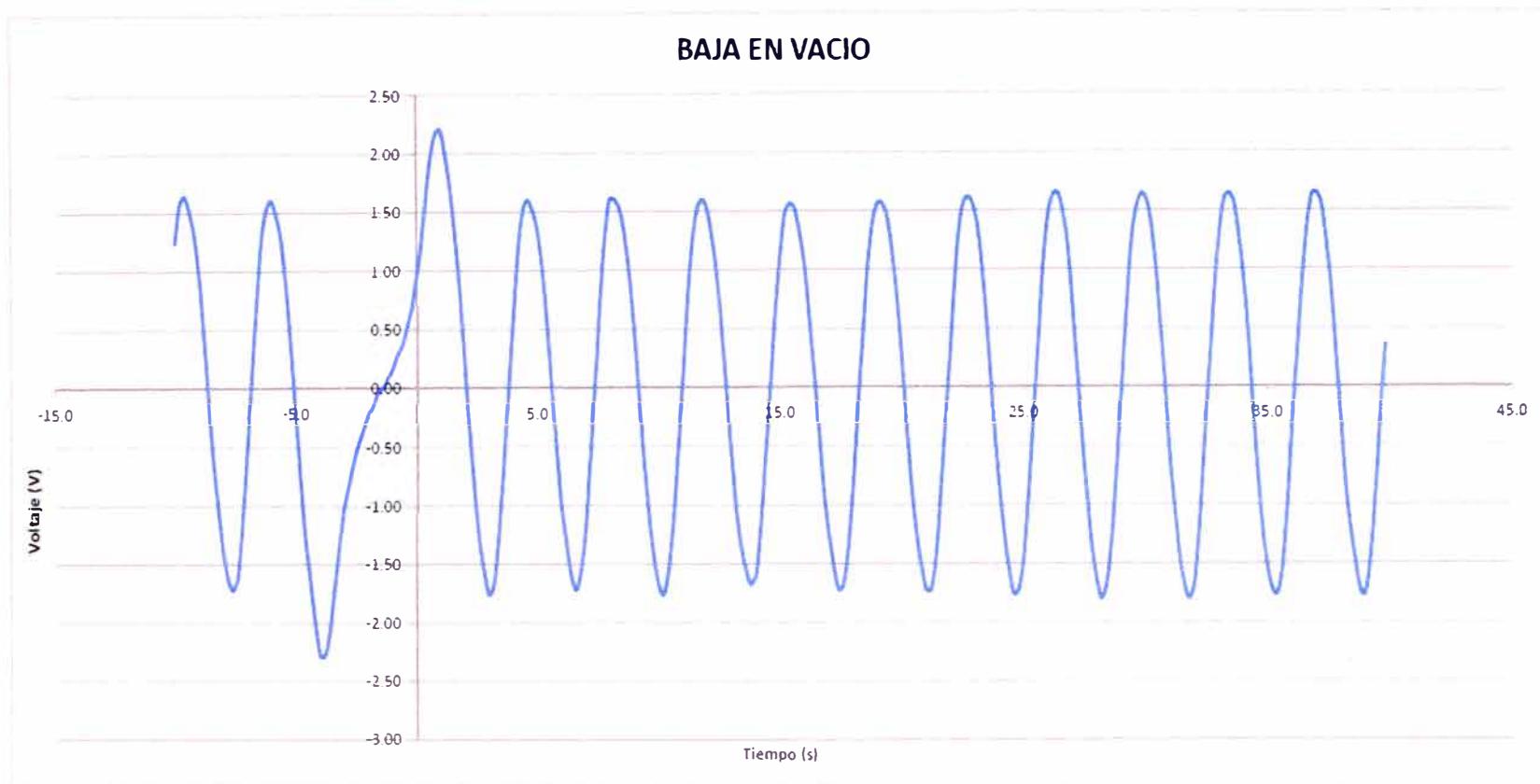


Figura 2.52. Comportamiento del sensor primario de velocidad, baja en vacío

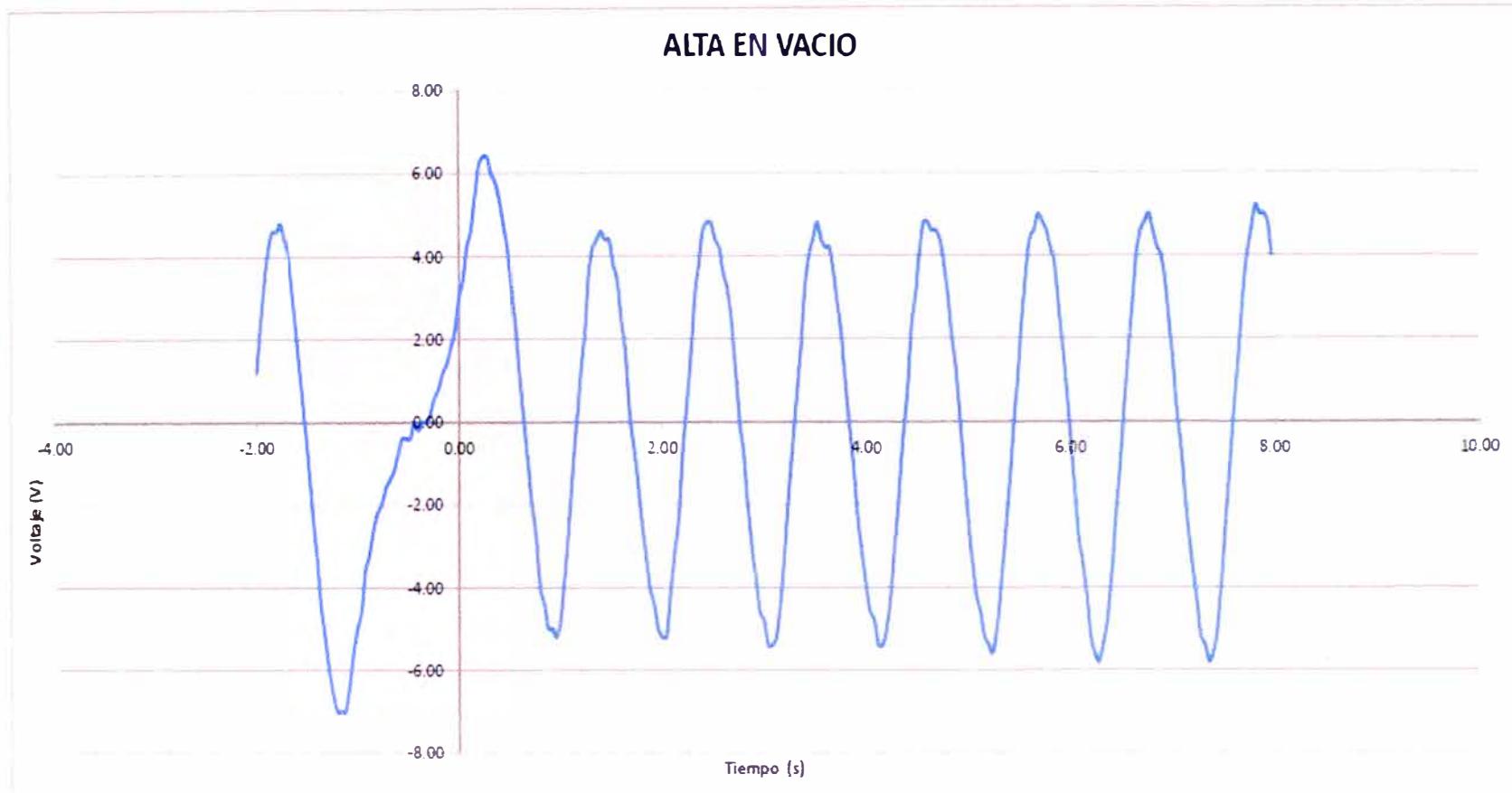
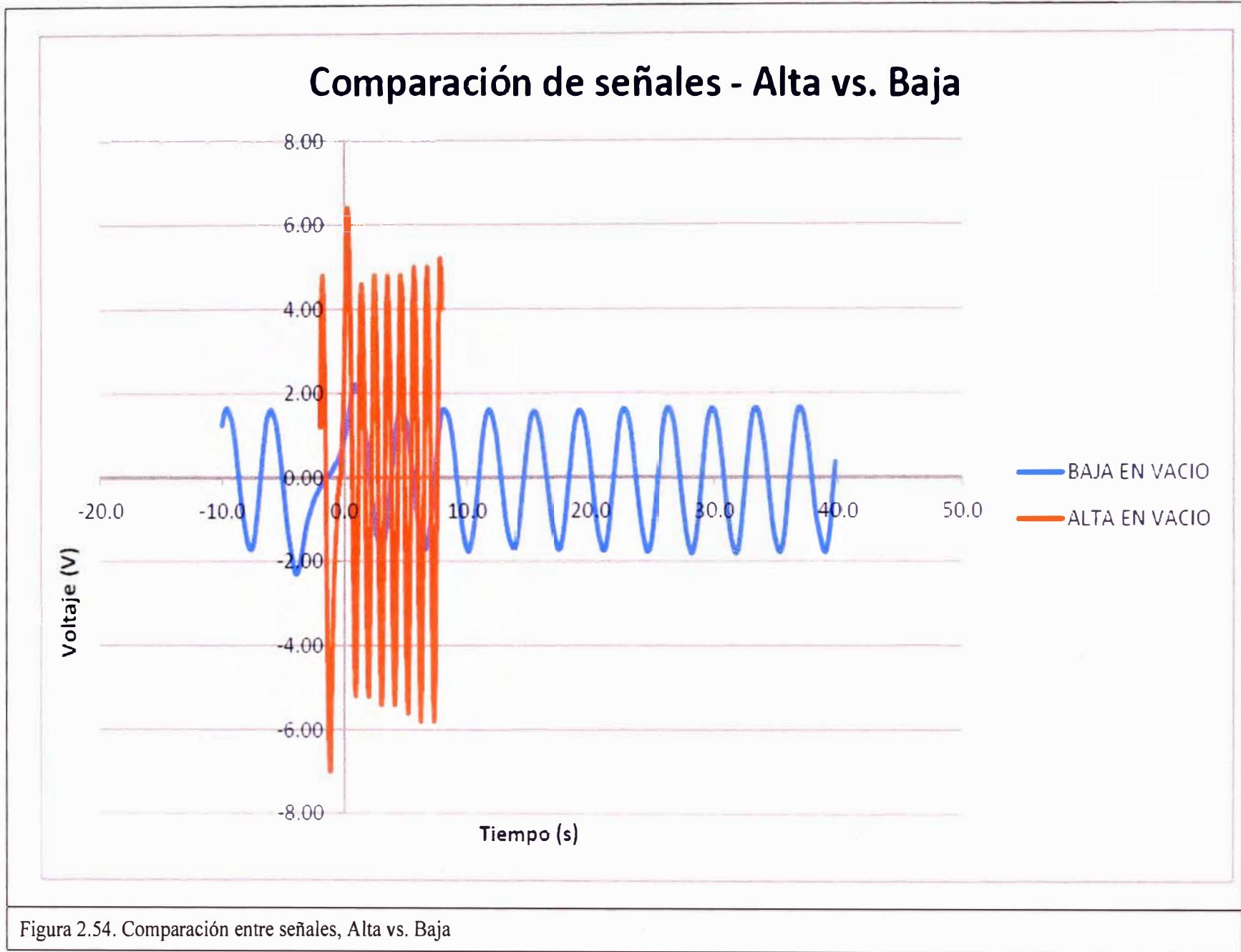


Figura 2.53. Comportamiento del sensor primario de velocidad, alta en vacío



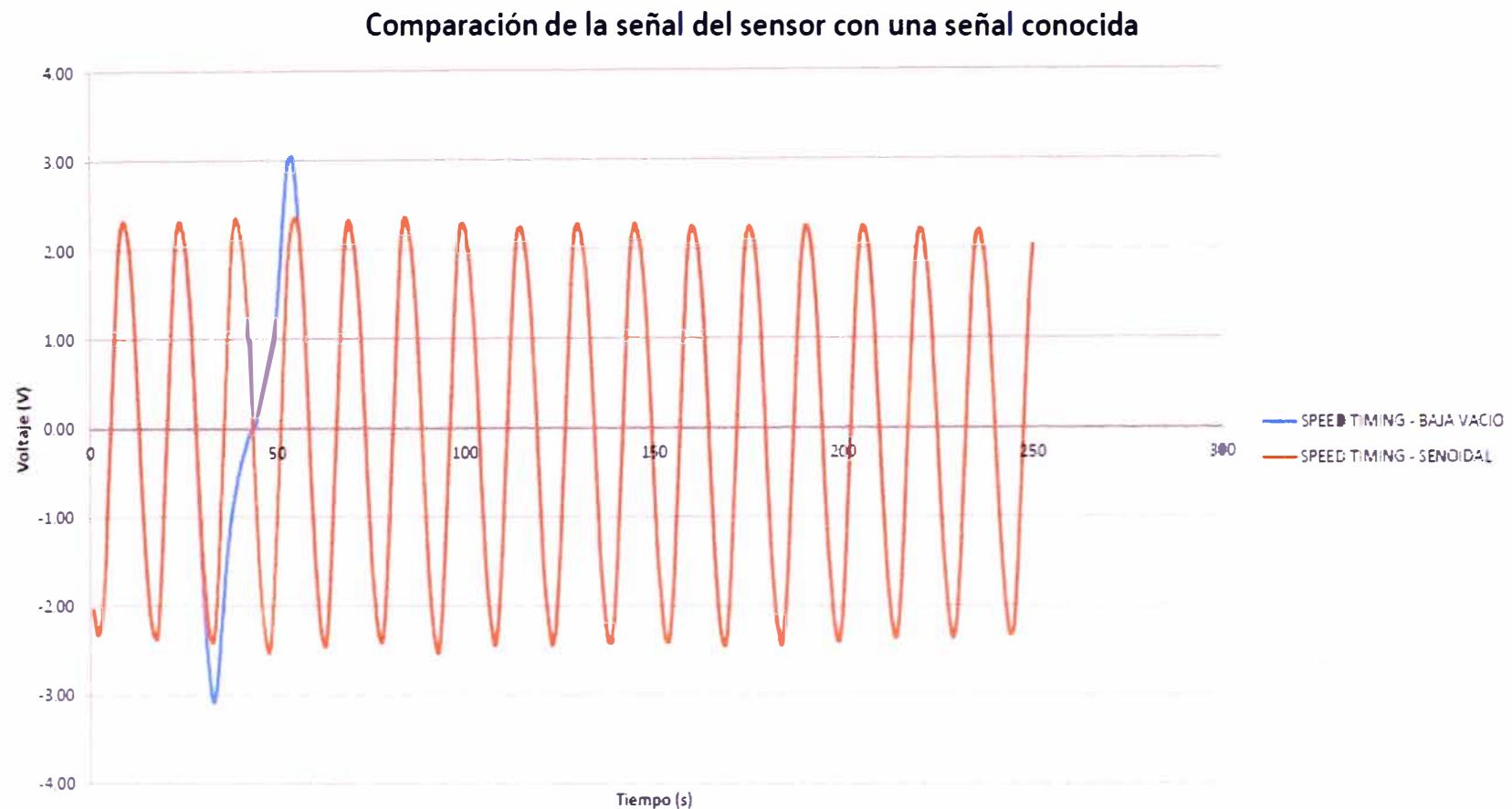


Figura 2.55. Comparación la señal del sensor y una señal conocida

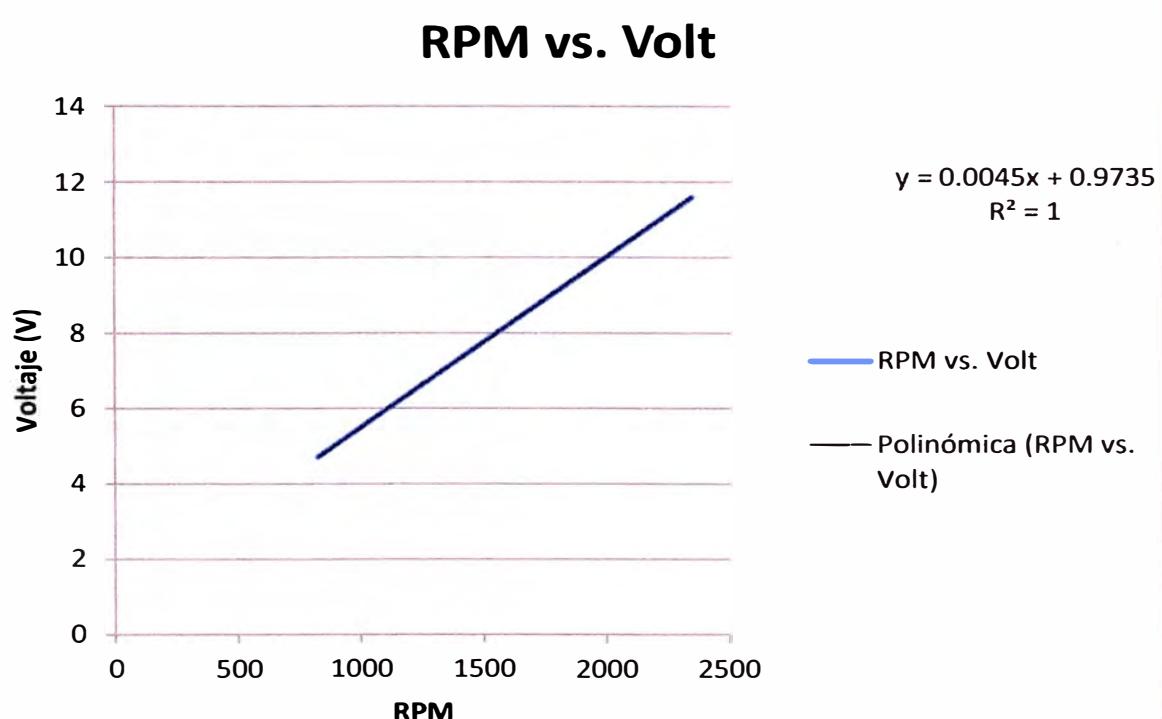
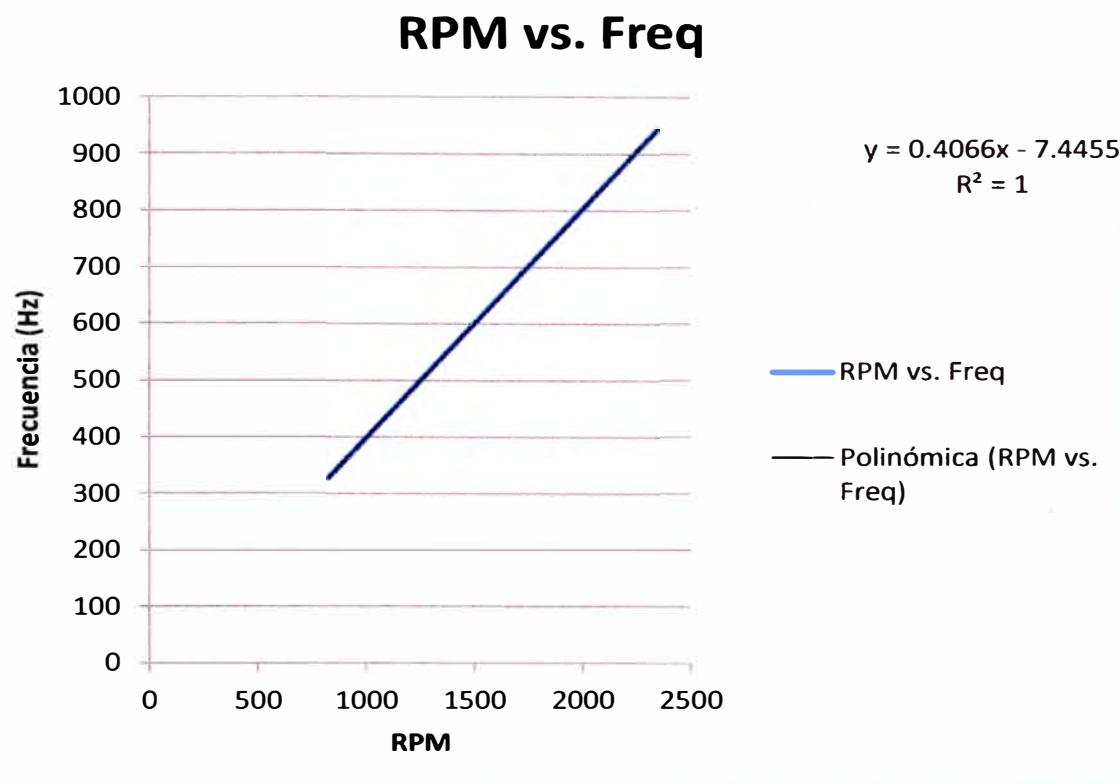


Figura 2.56. Relaciones entre las RPM vs. Frecuencia y Voltaje

2.4. CÓDIGOS DE FALLA, EVENTOS Y REGIÓN DE OPERACIÓN

Los códigos de diagnóstico alertan al operador de que un problema en el sistema electrónico ha sucedido, también indican la naturaleza del problema para el técnico de servicio. El Técnico Electrónico de Caterpillar (ET) es un programa de software que está diseñado para funcionar en un ordenador personal. Los códigos de diagnóstico se pueden ver a través de una PC que tiene el software antes mencionado. Los códigos de diagnóstico consisten en el identificador de componente (CID) y el identificador de modo de fallo (FMI).

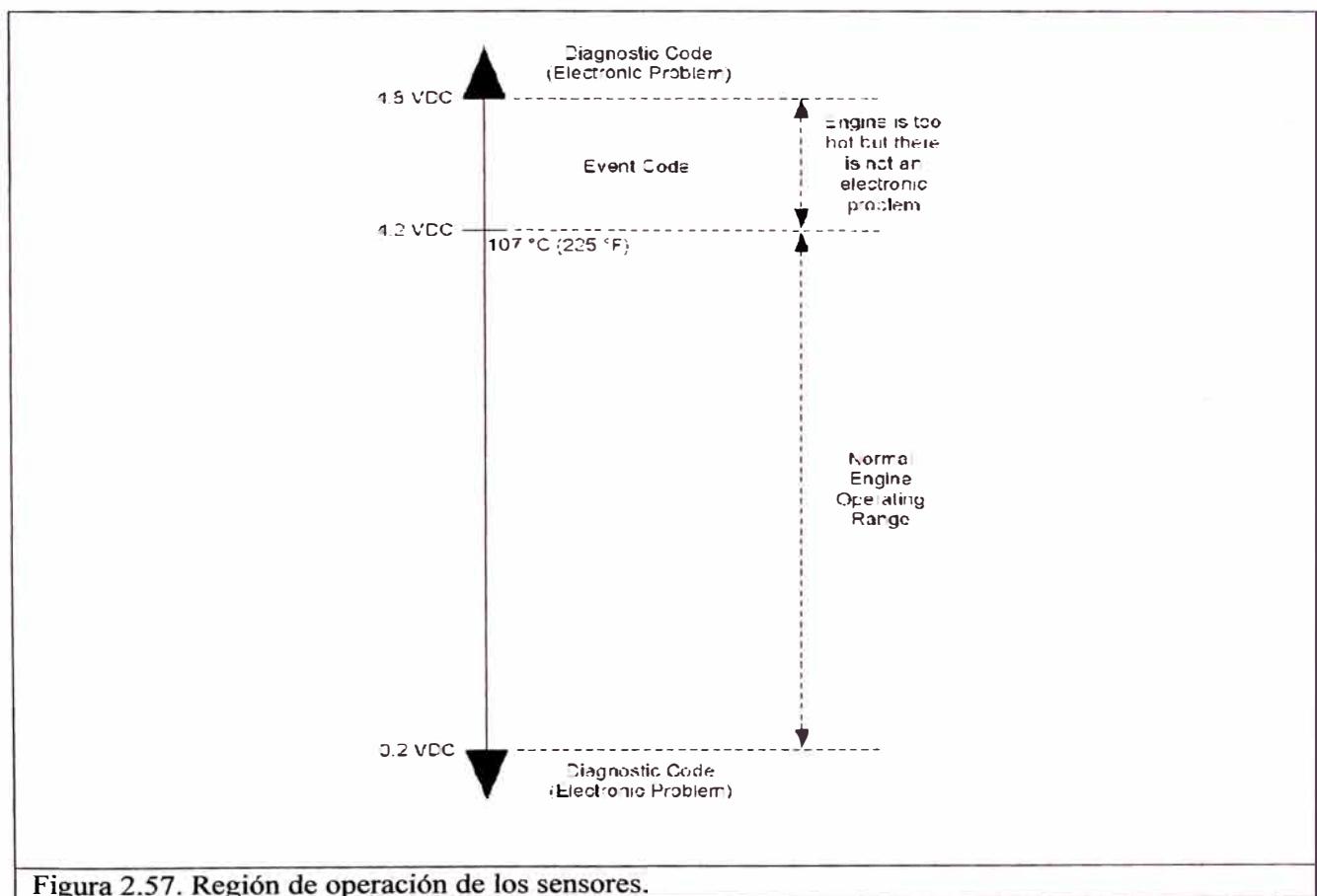


Figura 2.57. Región de operación de los sensores.

CAPÍTULO III

PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN

3.1. DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR

El simulador que se plantea en el presente informe, consiste en replicar las señales obtenidas de parámetros reales capturados de los sensores de un motor Caterpillar mediante el software de servicio “Electronic Technician”.

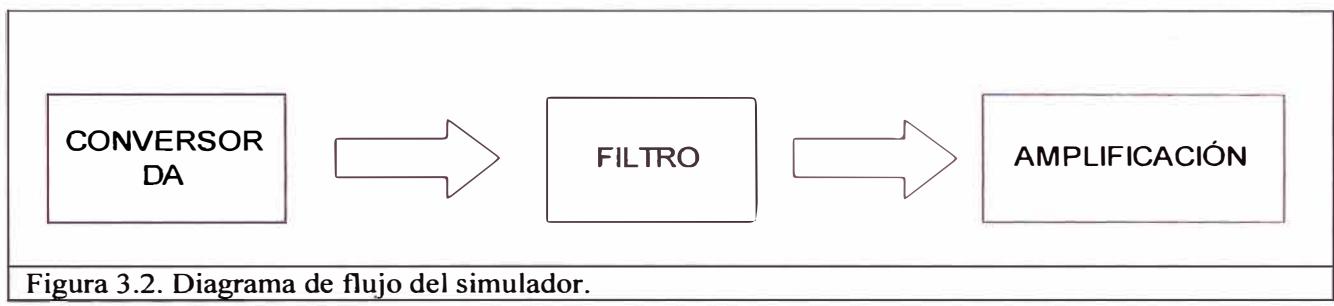
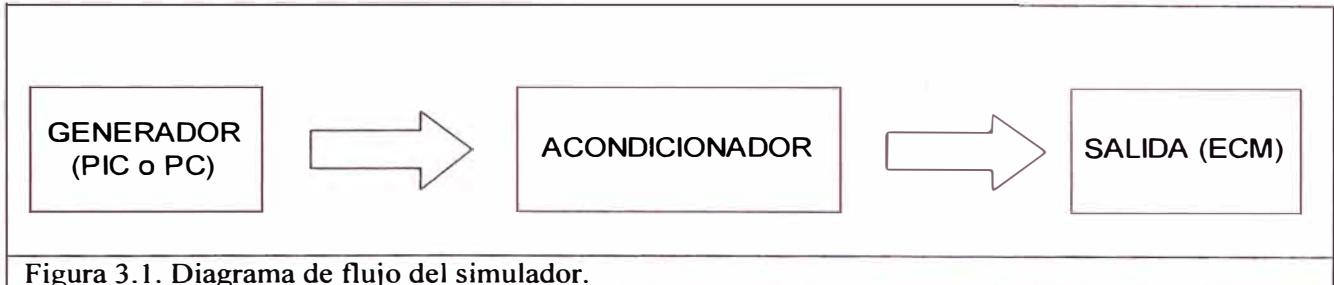
Una vez obtenidas, identificadas y replicadas, estas señales deben ser direccionadas a la computadora de la máquina, también llamada ECM, esta se encarga de controlar las funciones principales del motor y regular su performance.

Se utilizó el lenguaje de programación Visual Basic y C para la generación de señales con el computador y el microcontrolador PIC 16F877A, respectivamente. Es decir se usaron dos alternativas diferentes con el propósito de determinar la herramienta idónea.

Entonces, básicamente el simulador en lenguaje visual consiste en una computadora, con una interfaz, que permita traducir las señales replicadas vía software hacia las entradas de la computadora de la máquina, en el presente informe no calcularemos ni diseñaremos dicha interfaz.

Por otro lado, con lenguaje C, el simulador consiste en un microcontrolador, con una plataforma genérica una etapa de acondicionamiento de señal, amplificación y conexión directa con la computadora de la máquina, en este informe no calcularemos ni diseñaremos la etapa de amplificación ni la plataforma del microcontrolador, nos centramos en el lenguaje de programación.

3.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA SIMULADOR



3.3. GENERACIÓN DE SEÑALES

El código en Visual es el siguiente:

Dim tramaV1(0 To 300) As Single

Dim tramaV2(0 To 300) As Single

Dim tramaV3(0 To 300) As Single

Dim tramaV4(0 To 300) As Single

Dim tramaV5(0 To 300) As Single

Dim tramaV6(0 To 300) As Single

Dim j As Long

Dim xv11 As Long

Dim xv12 As Long

Dim yv11 As Long

Dim yv12 As Long

Dim xv13 As Long

Dim xv21 As Long

Dim xv22 As Long

Dim yv21 As Long

Dim yv22 As Long

Dim xv23 As Long

Dim xv31 As Long

Dim xv32 As Long

Dim yv31 As Long

Dim yv32 As Long

Dim xv33 As Long

Dim xv41 As Long

Dim xv42 As Long

Dim yv41 As Long

Dim yv42 As Long

Dim xv43 As Long

Dim xv51 As Long

Dim xv52 As Long

Dim yv51 As Long

Dim yv52 As Long

Dim xv53 As Long

Dim muestra As Integer

Private Sub Command1_Click()

Picture1.Picture = LoadPicture("")

Timer1.Enabled = True

Timer2.Enabled = True

Timer3.Enabled = True

Timer4.Enabled = True

Timer5.Enabled = True

Timer6.Enabled = True

End Sub

Private Sub Command2_Click()

muestra = 0

xv12 = 0

xv11 = 0

xv22 = 0

xv21 = 0

xv32 = 0

xv31 = 0

xv42 = 0

xv41 = 0

xv52 = 0

xv51 = 0

Timer1.Enabled = False

Timer2.Enabled = False

Timer3.Enabled = False

Timer4.Enabled = False

Timer5.Enabled = False

Timer6.Enabled = False

End Sub

Private Sub Form_Load()

muestra = 0

xv11 = 0

yv11 = 0

xv12 = 0

yv12 = 0

xv13 = 0

xv21 = 0

yv21 = 0

xv22 = 0

yv22 = 0

xv23 = 0

xv31 = 0

yv31 = 0

xv32 = 0

yv32 = 0

xv33 = 0

xv41 = 0

yv41 = 0

xv42 = 0

yv42 = 0

xv43 = 0

xv51 = 0

yv51 = 0

xv52 = 0

yv52 = 0

xv53 = 0

'Variable de tipo Aplicación de Excel

Dim objExcel As Excel.Application

'Una variable de tipo Libro de Excel

Dim xLibro As Excel.Workbook

Dim Col As Integer, Fila As Integer

'creando un nuevo objeto excel

Set objExcel = New Excel.Application

'Usamos el método open para abrir el archivo que está en el directorio del programa llamado archivo.xls

Set xLibro = objExcel.Workbooks.Open(App.Path + "\ejemplo3.xlsx")

'Hacemos el Excel Visible

' objExcel.Visible = True

With xLibro

' Hacemos referencia a la Hoja

With .Sheets(1)

'Recorremos la fila desde la 1 hasta la 7

For Fila = 1 To 260

 tramaV1(Fila) = .Cells(Fila, 5)

 tramaV2(Fila) = .Cells(Fila, 6)

 tramaV3(Fila) = .Cells(Fila, 7)

 tramaV4(Fila) = .Cells(Fila, 8)

 tramaV5(Fila) = .Cells(Fila, 9)

 Next

End With

End With

'Eliminamos los objetos si ya no los usamos

Set objExcel = Nothing

Set xLibro = Nothing

End Sub

Private Sub Timer1_Timer()

For j = 0 To 23

Picture1.Line (10, 600 + j * 600)-(13000, 600 + j * 600), (233)

Picture1.Line (600 + j * 600, 10)-(600 + j * 600, 13000), (233)

Picture1.DrawWidth = 1

Next

Picture1.DrawWidth = 2

If muestra = 1 Then

yv12 = 900 - (tramaV1(xv13) * 80)

Else

yv12 = 900

End If

Picture1.Line (xv11 * 10, yv11)-(xv12 * 10, yv12)

xv11 = xv12

yv11 = yv12

xv12 = xv12 + 1

xv13 = xv13 + 1

'If x3 > 185 Then

If xv13 > 185 Then

xv13 = 0

End If

If (xv12 > 1000) Then

Picture1.Picture = LoadPicture("")

xv12 = 0

xv11 = 0

xv22 = 0

xv21 = 0

xv32 = 0

xv31 = 0

xv42 = 0

xv41 = 0

xv52 = 0

xv51 = 0

End If

' x2 = x2 * 10

End Sub

Private Sub Timer2_Timer()

If muestra = 1 Then

yv22 = 2000 - (tramaV2(xv23) * 150)

Else

yv22 = 2000

End If

Picture1.Line (xv21 * 6, yv21)-(xv22 * 6, yv22)

xv21 = xv22

yv21 = yv22

xv22 = xv22 + 1

xv23 = xv23 + 1

'If x3 > 185 Then

If xv23 > 250 Then

xv23 = 0

End If

End Sub

Private Sub Timer3_Timer()

If muestra = 1 Then

yv32 = 3500 - (tramaV3(xv33) * 500)

Else

yv32 = 3500

End If

Picture1.Line (xv31 * 30, yv31)-(xv32 * 30, yv32)

Picture1.Line (xv31 * 30, yv31 + 800)-(xv32 * 30, yv32 + 800)

Picture1.Line (xv31 * 30, yv31 + 1600)-(xv32 * 30, yv32 + 1600)

Picture1.Line (xv31 * 30, yv31 + 2400)-(xv32 * 30, yv32 + 2400)

xv31 = xv32

yv31 = yv32

xv32 = xv32 + 1

xv33 = xv33 + 1

'If x3 > 185 Then

If xv33 > 250 Then

xv33 = 249

End If

End Sub

Private Sub Timer4_Timer()

If muestra = 1 Then

yv42 = 6700 - (tramaV4(xv43) * 60)

Else

yv42 = 6700

End If

Picture1.Line (xv41 * 30, yv41)-(xv42 * 30, yv42)

Picture1.Line (xv41 * 30, yv41 + 800)-(xv42 * 30, yv42 + 800)

xv41 = xv42

yv41 = yv42

xv42 = xv42 + 1

xv43 = xv43 + 1

'If x3 > 185 Then

If xv43 > 250 Then

xv43 = 249

End If

End Sub

Private Sub Timer5_Timer()

If muestra = 1 Then

yv52 = 9000 - (tramaV5(xv53) * 100)

Else

yv52 = 9000

End If

Picture1.Line (xv51 * 6, yv51)-(xv52 * 6, yv52)

xv51 = xv52

yv51 = yv52

xv52 = xv52 + 1

xv53 = xv53 + 1

'If x3 > 185 Then

If xv53 > 200 Then

xv53 = 0

End If

End Sub

```
Private Sub Timer6_Timer()
```

```
    Timer6.Enabled = False
```

```
    muestra = 1
```

```
    yv11 = 900
```

```
    yv12 = 900
```

```
    xv13 = 0
```

```
    yv21 = 2000
```

```
    yv22 = 2000
```

```
    xv23 = 0
```

```
    yv31 = 3500
```

```
    yv32 = 3500
```

```
    xv33 = 0
```

```
    yv41 = 6700
```

```
    yv42 = 6700
```

```
    xv43 = 0
```

```
    yv51 = 9000
```

```
    yv52 = 9000
```

```
    xv53 = 0
```

End Sub

El código en C es el siguiente:

tabla.c

//cnt = 46 y osc = 4MHz

```
unsigned char const senal_1[260] = {
```

```
92,104,114,122,126,126,128,124,120,110,100,90,80,70,58,48,36,28,20,14,10,10,10,1
6,24,30,34,44,48,54,58,60,64,66,68,72,76,76,76,80,78,80,80,82,86,88,92,94,98,102,1
10,114,122,126,134,142,144,144,140,138,134,128,122,112,102,90,80,70,60,52,40,36
,30,30,28,32,42,54,68,80,92,102,116,122,124,126,124,124,118,114,104,96,82,74,66,
56,48,40,36,30,28,28,38,48,56,72,84,96,110,118,126,128,128,124,122,116,112,104,9
2,80,72,60,50,42,34,32,26,26,28,36,48,62,74,86,98,112,120,124,128,124,122,122,11
6,108,100,88,78,68,56,48,40,34,32,26,26,30,38,50,62,76,86,102,110,120,128,128,12
6,126,124,118,110,100,92,80,68,56,46,38,34,28,26,24,30,40,52,64,78,90,104,116,12
4,126,130,128,126,122,118,108,98,88,76,64,52,46,38,28,24,22,26,32,42,56,68,82,96,
108,120,126,128,130,126,122,120,114,104,94,82,74,62,52,44,36,28,26,22,24,30,42,5
6,70,84,96,110,120,126,132,130,130,128,120,
```

};

```
unsigned char const senal_2[260]={
```

```
197,214,219,212,201,181,152,121,92,70,50,37,32,39,66,99,137,170,199,212,217,210
,199,177,148,117,86,57,37,17,1,1,12,32,52,70,81,92,101,108,114,119,126,128,132,1
37,143,148,157,166,179,194,217,237,248,250,239,223,201,174,141,110,81,57,41,30,
34,57,88,123,159,190,210,217,212,203,186,159,128,99,72,54,39,32,41,61,97,132,17
0,199,217,217,212,201,181,154,123,94,68,48,34,30,41,63,97,132,170,197,212,217,2
12,199,181,154,126,97,70,52,41,34,39,61,94,128,163,190,210,214,212,201,186,161,
134,108,79,59,43,32,34,52,81,119,152,186,206,214,214,208,192,170,141,110,81,59,
43,32,32,48,79,114,148,183,208,217,217,210,194,170,139,108,81,59,41,30,32,48,79,
114,152,188,210,219,219,210,194,166,134,103,77,52,37,28,34,54,88,126,163,197,21
2,219,217,206,186,157,128,94,70,48,34,28,34,61,99,137,172,201,217,219,214,199,1
79,152,119,88,61,43,32,30,41,70,110,146,179,206,219,219,212,194,172,141,112,81,
61,46,32,30,46,74,112,148,
```

};

generador de senal.c

```
#include "tabla.c"

unsigned int j,m,i;

void main() {

PORTA = 255;

TRISA = 255;           // configure PORTA pins as input

PORTB = 0;             // set PORTB to 0

TRISB = 0;             // designate PORTB pins as output

PORTC = 0;             // set PORTC to 0

TRISC = 0;             // designate PORTC pins as output

PWM1_Init(5000);       // Initialize PWM1 module at 5KHz

PWM2_Init(5000);       // Initialize PWM2 module at 5KHz

PWM1_Start();          // start PWM1

PWM2_Start();          // start PWM2

PWM2_Set_Duty(0);      // Set current duty for PWM1

PWM1_Set_Duty(0);      // Set current duty for PWM2

j = 0;
```

```
m = 0;  
i = 0;  
  
delay_ms(1000);  
  
while (1) { // endless loop  
  
    PWM2_Set_Duty(senal_2[j]); // Set current duty for PWM1  
    PWM1_Set_Duty(senal_1[i]); // Set current duty for PWM2  
  
    delay_ms(1);  
  
    j++;  
    if(j==249)  
    {  
        j = 0;  
    }  
    m++;  
    if(m==2)  
    {  
        m = 0;  
        i++;  
        if(i==249)  
        {  
            i = 0;
```

```

    }
}
```

```

}
}
```

tabla 2.c

//cnt = 46 y osc = 4MHz

unsigned char const senal_p[260] = {

50,50,51,51,51,52,52,53,53,54,54,54,55,55,56,56,57,57,57,58,58,59,59,60,60,60,61,6
 1,62,62,63,63,64,64,64,65,65,66,66,67,67,67,68,68,69,69,70,70,70,71,71,72,72,73,73
 ,73,74,74,75,75,76,76,76,77,77,78,78,79,79,79,80,80,81,81,82,82,82,83,83,84,84,85,
 85,85,86,86,87,87,88,88,88,89,89,90,90,91,91,91,92,92,93,93,94,94,94,95,95,96,96,9
 7,97,97,98,98,99,99,100,100,100,101,101,102,102,103,103,103,104,104,105,105,106
 ,106,107,107,107,108,108,109,109,110,110,110,111,111,111,112,112,113,113,113,114,1
 14,115,115,116,116,116,117,117,118,118,118,119,119,119,120,120,120,121,121,122,122
 ,123,123,124,124,125,125,125,126,126,127,127,128,128,128,129,129,130,130,131,1
 31,131,132,132,133,133,134,134,134,135,135,136,136,137,137,137,138,138,139,139
 ,140,140,140,141,141,142,142,143,143,143,144,144,144,145,145,146,146,146,147,147,1
 48,148,149,149,150,150,150,151,151,152,152,153,153,153,154,154,155,155,156,156
 ,156,157,

};

unsigned char const senal_n[260] = {

126,125,125,124,124,123,123,122,122,121,121,120,120,119,119,118,118,117,117,11
 6,116,115,115,114,114,114,113,112,112,111,111,110,110,109,109,108,108,107,107,106,
 106,105,105,104,104,104,103,103,102,102,101,101,100,100,99,99,98,98,97,97,96,96,95,
 95,94,94,93,93,92,92,91,91,90,90,89,89,88,88,87,87,86,86,85,85,84,84,83,83,82,82,8
 1,81,80,80,79,79,78,78,77,77,76,76,75,75,74,74,73,73,72,72,71,71,71,70,70,69,69,68,68
 ,67,67,66,66,65,65,64,64,63,63,62,62,61,61,60,60,59,59,58,58,57,57,56,56,55,55,54,

```

54,53,53,52,52,51,51,50,49,49,48,48,47,47,46,46,45,45,44,44,43,43,42,42,41,41,40,4
0,39,39,38,38,37,37,36,36,35,35,34,34,33,33,32,32,31,31,30,30,29,29,28,28,27,27,26
,26,25,25,24,24,23,23,22,22,21,21,20,20,19,19,18,18,17,17,16,16,15,15,14,14,13,13,
12,12,11,11,10,10,9,9,8,8,7,7,6,6,5,5,4,4,3,3,2,2,1,1,0,
};


```

generador de sena 2.c

```
#include "tabla_2.c"
```

```
unsigned int j;
```

```
void main() {
```

```

PORTA = 255;
TRISA = 255;           // configure PORTA pins as input
PORTB = 0;             // set PORTB to 0
TRISB = 0;             // designate PORTB pins as output
PORTC = 0;             // set PORTC to 0
TRISC = 0;             // designate PORTC pins as output
PWM1_Init(5000);       // Initialize PWM1 module at 5KHz
PWM2_Init(5000);       // Initialize PWM2 module at 5KHz

```

```
PWM1_Start();          // start PWM1
```

```
PWM2_Start();          // start PWM2
```

```
PWM2_Set_Duty(0);     // Set current duty for PWM1
```

```
PWM1_Set_Duty(0);      // Set current duty for PWM2

j = 0;

delay_ms(1000);

while (1) {                // endless loop

    PWM2_Set_Duty(senal_p[j]);    // Set current duty for PWM1
    PWM1_Set_Duty(senal_n[j]);    // Set current duty for PWM2

    delay_ms(10);

    j++;
    if(j==249)

    {
        while(1)
        {
            delay_ms(5);
        }
    }
}

}
```

3.4. SIMULACIÓN

La simulación generada en Visual produce la siguiente ventana y las siguientes señales:

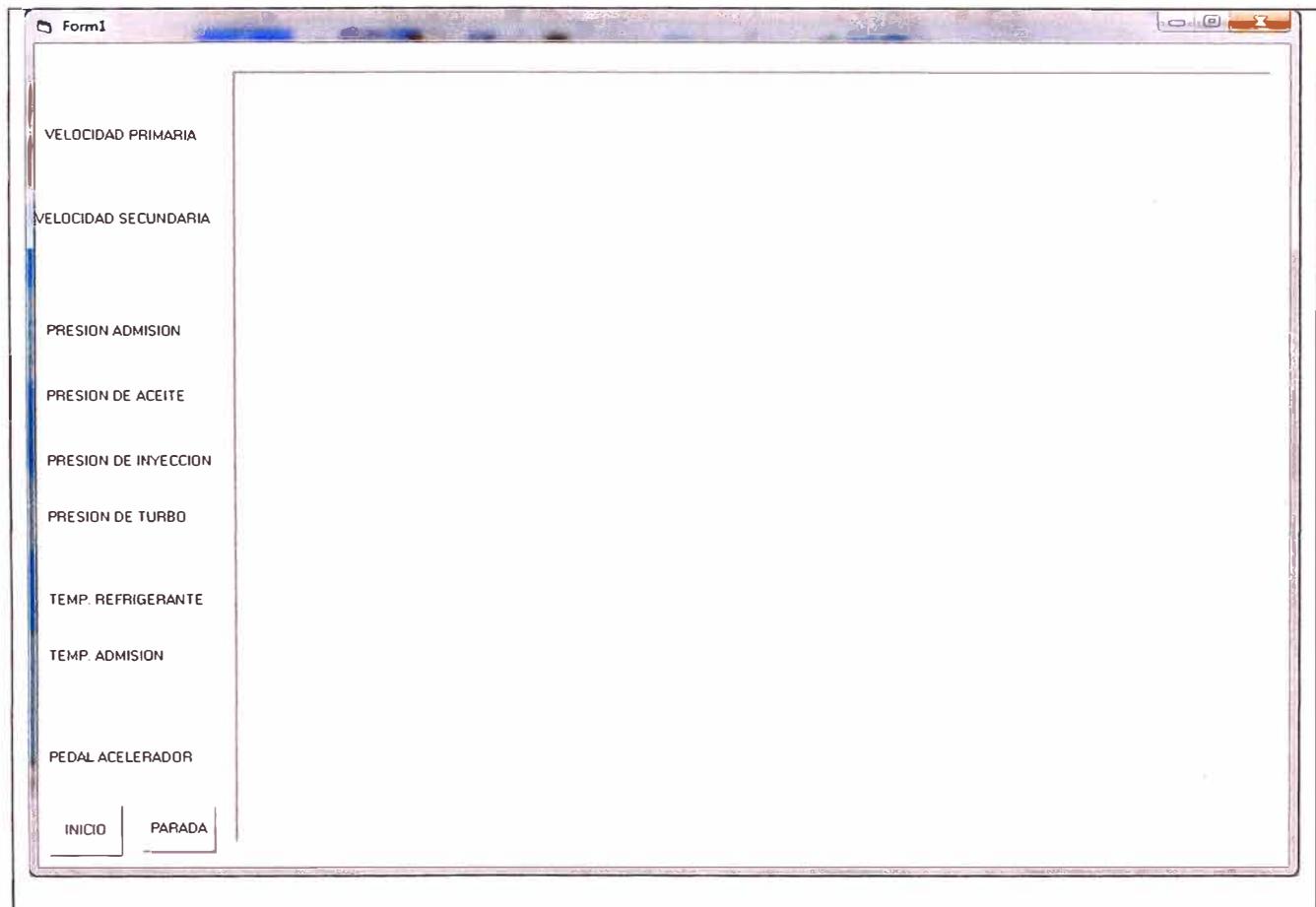


Figura 3.3. Vista de la ventana principal del programa simulador

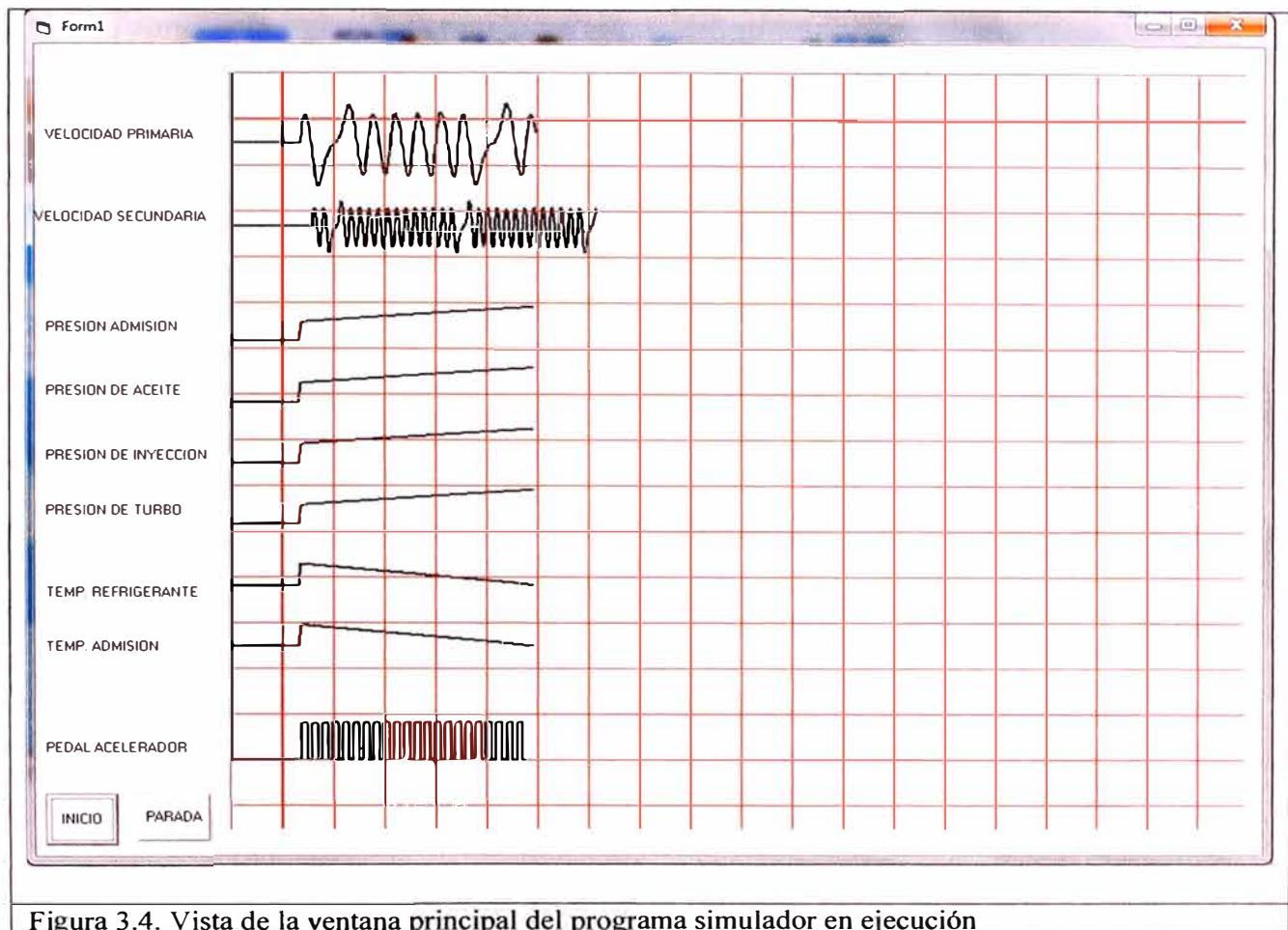


Figura 3.4. Vista de la ventana principal del programa simulador en ejecución

La simulación generada en C con ayuda del simulador de circuitos electrónicos “Proteus” y el compilador “MikroC”, produce los siguientes resultados:

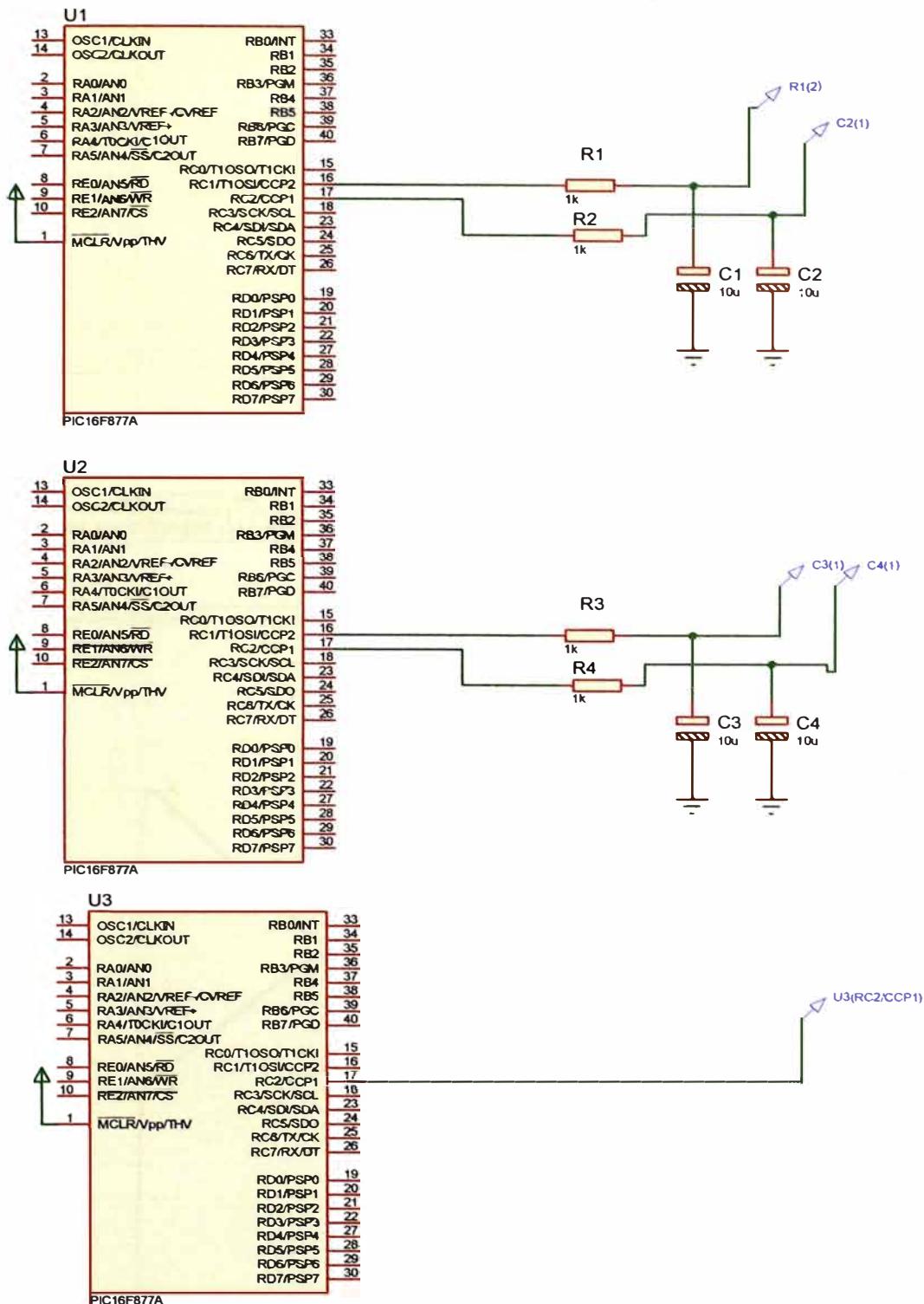


Figura 3.5. Configuración del simulador para la generación de señales.

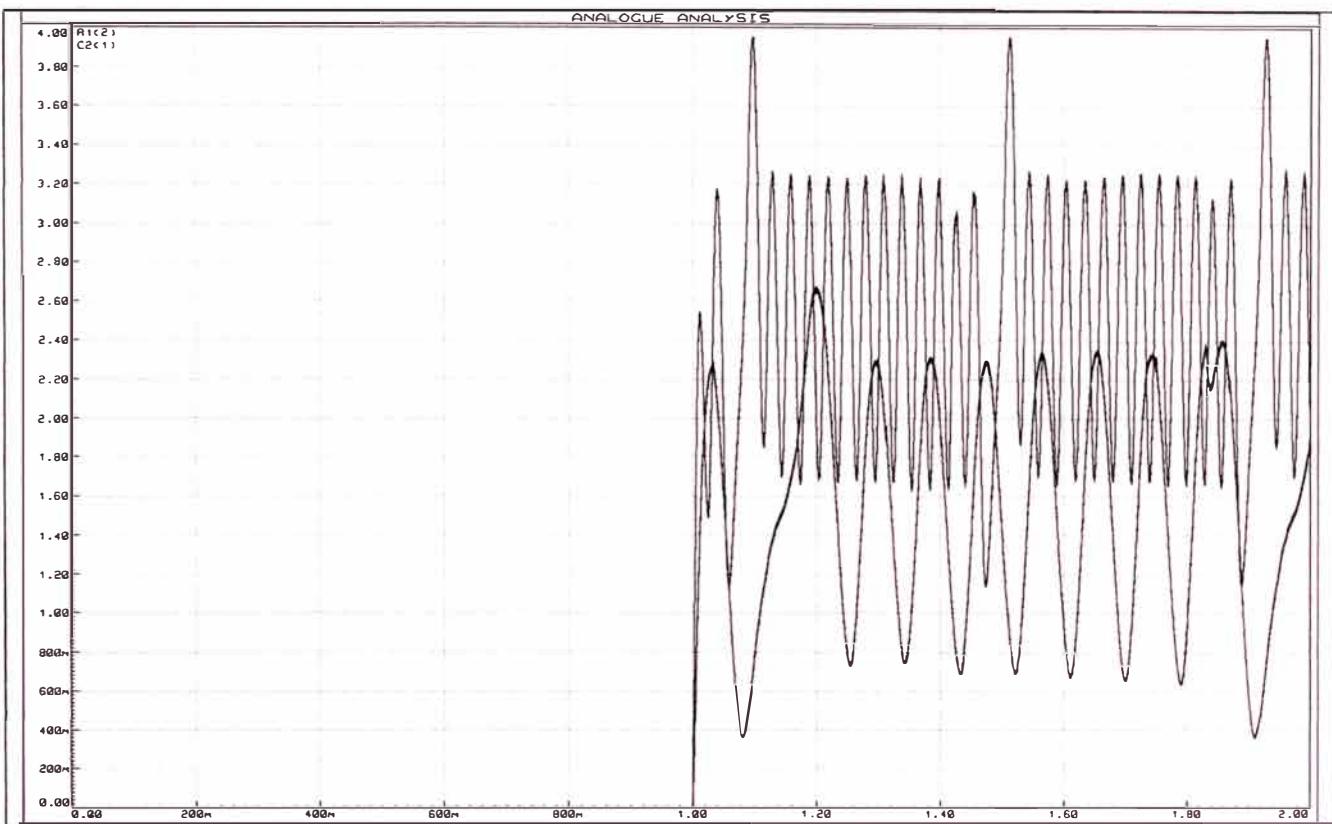


Figura 3.6. Señales resultantes del microcontrolador U1 – R1 y C2.

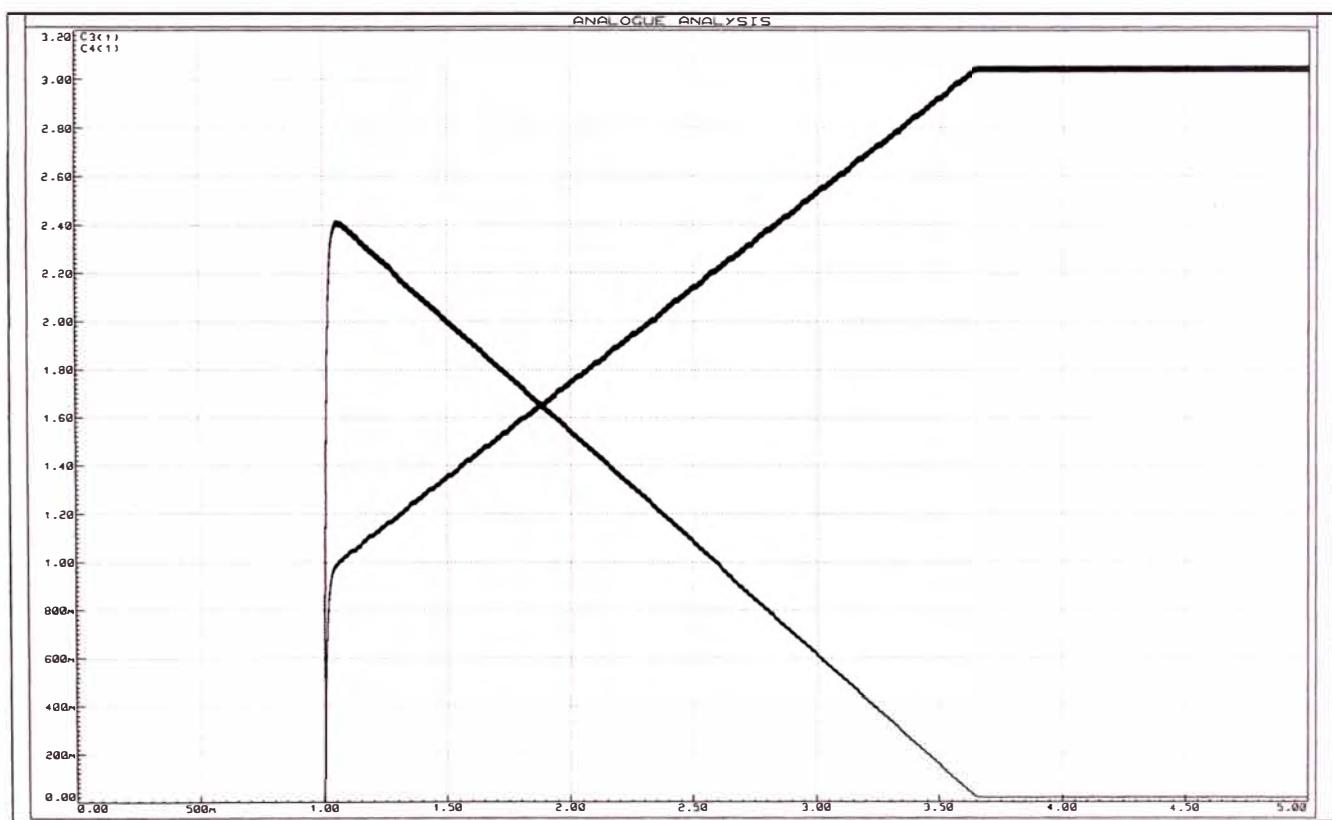


Figura 3.7. Señales resultantes del microcontrolador U2 – C3 y C4.

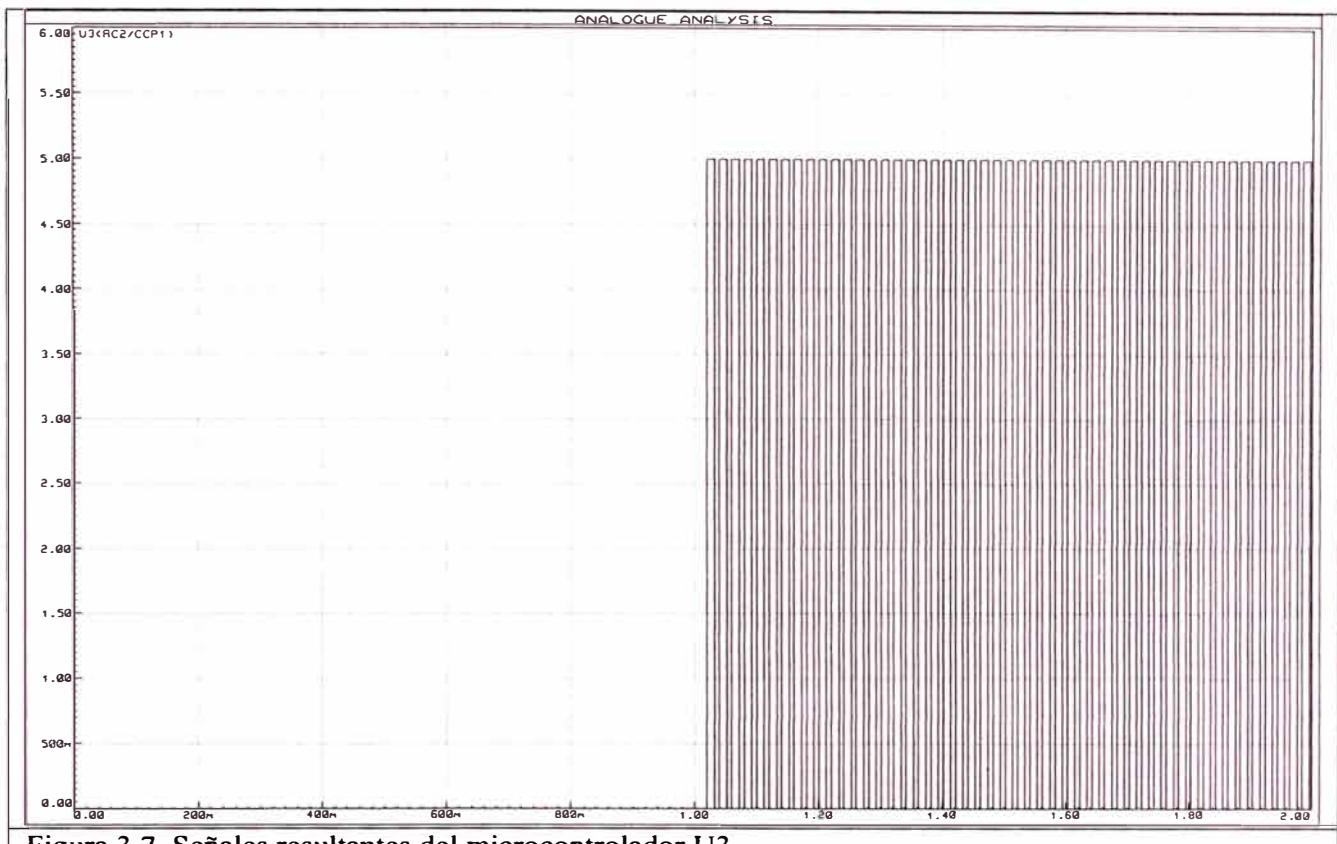
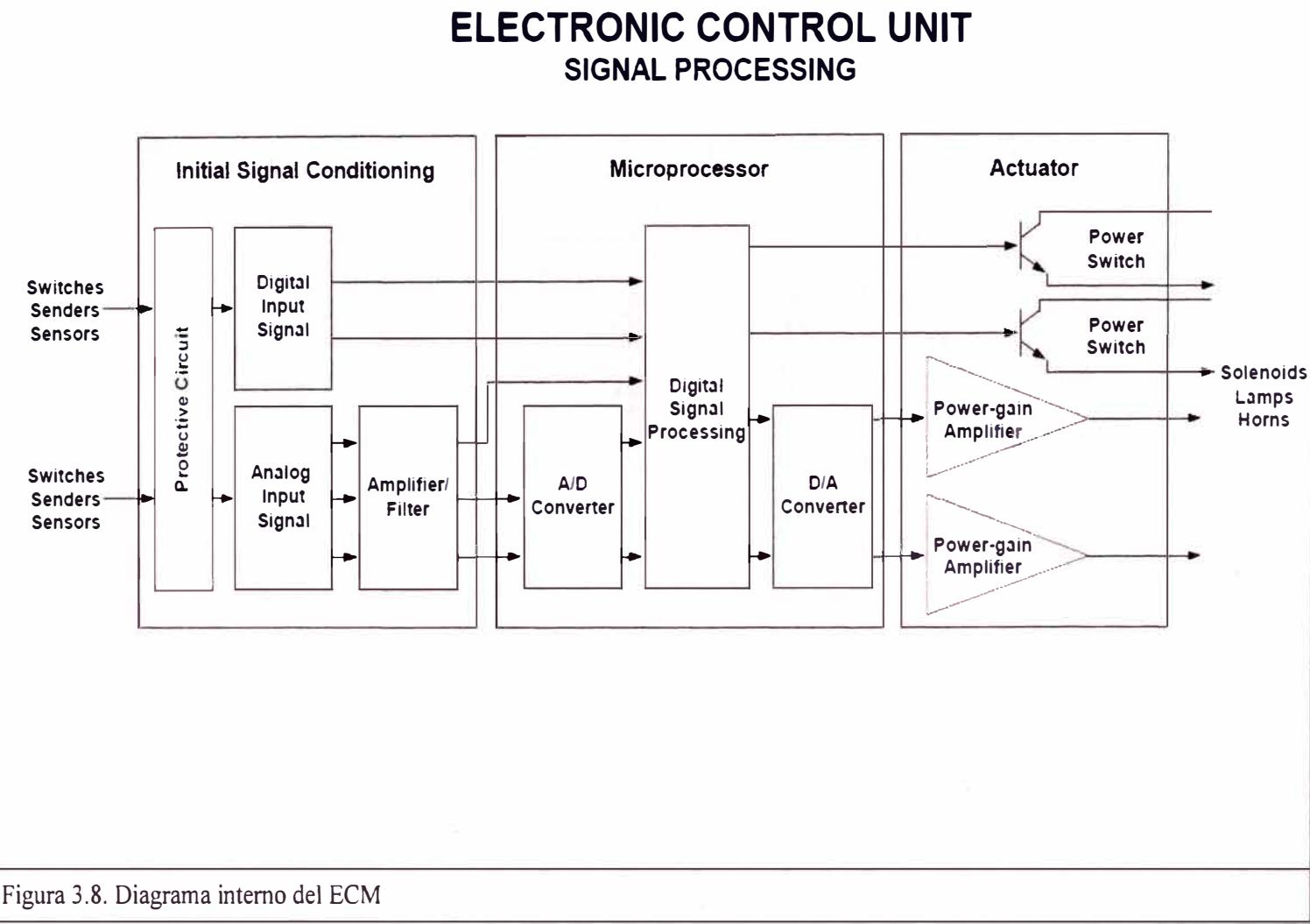


Figura 3.7. Señales resultantes del microcontrolador U3.

3.5. DIAGRAMA GENERAL DE LAS CONEXIONES



Caterpillar ECUs

ECU Type	Applications
ADEM	Engine
MAC	Machine Systems
ABL	Machine Systems
A4	Multiple Applications

Figura 3.9. Tipos de ECM Caterpillar

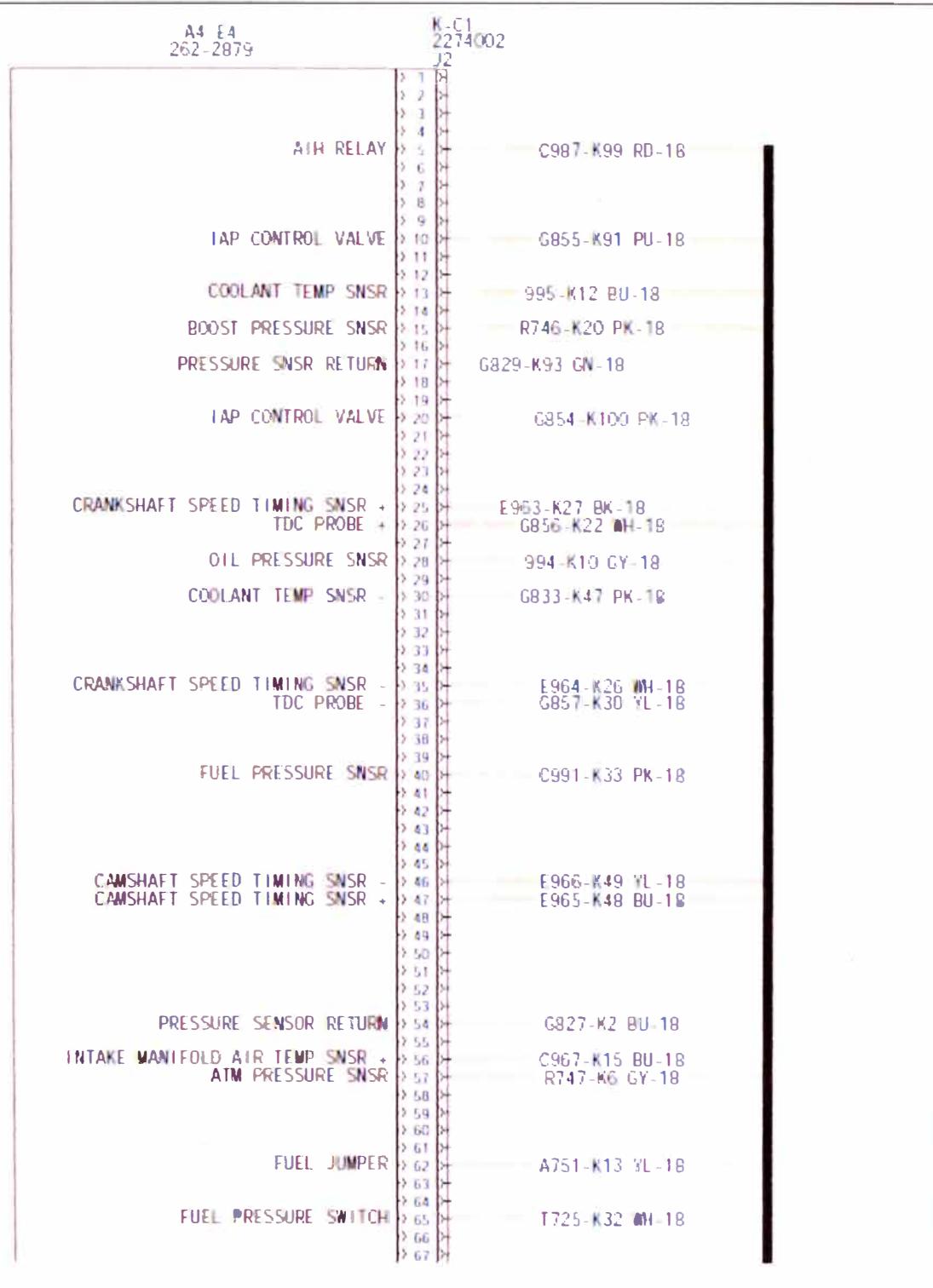


Figura 3.10. Vista cortada de la representación esquemática del ECM y sus conexiones.

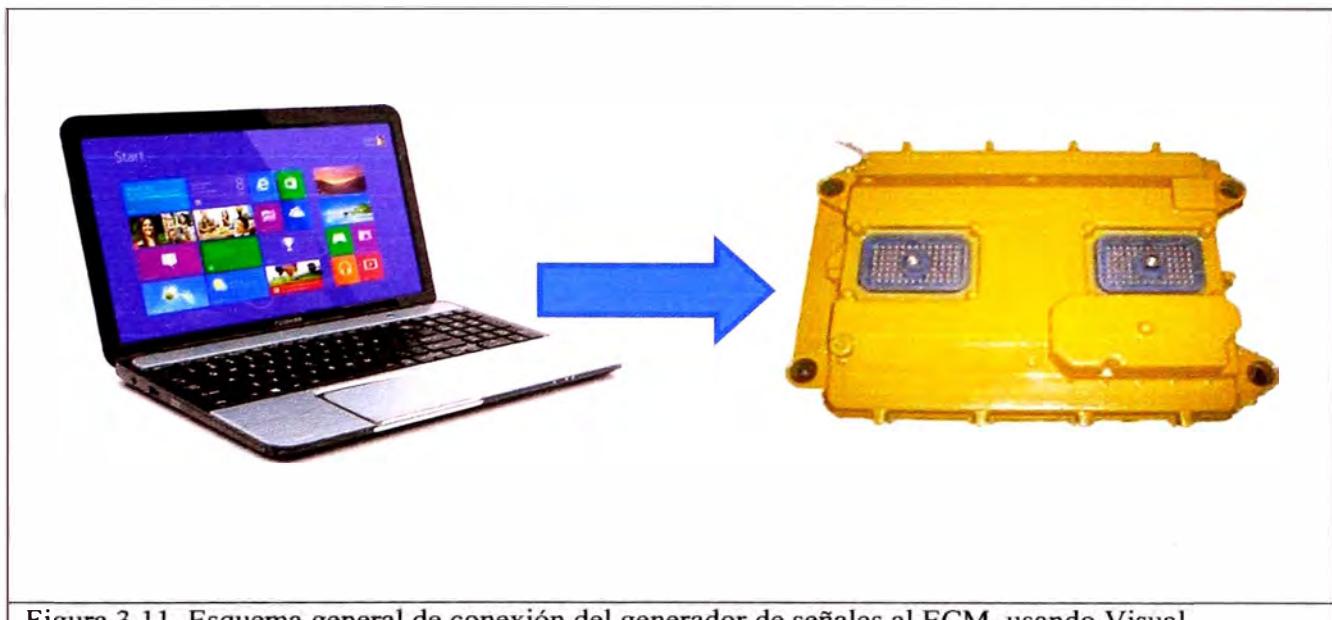


Figura 3.11. Esquema general de conexión del generador de señales al ECM, usando Visual.

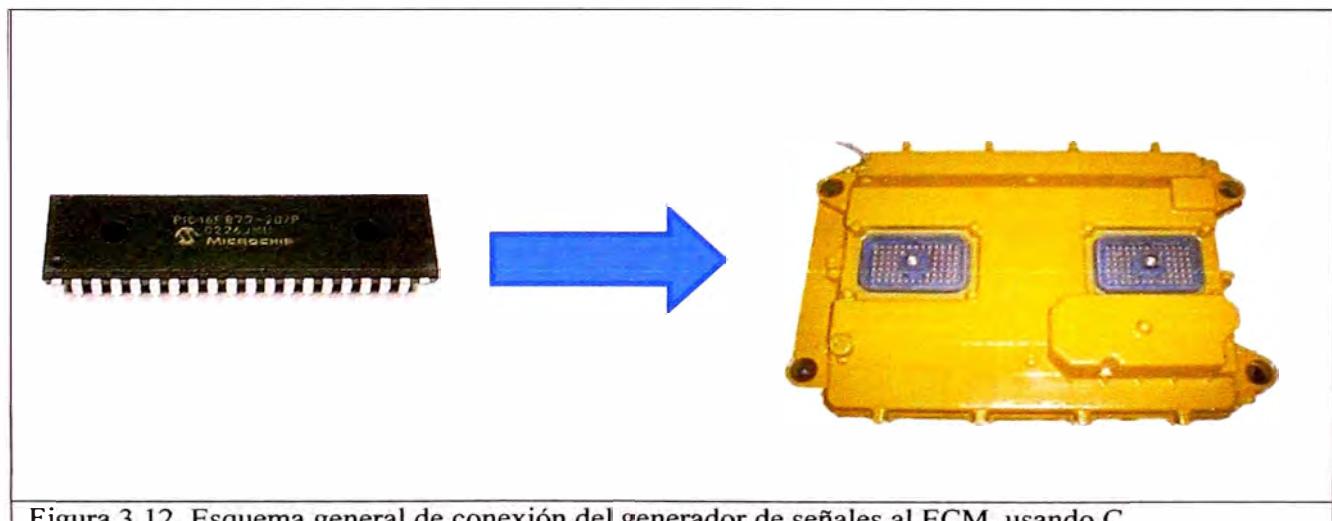


Figura 3.12. Esquema general de conexión del generador de señales al ECM, usando C.

CONCLUSIONES

1. Se logró el diseño y programación del simulador de arranque de un motor Caterpillar modelo C7, para tal propósito se estudió y describió a fondo el principio de funcionamiento mecánico del motor de combustión, principalmente el sistema de combustible.
2. A medida que se avanzó con el informe, se alcanzó el conocimiento, descripción y clasificación de los sensores Caterpillar, se generaron las curvas características de dichos sensores, esto es un aporte novedoso, puesto que en toda la información de servicio no se encuentra, pues para fines de mantenimiento no es necesaria esta información.
3. El diseño de un simulador de arranque de motor C7 es posible, teniendo en cuenta las conclusiones anteriores. Se identifica la sencillez del conexionado por lo avanzado de la interfaz de Caterpillar.
4. Este trabajo de diseño y simulación sirve para futuros trabajos de implementación de simuladores de arranque de motores electrónicos, como el motor C7 – Caterpillar, no solamente para el beneficio de la empresa, sino también para la sociedad en general, puesto que un simulador de este tipo no existe en el mercado nacional. Cabe mencionar que trabajos similares en la

empresa ya se están implementando, usando este trabajo como pieza fundamental para el desarrollo y solución de problemas.

BIBLIOGRAFÍA

1. CREUS SOLÉ, Antonio. Instrumentación Industrial. 6º Edición. Barcelona, Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V., 1997. Capítulo 3 (pág. 71 a 73). Capítulo 5 (pág. 193 a 197). Capítulo 6 (236 a 241).
2. CATERPILLAR. 950H AND 962H WHEEL LOADERS AND IT62H INTEGRATED TOOLCARRIER. SERV1824. Octubre 2006. Engine (pág. 14 a 45).
3. CATERPILLAR. ELECTRONICS TROUBLESHOOTING ILT. ELECTRONIC CONTROL UNIT. SERV1877. Marzo 2010. Module 4 – Text Reference (pág. 2 a 9).
4. CATERPILLAR. ELECTRONICS TROUBLESHOOTING ILT. SWITCHES/SENSORS/SOLENOIDS. SERV1877. Marzo 2010. Module 7 – Text Reference (pág. 8 a 25).

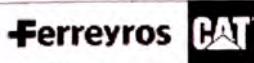
MATERIAL DE REFERENCIA

1. Caterpillar. Service Information System. Release 2011B. <https://sis.cat.com/>
2. Caterpillar. Speed Sensors. Basic Operating Principles and Applications. Pág. 2 a 11.
3. Red lion. Magnetic Pickups & In-line Preamplifier. Bulletin No. MP-L. Drawing No. LP0020. Released 02/10.
4. Caterpillar. Specifications. C7 Engines for Caterpillar Built Machines. SENR9938-26. August 2012. <http://safety.cat.com/>.
5. Caterpillar. Schematic. C7 Truck Engine. Electrical System. RENR7869. May 2005. <http://kn.cat.com/>.
6. Caterpillar. Media Numbers Designations. <http://kn.cat.com/>
7. Caterpillar. Standard Media Numbers Format. <http://kn.cat.com/>
8. Caterpillar. Cat Sensors. PEHJ0168. © 2006 Caterpillar. www.cat.com

ANEXOS

Listado de anexos

1. Códigos de Falla.
2. Códigos de Eventos
3. Localización y solución de problemas (FMI-03/FMI-04/FMI-08).
4. Caterpillar. Cat Sensors. PEHJ0168.

[Previous Screen](#)

Product: WHEEL LOADER
 Model: 962H WHEEL LOADER M3G
 Configuration: 962H Wheel Loader M3G00001-UP (MACHINE) POWERED BY C7 Engine

Troubleshooting

C7 Engines for IT62H Integrated Toolcarrier and for 950H and 962H Wheel Loaders

Media Number -RENR9319-04

Publication Date -01/11/2012

Date Updated -05/11/2012

i02286358

Diagnostic Codes

SMCS - 1900

Part Number -
 S/N - M3G1-UP

Part Number -
 S/N - J5J1-UP

Part Number -
 S/N - K6K1-UP

Part Number -
 S/N - MXL1-UP

Part Number -
 S/N - M1G1-UP

Part Number -
 S/N - J6J1-UP

Part Number -
 S/N - N4A1-UP

Part Number -
 S/N - JAD1-UP

Part Number -
 S/N - N1A1-UP

Part Number -
 S/N - SSA1-UP

Part Number -
 S/N - K5K1-UP

Part Number -
 S/N - MAL1-UP

Part Number -
S/N - M5GI-UP

Part Number
S/N - PCW1-UP

Diagnostic Codes

Diagnostic codes alert the operator that a problem in the electronic system has been detected. Diagnostic codes also indicate the nature of the problem to the service technician. The Caterpillar Electronic Technician (ET) is a software program that is designed to run on a personal computer. Diagnostic codes may be viewed on a personal computer that has Cat ET software. Diagnostic codes consist of the component identifier (CID) and the failure mode identifier (FMI).

Component Identifier (CID) - The CID is a number with three or four digits. The CID indicates the component that generated the code. For example, the CID number 0001 identifies the fuel injector for the number one cylinder.

Failure Mode Identifier (FMI) - The FMI is a two digit code that indicates the type of failure.

There is a troubleshooting procedure for every diagnostic code. Refer to Troubleshooting, "Troubleshooting With A Diagnostic Code".

When a diagnostic code is activated, the Electronic Control Module (ECM) transmits information about the code over the J1939 data link. Some J1939 devices may display the code. However, the code will be displayed with a SPN-FMI code.

Do not confuse diagnostic codes with event codes. Event codes alert the operator that an abnormal operating condition such as low oil pressure or high coolant temperature has been detected. Refer to Troubleshooting, "Troubleshooting with an Event Code" for additional information on event codes.

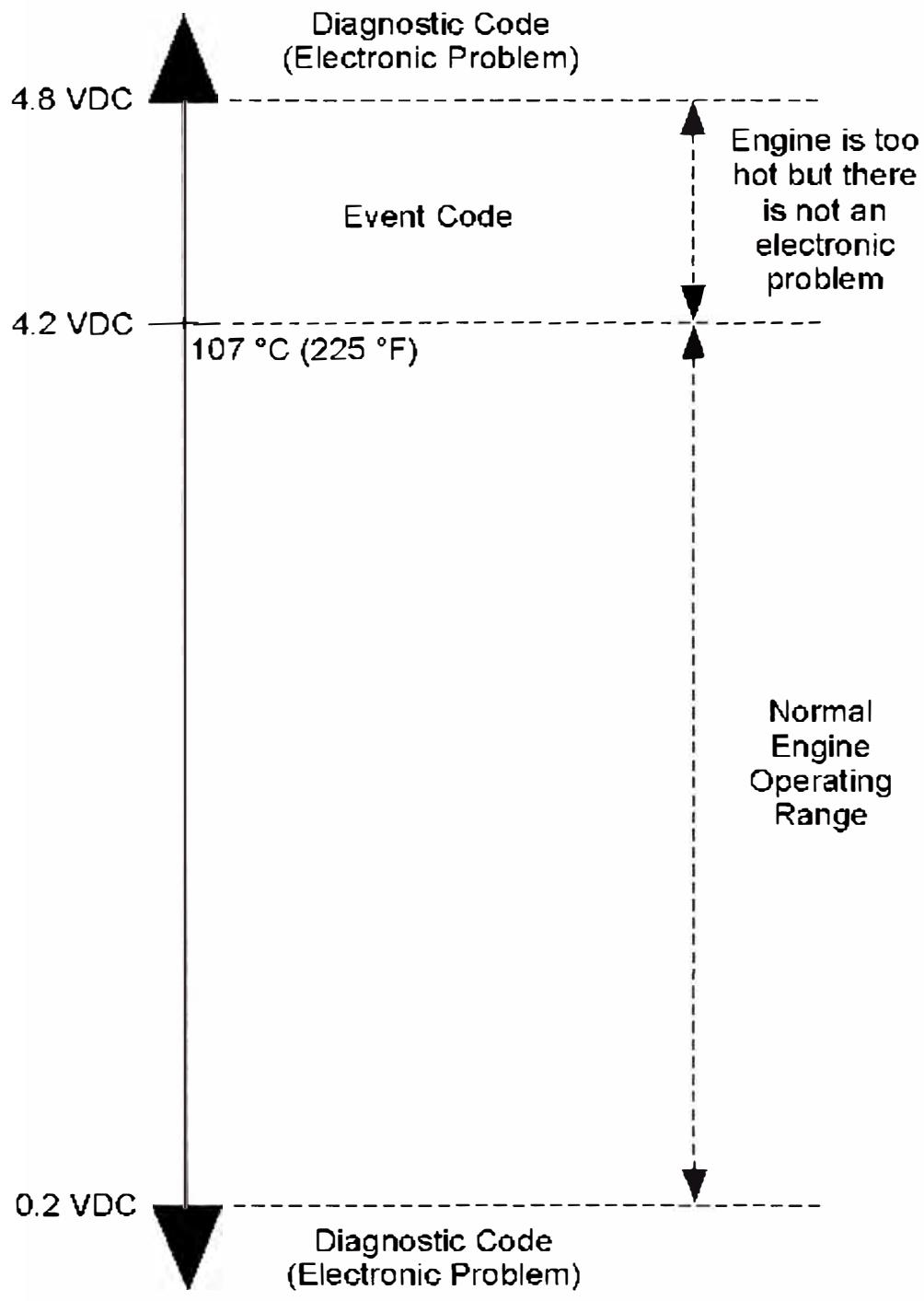


Illustration 1

g01117578

Output voltage from a typical analog temperature sensor

Illustration 1 indicates the signal range for a typical analog sensor. Diagnostic codes will be generated if the sensor's output signal is below 0.2 VDC or above 4.8 VDC.

Active Diagnostic Codes

An active diagnostic code represents a problem with the electronic control system. **Correct the problem as soon as possible.**

When the ECM generates an active diagnostic code, the "Active Alarm" indicator ("Engine Control Alarm Status" on Cat ET) is activated in order to alert the operator. If the condition that generated the code is momentary, the message disappears from the list of active diagnostic codes. The diagnostic code becomes logged.

Logged Diagnostic Codes

When the ECM generates a diagnostic code, the ECM logs the code in permanent memory. The ECM has an internal diagnostic clock. Each ECM will record the following information when a code is generated:

- The hour of the first occurrence of the code
- The hour of the last occurrence of the code
- The number of occurrences of the code

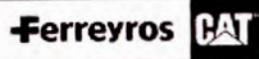
This information is a valuable indicator for troubleshooting intermittent problems.

A code is cleared from memory when one of the following conditions occur:

- The service technician manually clears the code.
- The code does not recur for 100 hours.
- A new code is logged and there are already ten codes in memory. In this case, the oldest code is cleared.

Some diagnostic codes may be easily triggered. Some diagnostic codes may log occurrences that did not result in complaints. The most likely cause of an intermittent problem is a faulty connection or damaged wiring. The next likely cause is a component failure. The least likely cause is the failure of an electronic module. Diagnostic codes that are logged repeatedly may indicate a problem that needs special investigation.

Note: Always clear logged diagnostic codes after investigating and correcting the problem which generated the code.

[Previous Screen](#)

<Product: WHEEL LOADER

Model: 962H WHEEL LOADER M3G

Configuration: 962H Wheel Loader M3G00001-UP (MACHINE) POWERED BY C7 Engine

Troubleshooting**C7 Engines for IT62H Integrated Toolcarrier and for 950H and 962H Wheel Loaders**

Media Number -RENRR9319-04

Publication Date -01/11/2012

Date Updated -05/11/2012

i02434226

Event Codes

SMCS - 1901

Part Number

S/N - M3G1-UP

Part Number -

S/N - J5J1-UP

Part Number -

S/N - K6K1-UP

Part Number -

S/N - MXL1-UP

Part Number -

S/N - J6J1-UP

Part Number -

S/N - M1G1-UP

Part Number -

S/N - N4A1-UP

Part Number -

S/N - JAD1-UP

Part Number -

S/N - K5K1-UP

Part Number

S/N - N1A1-UP

Part Number -

S/N - SSA1-UP

Part Number -

S/N - MAL1-UP

| **Part Number**

| S/N - M5G1-UP

| **Part Number**

| S/N - PCW1-UP

|| Event codes alert the operator that an abnormal engine operating condition such as low oil pressure or
|| high coolant temperature has been detected. When the event code is generated, the event is active.

| **Active Event Codes**

An active event code represents a problem with engine operation. **Correct the problem as soon as possible.**

| Active event codes are listed in ascending numerical order. The code with the lowest number is listed first.

Illustration 1 is an example of the operating range of a temperature sensor. Do not use the Illustration to troubleshoot temperature sensors.

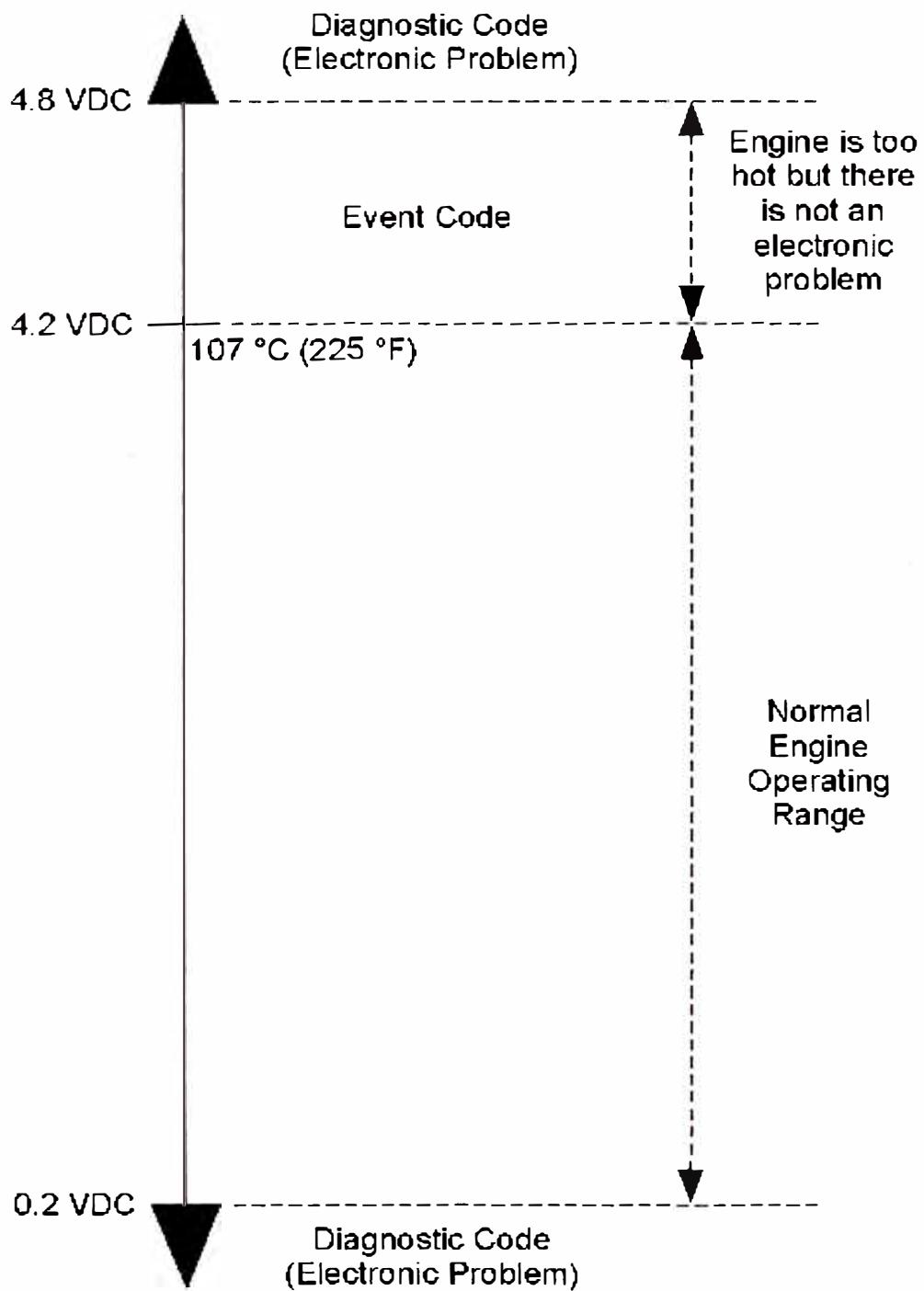


Illustration 1

g01117578

Example of the typical operating range of a temperature sensor

- (1) This area represents the normal operating range of the parameter. The normal output voltage of the sensor is between 0.2 VDC and 4.2 VDC.
- (2) In this area, the temperature above 107 °C (225 °F) is higher than normal. The output voltage of the sensor will generate an event code. The sensor does not have an electronic problem.
- (3) In these areas, the output voltage of the sensor is too high or too low. The voltage is outside of the normal range. The electronic problem will generate a diagnostic code. Refer to Troubleshooting, "Troubleshooting with a Diagnostic Code" for additional information on diagnostic codes.

Events are represented in two formats. In the first format, the "E" identifies the code as an event code. The "XXX" represents a numeric identifier for the event code. This is followed by a description of the code. If a warning, a derate, or a shutdown is applicable, the numeric identifiers are different. Refer to the following example:

- E004 Engine Overspeed Shutdown

In the second format, the "E" identifies the code as an event code. The "XXX-X" represents a numeric identifier for the event code. The fourth "X" identifies the event as a warning, a derate, or a shutdown. This is followed by a description of the code. Refer to the following example:

- E360(1) Low Oil Pressure Warning
- E360(2) Low Oil Pressure Derate
- E360(3) Low Oil Pressure Shutdown

The definition for a warning, a derate, and a shutdown are defined below:

Warning - This condition represents a serious problem with engine operation. However, this condition does not require a derate or a shutdown.

Derate - For this condition, the Electronic Control Module (ECM) reduces the engine's power in order to help prevent possible engine damage.

Shutdown - For this condition, the ECM shuts down the engine in order to help prevent possible engine damage.

Logged Event Codes

When the ECM generates an event code the ECM logs the code in permanent memory. The ECM has an internal diagnostic clock. The ECM will record the following information when an event code is generated:

- The hour of the first occurrence of the code
- The hour of the last occurrence of the code
- The number of occurrences of the code

Logged events are listed in chronological order. The most recent event code is listed first.

This information can be helpful for troubleshooting intermittent problems. Logged codes can also be used to review the performance of the engine.

Clearing Event Codes

A code is cleared from memory when one of the following conditions occur:

- The code does not recur for 100 hours.
- A new code is logged and there are already ten codes in memory. In this case, the oldest code is cleared.
- The service technician manually clears the code.

Always clear logged event codes after investigating and correcting the problem which generated the code.

Troubleshooting

For basic troubleshooting of the engine, perform the following steps in order to diagnose a malfunction:

1. Obtain the following information about the complaint:
 - Determine the time that the event occurred.
 - Determine the conditions for the event. The conditions will include the engine rpm and the load.
 - Determine if there are any systems that were installed by the dealer or by the customer that could cause the event.
 - Determine whether any additional events occurred.
2. Verify that the complaint is not due to normal engine operation. Verify that the complaint is not due to error of the operator.
3. Narrow the probable cause. Consider the operator information, the conditions of operation, and the history of the engine.
4. Perform a visual inspection. Inspect the following items:
 - Fuel supply
 - Oil level
 - Oil supply
 - Wiring
 - Connectors

Be sure to check the connectors. This is very important for problems that are intermittent. Refer to Troubleshooting, "Electrical Connectors - Inspect".

If these steps do not resolve the problem, identify the procedures in this manual that best describe the event. Check each probable cause according to the tests that are recommended.

Trip Points for the Monitoring System

The monitoring system determines the level of action that is taken by the ECM in response to a condition that can damage the engine. When any of these conditions occur, the appropriate event code will trip.

Table 1 contains the conditions that are monitored and the default trip points for each condition. Each condition has an associated parameter. The settings for each parameter can be viewed with the Caterpillar Electronic Technician (ET). The trip points for some of the parameters may be adjustable with Cat ET.

Table 1

Monitoring System Parameters									
Parameter	Action	Delay Time in Seconds			Trip Point			Default State	
		Min	Max	Default	Min	Max	Default		
E096(1) High Fuel Pressure	Warning	N/A	N/A	8	N/A	N/A	758 kPa (110 psi)	On	
E172(1) High Air Filter Restriction	Warning	N/A	N/A	(1)	N/A	N/A	7.5 kPa (1 psi)	On	
E172(2) High Air Filter Restriction	Derate ⁽²⁾	N/A	N/A	(1)	N/A	N/A	9 kPa (1 psi)	On	
E194(1) High Exhaust Temperature	Warning	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	(3)	On	
E194(2) High Exhaust Temperature	Derate	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	(3)	On	
E198(1) Low Fuel Pressure	Derate	N/A	N/A	10	N/A	N/A	350 kPa (51 psi)	On	
E360(1) Low Engine Oil Pressure	Warning	N/A	N/A	8	N/A	N/A	Map dependent value ⁽⁴⁾ .	On	
E360(3) Low Engine Oil Pressure	Derate ⁽⁵⁾	N/A	N/A	4	N/A	N/A	Map dependent value ⁽⁶⁾ .	On	
E361(1) High Engine Coolant Temperature	Warning	N/A	N/A	10	85 °C (185 °F)	108 °C (226 °F)	108 °C (226 °F)	On	
E361(2) High Engine Coolant Temperature	Derate ^{(7) (8)}	1	120	10	86 °C (187 °F)	111 °C (232 °F)	111 °C (232 °F)	On	
E361(3) High Engine Coolant Temperature	Shutdown ⁽⁹⁾	1	120	10	87 °C (189 °F)	111 °C (232 °F)	111 °C (232 °F)	Off	

E362(1) Engine Overspeed (rpm)	Warning	N/A	N/A	0.6	N/A	N/A	2600	On
E362(2) Engine Overspeed (rpm)	Warning	N/A	N/A	0.6	N/A	N/A	2800	On
E390(1) Fuel Filter Restriction	Warning ⁽¹⁰⁾	N/A	N/A	3600 (one hour)	N/A	N/A	The switch is open. 103 kPa (15 psi)	On
E390(2) Fuel Filter Restriction	Derate ^{(5) (8) (10)}	N/A	N/A	14400 (four hours)	N/A	N/A	The switch is open. 103 kPa (15 psi)	On
E441(1) Idle Elevated to Increase Battery Voltage	Warning ⁽¹⁾	N/A	N/A	300	N/A	N/A	24.5 Volts	On
E539(1) High Intake Manifold Air Temperature	Warning	N/A	N/A	8	N/A	N/A	90 °C (194°F)	On
E539(2) High Intake Manifold Air Temperature	Derate ^{(11) (8)}	N/A	N/A	8	N/A	N/A	110 °C (230°F)	On

⁽¹⁾ The parking brake must be set and the power train must not be in gear. Also, the throttle must not change more than 10 percent for 5 minutes.

⁽²⁾ The derate is 2 percent (9 kPa (1 psi)) at trip point with a maximum derate of 10 percent 14 kPa (2 psi).

⁽³⁾ Intake manifold temperature, atmospheric pressure, and engine speed are used to calculate the exhaust temperature.

⁽⁴⁾ Refer to Illustration 2.

⁽⁵⁾ The derate is 35 percent.

⁽⁶⁾ Refer to Illustration 3.

⁽⁷⁾ The derate is 25 percent (111 °C (232°F)) and 2.5 percent for every degree up to 100 percent (114 °C (237 °F)).

⁽⁸⁾ Certain applications may require the engine to shutdown.

⁽⁹⁾ Certain applications may only derate engine power.

⁽¹⁰⁾ Disable when fuel temperatures are below 30 °C (86 °F)

⁽¹¹⁾ The derate is 3 percent for every degree over the trip point. The maximum derate is 20 percent.

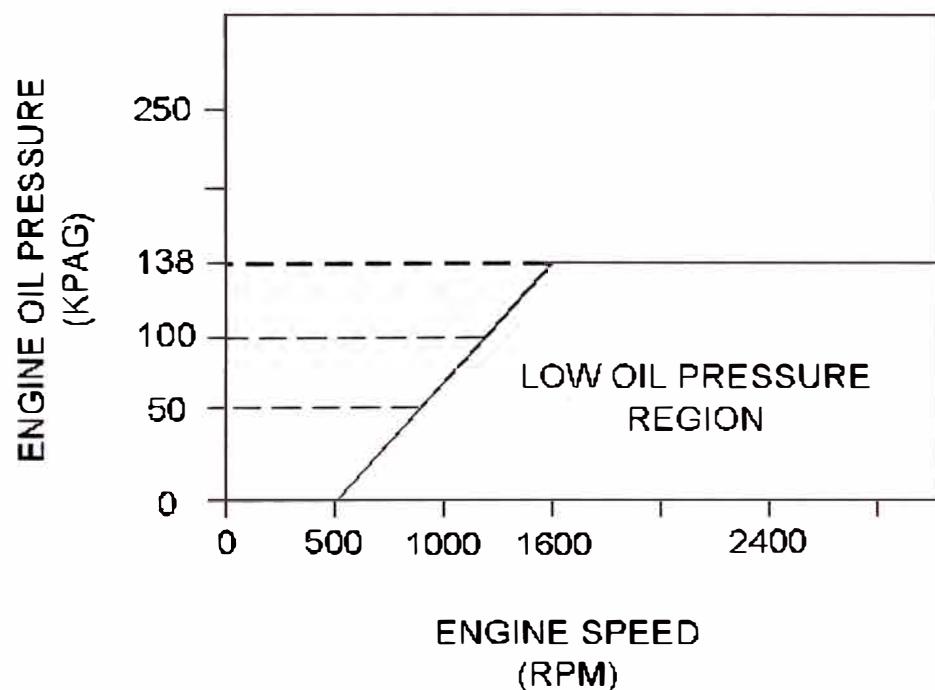


Illustration 2

g01216348

Map of low oil pressure (Warning)

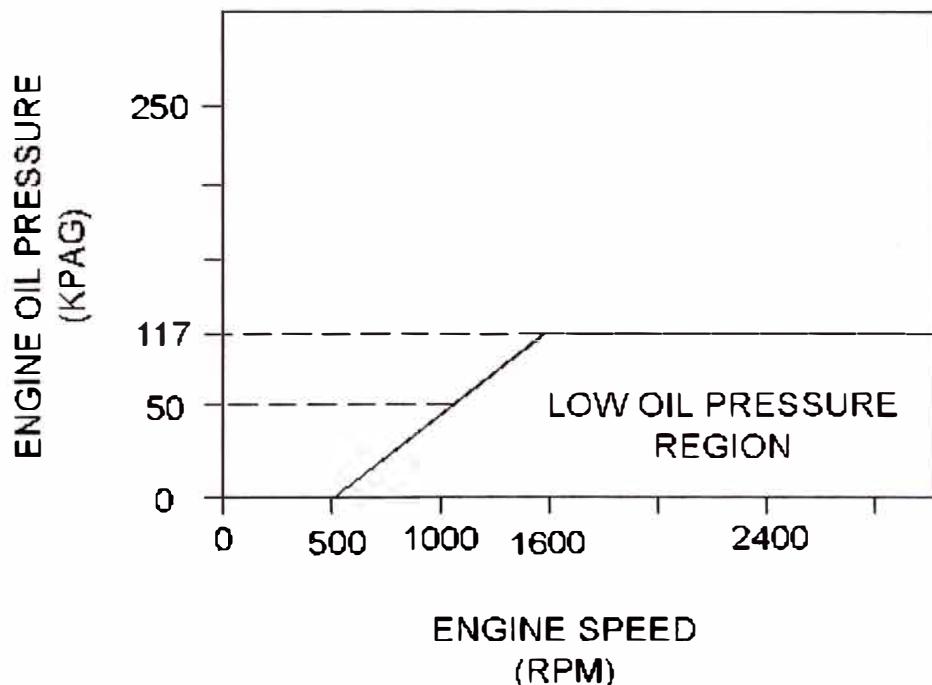


Illustration 3

g01216349

Map of low oil pressure (Derate)

GLOBAL MANPOWER DEVELOPMENT

ELECTRONICS TROUBLESHOOTING ILT SENSOR DIAGNOSTICS

MODULE 9 - TEXT REFERENCE

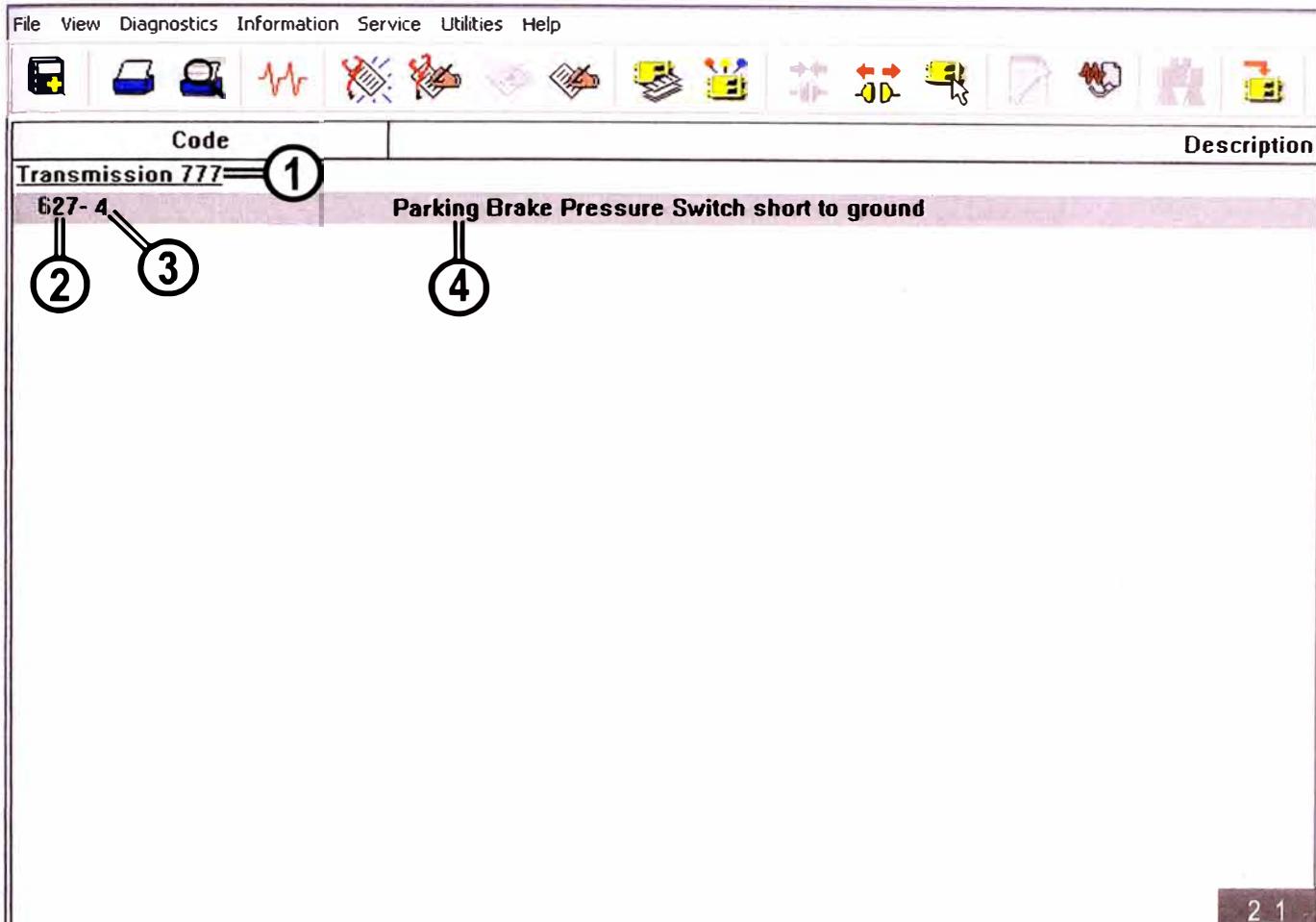


SERV1877

CATERPILLAR®

Electronics Troubleshooting ILT
Module 9- Sensor Diagnostics
Text Reference

[Print Instructor Pages](#) [Print Participant Pages](#)



Sensor Diagnostics

- This module will cover code-based troubleshooting.
- Diagnostic codes can be monitored using ET, but typically may also be viewed using the display/ monitor (e.g., Advisor, Messenger, Engine Vision, etc.)
- MID is what control is activating the code
- CID points to the circuit that is malfunctioning
- FMI describes the fault. REHS0126 is a comprehensive list of MIDs, CIDs, and FMIs

The operation of sensors, solenoids, and switches, as well as the role of pull-up voltage, was discussed in the previous two modules. This module covers code-based troubleshooting for electronic components, and how to use pull-up voltage to aid in successfully diagnosing the root cause of a diagnostic code.

Understanding the diagnostic code is key in determining the fault. Access active diagnostic codes using ET or the monitor (if available). The information contained in this module will refer to diagnostic codes as they appear in ET. The ECU designation (1) displays the ECU with which ET is communicating. You may also see the ECU designation as part of a three segment code. For example, the "627-4" above may be displayed as "27-627-4". In this case, "27" would be the Module Identifier (MID), and would represent the Transmission/Chassis ECU.

The Component Identifier (CID) (2) identifies the electronic circuit at fault. In this example, "627" represents the Parking Brake Pressure Switch.

The Failure Mode Identifier (FMI) (3) identifies the type of fault that is present. In this example, "4" represents a "Voltage Low", or short to ground fault.

"Parking Brake Pressure Switch short to ground" is the Diagnostic Code description (4).



The screenshot shows a diagnostic software window with a toolbar at the top containing icons for File, View, Diagnostics, Information, Service, Utilities, and Help. Below the toolbar is a list of fault codes (FMs) for a Caterpillar engine. The list includes:

Code	Description
3508 777 (2GR54321)	
91- 2	Throttle Position Sensor : Erratic, Intermittent, or Incorrect
100- 3	Engine Oil Pressure Sensor : Voltage Above Normal
110- 3	Engine Coolant Temperature Sensor : Voltage Above Normal
261-13	Engine Timing Calibration : Calibration Required
267- 2	Remote Shutdown Input : Erratic, Intermittent, or Incorrect
273- 3	Turbocharger Outlet Pressure Sensor : Voltage Above Normal
274- 3	Atmospheric Pressure Sensor : Voltage Above Normal
275- 3	Right Turbocharger Inlet Pressure Sensor : Voltage Above Normal
276- 3	Left Turbocharger Inlet Pressure Sensor : Voltage Above Normal

3_1

- There are 32 FMs available, but we will only cover the more common codes.

While there are many FMs available for diagnostic codes, this module will cover some of the more common ones. Common FMI codes include:

- FMI 03 - Voltage Above Normal
- FMI 04 - Voltage Below Normal
- FMI 05 - Current Below Normal
- FMI 06 - Current Above Normal
- FMI 08 - Abnormal Frequency, Pulse Width Or Period
- FMI 13 - Out Of Calibration

- FMs do not indicate a root cause; They tell you what condition exists. Although one can assume, using probability, what the root cause is, a technician must troubleshoot to the condition, not to a predetermined root cause.

It is important to note that FMs do not indicate the root cause; rather, FMs indicate the condition that exists. For example, an FMI 03 "Voltage High," or "Voltage Above Normal," does not indicate that the ECU has detected an open (root cause), though an open may cause this fault. The ECU has only detected that the voltage on the signal wire is higher than normal. There are other causes to consider when troubleshooting this FMI, such as a short to battery power or other power supply (sensor power supply).

C11, C13 and C15 On-highway Engines
Media Number -SENRR9698-19 Publication Date -01/02/2010 Date Updated -11/02/2010
i02881657

Engine Pressure Sensor Open or Short Circuit - Test
SMCS - 1439-038-PX ; 1718-038; 1923-038; 1924-038

System Operation Description:

Background Information

The Engine Control Module (ECM) continuously creates a pull-up voltage on the signal wire for each sensor. The ECM uses this pull-up voltage in order to detect a problem in the signal circuit. When the ECM detects voltage that is above a threshold on the signal wire, the ECM activates a high voltage -3 diagnostic code. When the ECM detects voltage that is below a threshold on the signal wire, the ECM activates a low voltage -4 diagnostic code.

Note: There may be a delay of 30 seconds or more in order for Caterpillar Electronic Technician (ET) to display an active diagnostic code. When you check for a diagnostic code, be sure to wait at least 30 seconds.

The most likely cause of a code is a problem with an electrical connector or wiring. The least likely cause of a code is the ECM.

108-3 Diagnostic Code and High Crankcase Pressure

Some atmospheric pressure sensors that are located in the engine block actually sense crankcase pressure rather than atmospheric pressure. With this type of installation, crankcase pressure of approximately 14 kPa (2 psi) can cause the 108-3 diagnostic code to be generated.

Before you proceed with this test, determine whether the sensor is sensing crankcase pressure or atmospheric pressure.

If the sensor is sensing crankcase pressure, connect Caterpillar Electronic Technician (ET) to the ECM and clear the diagnostic code. Do not start the engine. Maintain electrical power to the ECM. Wait at least 30 seconds for generation of the diagnostic code. Slowly wiggle the wiring for the sensor in an attempt to generate an intermittent code.

If the 108-3 code is generated, continue with the functional test.

If the 108-3 code is not generated, there is either a problem with high crankcase pressure or the code is intermittent, due to a loose connector or damaged wiring.

A plugged crankcase breather will cause excessive crankcase pressure. Leakage of the crankshaft seal can occur. Sealing of the piston rings can be lost. This will enable crankcase blowby to further increase the crankcase pressure.

If the piston rings do not seal, blowby will increase the crankcase pressure and the problem will become worse. Performance will deteriorate. The engine will have poor combustion. Deposits will build up on the pistons, on the valves, and in the cylinder heads. Downward pumping of the pistons against the increased crankcase pressure will further reduce the performance.

4_1

Troubleshooting diagnostic codes

- **Check for active diagnostic codes**
- **Check Service Information for diagnostic strategies, if available.**
- **Three possible faulty components:**
 - Sensor
 - Harness/connectors
 - ECU
- **Parts changing is not troubleshooting. Use good procedures to repair the root cause.**

Symptoms that may lead a technician to diagnosing a sensor are active and/or logged faults, Action Lamp or other alert indicators activated, and other performance indicators (cranks but will not start, low power, etc.). When troubleshooting diagnostic codes for sensors, check Cat ET active diagnostic screens, and check SIS or the appropriate Troubleshooting Guide for available details on specific diagnostic code strategies.

For sensor diagnostics, there are only three possible components that can be the root cause: the sensor, wiring/connectors, or ECU. Of all electronic related failures, the most common root cause failed components are harnesses/connectors, followed by sensors and ECUs.

It is important to follow good troubleshooting procedures to ensure that good sensors and ECUs are not mistakenly replaced. Following good troubleshooting procedures leads to identification of the root cause of a problem. Finding and repairing the root cause eliminates the unnecessary replacement of good parts, reduces warranty costs, and ensures that the problem has been fixed, rather than masked.

C-10 Truck [3CS01570]

--	--	--	--

Code	Description
------	-------------

C-10 Truck [3CS01570]

100- 3	Oil Pressure voltage high [24]
--------	--------------------------------

C-10 Truck [3CS01570]

--	--	--	--

Code	Description
------	-------------

C-10 Truck [3CS01570]

100- 4	Oil Pressure voltage low [24]
--------	-------------------------------

5_1

- If the condition is a voltage low, then force a voltage high by opening the circuit. If the condition is voltage high, then force a voltage low by shorting B and C together.

When using ET, monitor active diagnostic codes and determine what condition is present. Always start at the suspect sensor. If the code indicates "Voltage High" or "Voltage Above Normal," check the supply voltage, then short the signal circuit to ground (B to C). If the code indicates a "Voltage Low" or "Voltage Below Normal," check supply voltage, then open the signal circuit (B and/or C). Always try to get the ECU to activate the opposite code than the one that is present. Remember, when a code is active, there can only be three faults—sensor, wiring, or ECU.

Diagnosing a "Voltage Low" or Short condition (FMI 04)

Step	Action	Value	Yes	No
1	Check power at sensor.	Supply voltage	Go to step 2	Check sensor power source
2	Disconnect suspected sensor. Is there an active "Voltage High" diagnostic code?	-	Go to step 3	Go to step 4
3	Replace sensor. Repair complete?	-	Go to step 7	-
4	Create an open circuit at the ECU by removing the signal wire of the suspect sensor at the ECU. Is there an active "Voltage High" diagnostic code?	-	Go to step 5	Go to step 6
5	Inspect the wiring between the ECU and the sensor and repair or replace the faulty harness. Repair complete?	-	Go to step 7	-
6	Replace ECU Repair complete?	-	Go to step 7	-
7	Verify the repair. Is the problem solved?	-	Done	Go to step 1

6_1

Diagnosing a "Voltage Low" or Short Condition (FMI 04)

- **ALWAYS CHECK FOR POWER FIRST (while sensor is connected). A technician can rule out two wires (A and B) immediately if power is present.**

When diagnosing a "Voltage Low", first check for power (Step 1). If power is present, then disconnect the suspected sensor (Step 2). Check for an active "Voltage High" diagnostic code. Allow approximately 15 seconds for any codes to activate.

If the code changes from a "Voltage Low" code to a "Voltage High" code, then the harness and the ECU are functioning properly and the sensor is faulty (Step 3).

Temporarily connect a new sensor then check for active diagnostic codes. If the new sensor fixes the problem, reconnect the suspect sensor. If the problem returns, permanently install the new sensor. Verify that the repair eliminates the problem (Step 7).

- **Remove signal wire at ECU if opening harness at sensor does not change codes. Code should change states.**

With the suspect sensor disconnected, if the code does not change from a "Voltage Low" code to a "Voltage High" code, then there is a short between the sensor and the ECU or the ECU is faulty (Step 4). With the suspect sensor disconnected, create an open circuit at the ECU by removing the signal wire of the suspect sensor from the ECU. Check for active diagnostic codes. If a "Voltage High" code becomes active after disconnecting the signal wire, there is a short in the wiring between the ECU and the sensor.

Inspect the wiring between the ECU and the sensor and repair or replace the faulty harness (Step 5). Verify that the repair eliminates the problem (Step 7).



- **Possible faulty ECU if opening the signal wire at the ECU does not force a Voltage High code.**

If there is still a "Voltage Low" code (short) after disconnecting the signal wire, connect a new ECU.

If the new ECU fixes the problem, reconnect the suspect ECU. If the problem returns, permanently install the new ECU (Step 6). Verify that the repair eliminates the problem (Step 7).

- **ECU faults are rare, but not impossible. Thoroughly check connectors and pins/sockets at the ECU.**

NOTE: ECUs are rarely faulty. Before replacing an ECU, make sure to visually inspect P1 and P2 for any sockets that may not be fully seated. Unseated sockets will prevent an accurate reading when using test probes; therefore, it is critical to perform the 10 pound pull test.

Diagnosing a "Voltage High" condition (FMI 03)

Step	Action	Value	Yes	No
1	Check power at sensor.	Supply voltage	Go to step 2	Check sensor power source
2	Disconnect suspected sensor and create a short circuit at the harness side of the sensor by installing a jumper wire between terminal "C" (signal) and terminal B (sensor common). Is there an active "Voltage Low" (short) diagnostic code?	-	Go to step 3	Go to step 4
3	Replace sensor. Repair complete?	-	Go to step 7	-
4	Disconnect suspected sensor and create a short circuit at the ECU by installing a jumper wire between the signal terminal for the suspect sensor and the sensor common at the ECU. Is there an active "Voltage High" diagnostic code?	-	Go to step 6	Go to step 5
5	Inspect the wiring between the ECU and the sensor and repair or replace the faulty harness. Repair complete?	-	Go to step 7	-
6	Replace ECU Repair complete?	-	Go to step 7	-
7	Verify the repair. Is the problem solved?	-	Done	Go to step 1

8_1

Diagnosing a "Voltage High" Condition (FMI 03)

- **ALWAYS CHECK FOR POWER FIRST (while sensor is connected). A technician can rule out two wires (A and B) immediately if power is present.**

When diagnosing a "Voltage High," check for power (Step 1). If power is present, disconnect the suspect sensor and create a short circuit at the harness side of the sensor (Step 2). Install a jumper wire between terminal "C" (signal) and terminal "B" (sensor common) on the harness side of the sensor connector. Wait approximately 15 seconds for activation of a code.

If a "Voltage Low" diagnostic code (short) is active when the jumper is installed, the engine harness and the ECU are functioning properly (Step 3). Temporarily connect a new sensor. If the new sensor fixes the problem, reconnect the suspect sensor. If the problem returns, permanently install the new sensor. Verify that the repair eliminates the problem (Step 7).

- **Short signal terminal at ECU to common if shorting harness at sensor does not change codes. Code should change states.**

If the "Voltage High" diagnostic code remains active when the jumper wire is installed, remove the jumper wire and create a short at the ECU by installing a jumper wire between the terminal for the signal of the suspect sensor and the sensor common connection at the ECU (Step 4). Wait approximately 15 seconds for activation of any code.



If the "Voltage High" diagnostic code is not present, the ECU is operating properly and there is an open in the wiring between the ECU and the sensor. Inspect the wiring and connectors between the ECU and the sensor and repair or replace the faulty harness components (Step 5). Verify that the repair eliminates the problem (Step 7).

- **Possible faulty ECU if shorting the signal terminal at the ECU does not force a Voltage Low code.**
- **ECU faults are rare, but not impossible. Thoroughly check connectors and pins/sockets at the ECU.**

If the "Voltage High" code is still active when the jumper wire is installed, temporarily connect a test ECU (Step 6). If the test ECU fixes the problem, reconnect the suspect ECU. If the problem returns, permanently install the new ECU. Verify that the repair eliminates the problem (Step 7).

NOTE: ECUs are rarely faulty. Before replacing an ECU, make sure to visually inspect P1 and P2 for any sockets that may not be fully seated. Unseated sockets will prevent an accurate reading when using test probes, therefore it is critical to perform the 10 pound pull test.

Diagnosing an "Abnormal Frequency, Pulse Width, Or Period" (FMI 08) code.

Step	Action	Value	Yes	No
1	Install breakout "T" or test probes and measure the voltage between terminals A and B.	Supply voltage +/- 0.5 volt	Go to step 3	Go to step 2
2	Measure voltage at ECU using breakout "T" or test probes, inspect electrical connectors and wires. Repair faulty components. Repair complete?	-	Go to step 8	-
3	With breakout installed, disconnect "C" terminal from harness side of connector. Using a DMM, measure the duty cycle between B and C terminals at the breakout while depressing and releasing the accelerator pedal. Is duty cycle at the specified value?	10-22% with pedal released 75-90% with pedal depressed	Go to step 5	Go to step 4
4	Replace sensor. Repair complete?	-	Go to step 8	-
5	With breakout installed, disconnect "C" terminal from harness side of ECU. Using a DMM, measure the duty cycle between B and C terminals at the breakout while depressing and releasing the accelerator pedal. Is duty cycle at the specified value?	10-22% with pedal released 75-90% with pedal depressed	Go to step 6	Go to step 7
6	Replace ECU. Repair complete?	-	Go to step 8	-
7	Repair or replace faulty signal wire. Repair complete?	-	Go to step 8	
8	Verify the repair. Is the problem solved?	-	Done	Go to step 1

10_1

Diagnosing an "Abnormal Frequency, Pulse Width Or Period" (FMI 08) code

- **ALWAYS CHECK FOR POWER FIRST (while sensor is connected). A technician can rule out two wires (A and B) immediately if power is present.**

- **Technician must disconnect C wire from the HARNESS side of the sensor/breakout. This eliminates the possibility of a shorted signal wire in the harness affecting the signal in this step.**

- **Percentages listed are guides. There may be slight variations in the low and high numbers, but not much.**

Abnormal signal codes do not indicate an voltage high or voltage low state. To diagnose abnormal signal codes, install a breakout "T" or test probes (spoons) and measure the voltage between terminals "A" and "B" (Step 1). If the measured voltage is not supply voltage, the sensor is not receiving the correct voltage. Measure the voltage at the ECU using the breakout "T" or spoons. Inspect the electrical connectors and wires and repair or replace the faulty components (Step 2). Verify that the repair eliminates the problem (Step 8). If the measured voltage is supply voltage (± 0.5 volt), measure the signal at the harness side of the connector (Step 3).

With the breakout installed, disconnect the "C" terminal from the harness side of the connector. Using a DMM, measure the duty cycle between "B" and "C" at the breakout while depressing and releasing the accelerator pedal. If the duty cycle is not present or out of range, temporarily install a new sensor (Step 4). If the new sensor eliminates the problem, reconnect the suspect sensor. If the problem returns, permanently install the new sensor. Verify that the repair eliminates the problem (Step 8).

If the duty cycle is between 10% and 22% while the pedal is fully released, and between 75% and 90% while the pedal is fully depressed, reconnect the "C" wire and measure the signal at the ECU (Step 5).

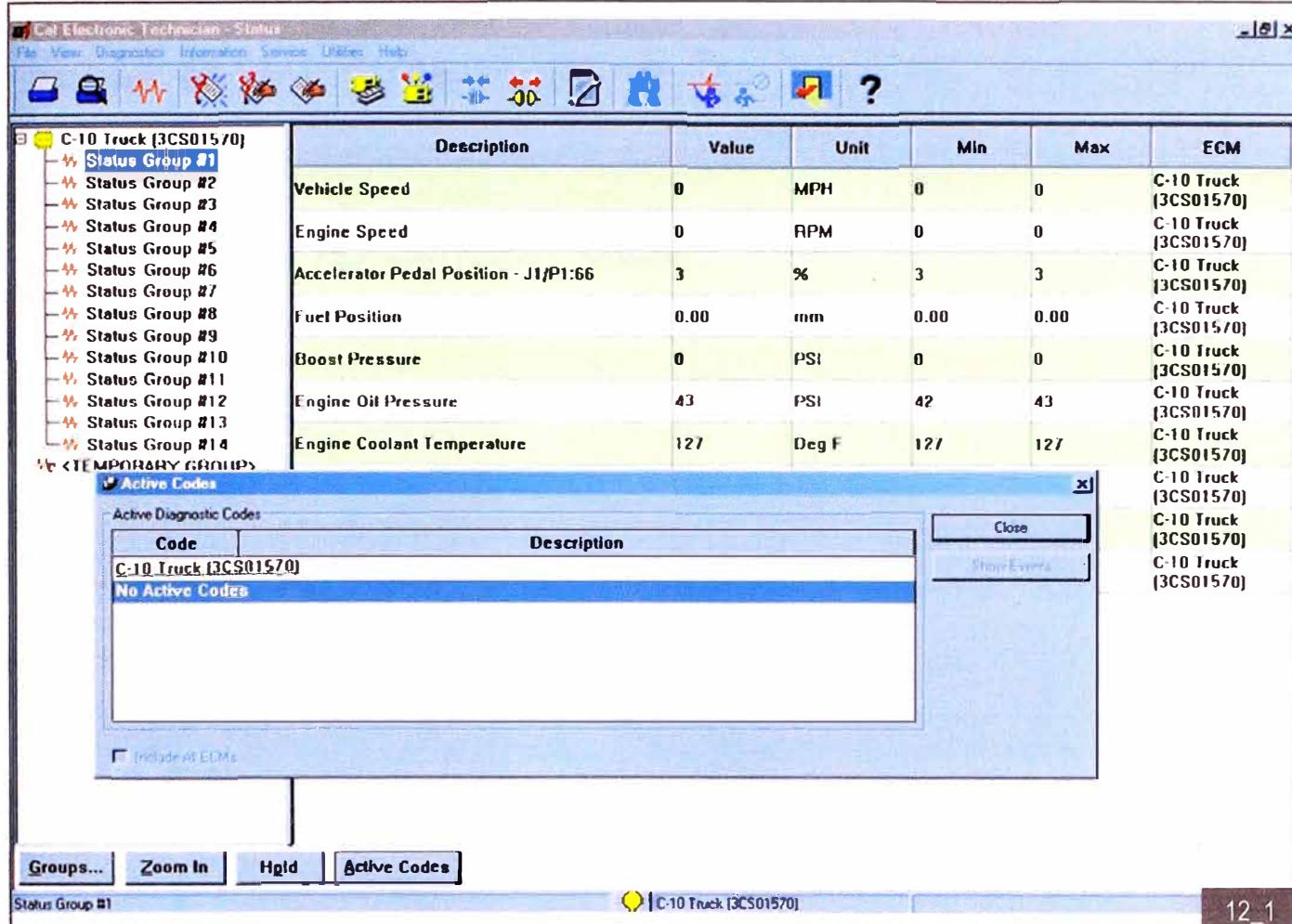


- **Reconnect the signal wire at the harness side of the sensor, and disconnect the signal wire from the harness side of the ECU. The sensor common/return must remain connected to the ECU in order to check the signal, so terminal probes (spoons) or an ECU breakout T must be used.**

Using the appropriate ECU breakout or terminal probes (spoons) at the ECU connector, remove the signal wire from the ECU on the harness side. Measure the duty cycle between the signal and sensor return pin (sensor return pin must be connected to the ECU during this test) with a DMM while depressing and releasing the pedal. If the duty cycle is between 10% and 22% while the pedal is fully released, and between 75% and 90% while the pedal is fully depressed, temporarily connect a test ECU. If the problem is resolved with the test ECU, reconnect the suspect ECU. If the problem returns, permanently install the new ECU (Step 6). Verify that the repair eliminates the problem (Step 8).

If the duty cycle is not present or out of range, there is a problem with the pedal position sensor signal wire (Step 7). Repair or replace the faulty wiring. Verify that the repair eliminates the problem (Step 8).

NOTE: ECUs are rarely faulty. Before replacing an ECU, make sure to visually inspect P1 and P2 for any sockets that may not be fully seated. Unseated sockets will prevent an accurate reading when using test probes, therefore it is critical to perform the 10 pound pull test.



Checking Cat ET Status Screens

- Certain sensor circuits will activate a "Voltage High" code when the supply wire (A) is open. This is one of the reasons it is imperative to always check for power first when troubleshooting.

Always perform a visual inspection, including checking the Cat ET status screen for invalid parameters. In this example, engine oil pressure is 43 Psi with no engine speed. Symptoms like this are usually an indication of an open "A" wire. If "B" or "C" was open, a fault code would be generated, since pull-up voltage uses and monitors "B" and "C".

The screenshot shows a software interface with a menu bar (File, View, Diagnostics, Information, Service, Utilities, Help) and a toolbar with various icons. A table below lists event codes and their descriptions.

Code	Description
3508 777 (2GR54321) - Diagnostic Clock = 8192 hours	
E106	High Front Brake Oil Temperature
E190	Engine Overspeed Warning
E057 (2)	Low Engine Coolant Level Derate

13_1

Event codes differ from diagnostic codes. Event codes are used to indicate that some operational problem has been detected by the ECU. Usually, this does not indicate an electronic malfunction. Examples of event codes would be "Low Engine Oil Pressure" or "High Coolant Temperature", as opposed to a diagnostic code, which could be "Engine Oil Pressure Sensor Shorted" or "Coolant Temperature Sensor Open Circuit".

You do not troubleshoot an event code in the same way you do a diagnostic code. Refer to the applicable Troubleshooting Guide for specific information on event code causes and repair steps.

Cat® Sensors



Robust and Reliable Family of Sensors for Off-highway and On-highway Applications

Caterpillar® offers a complete line of sensors designed to withstand the harshest environments. Caterpillar sensors can operate in heavy-duty applications such as severe vibration, shock, extreme operating temperature ranges, thermal cycle, thermal shock, humidity, corrosion and excessive dust.

Our product line includes the following sensor types:

- Pressure sensors
- Temperature sensors
- Liquid level sensors
- Speed sensors
- Low speed timing sensors
- Hall effect active speed sensors
- High accuracy speed timing sensors
- Position sensors
- Rotary position sensors
- High pressure PWM sensors
- Exhaust gas thermocouples
- PWM exhaust gas temperature sensors
- Emissions sensors

Caterpillar. The difference counts.™

Cat® Dealers define world-class product support. We offer you the right parts and service solutions, when and where you need them.

The Cat Dealer network of highly trained experts keeps your entire fleet up and running to maximize your equipment investment.

CATERPILLAR®

Cat Sensors

Environmental Specifications	Fuel Level Sensor	High Pressure PWM Pressure Sensor	Integral Connector Pressure Sensor	Wire Leaded PWM Pressure Sensors	Hall Effect Active Speed Sensors	High Accuracy Timing Sensors
Operating Temperature	-40°C to +125°C	-40°C to +110°C	-40°C to +125°C	-40°C to +125°C	-40°C to +120°C	-40°C to +150°C
Storage Temperature	-60°C to +58°C	-55°C to +135°C	-55°C to +135°C	-55°C to +135°C	-55°C to +150°C	-55°C to +150°C
Vibration	10 G rms (18-2 kHz)	26 G rms (20-2 kHz)	26 G rms (20-2 kHz)	26 G rms (20-2 kHz)	20 G rms (20-2 kHz)	20 G rms (20-2 kHz)
EMI/RFI	100 V/m Radiated	100 V/m	100 V/m	100 V/m	100 V/m	—
Sealing	+/-35 kPa	+/-35 kPa	+/-35 kPa	+/-35 kPa	+/-35 kPa	+/-35 kPa

Operating Characteristics/Specifications	Fuel Level Sensor	High Pressure PWM Pressure Sensor	Integral Connector Pressure Sensor	Wire Leaded PWM Pressure Sensors	Hall Effect Active Speed Sensors	High Accuracy Timing Sensors
Inputs						
Supply Voltage	18V-32V	8V-32V	5V +/- .25V	8V +/- .25V	8V-14V	—
Supply Current	80 mA	35 mA	20 mA max	20 mA max	30 mA max	—
Proof Pressure	—	2X	2X	2X	—	—
Burst Pressure	—	3X	3X	3X	—	—
Pressure Range	—	3000 kPaG to 70 MPaG	116 kPaA to 6394 kPaA	197 kPaA to 1135 kPaA	—	—
Outputs						
Output Signal	PWM-500 Hz	PWM-500 Hz	Analog	PWM-500 Hz	0-15 kHz	Max 40 kHz Typ
Min Surface Speed	—	—	—	—	—	0.38 m/sec Typ
Sensing Range	305-2286 mm	—	—	—	—	—
Resistance	—	—	—	—	—	140 Ohms
Inductance	—	—	—	—	—	55 mH @ 1000 Hz
Resolution (Short-Tall Tank)	12.7- 25.4 mm	—	—	—	—	—
Response to Step input change (10% to 90% of full scale step)	—	15 ms	15 ms	15 ms	—	—
Total Error Band	—	+/-3% of max pres. (-40°C to +125°C)	+/-3% of max pres. (-40°C to +125°C)	+/-3% of max pres. (-40°C to +125°C)	—	—
Max Sink Current	—	20 mA	1.5 mA	1.5 mA	7.25 mA	—
Max Source Current	—	20 mA	1.5 mA	1.5 mA	7.25 mA	—
Short to Ground or Vs Protection	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	—

Environmental Specifications	Low Speed Timing Sensors	PWM Exhaust Gas Temperature Sensors	Exhaust Gas Thermocouples	PWM Temperature Sensors	Temperature Sensors	
					Active	Passive
Operating Temperature	-40°C to +150°C	-40°C to +1095°C	-40°C to +1095°C	-60°C to +120°C	-40°C to +120°C	-50°C to +150°C
Storage Temperature	-55°C to +150°C	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	-55°C to +150°C
Vibration	20 G rms (20 to 2 kHz)	20 G rms (20 to 2 kHz)	10 G rms (20 to 2 kHz)	20 G rms (20 to 2 kHz)	20 G rms (20 to 2 kHz)	20 G rms (20 to 2 kHz)
EMI/RFI	—	100 V/m	100 V/m	100 V/m	100 V/m	—
Sealing	+/-35 kPa	+/-35 kPa	+/-35 kPa	35 kPa (housing), 1000 kPa (probe)	35 kPa (housing), 1000 kPa (probe)	35 kPa (housing), 1000 kPa (probe)



Active Temperature Sensor



Fuel Level Sensor



Hall Effect Active Speed Sensor



High Pressure PWM Sensor



Medium Duty Rotary Position Sensor

Operating Characteristics/ Specifications		Low Speed Timing Sensors	PWM Exhaust Gas Temperature Sensors	Exhaust Gas Thermocouples	PWM Temperature Sensors	Temperature Sensors	
						Active	Passive
Supply Voltage	—	8V +/- .25V	—	—	8V or 24V	5V-8V	—
Current	—	20 mA max	—	—	3 mA	3 mA	10 mA
Response Time from 10% to 90% Temperature Change	—	<60s	—	<25s	<20s	<60s	<15s
Used Temperature	—	-40°C to +1095°C	-40°C to +1095°C	-60°C to +120°C	-40°C to +120°C	-50°C to +150°C	—
Outputs	—	Max 15 kHz Typ	PWM	Type K Thermocouple	PWM	Active Analog Voltage	Variable Resistance
Output Signal	—	0.25 m/sec Typ	—	—	—	—	—
Surface Speed Frequency	—	500 MHz	—	—	500 MHz or 5 kHz	—	—
Output Range	—	20 to 80% duty cycle	—	—	9 to 90% duty cycle	0.2 to 4.5V	—
Resistance	1056 Ohms	—	—	—	—	—	1000 Ohms @25°C
Inductance	420 mH @1000 Hz	—	—	—	—	—	—

Environmental Specifications	Cylinder Position Sensor		Rotary Position Sensor	
	Class 3	Class 2	Heavy Duty	Medium Duty
Operating Temperature	-40°C to +120°C	-40°C to +120°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C
Storage Temperature	-55°C to +150°C	-55°C to +150°C	-55°C to +85°C	-55°C to +85°C
Vibration	15.3 G rms (20 to 2 kHz)	15.3 G rms (20 to 2 kHz)	20 G rms (24 to 2 kHz)	15.3 G rms (24 to 2 kHz)
EMI/RFI	100 V/m	100 V/m	100 V/m Rad Immunity	100 V/m Rad Immunity
Impact Strength	—	—	60 Nm	—
Torsion Force	—	—	1 Nm	—
Radial Load	—	—	1000 N max	—
Axial Load	—	—	1000 N max	—
Hydraulic Pressure Limits: Continuous/Transient	41,358 kPa / 82,717 kPa	41,358 kPa / 82,717 kPa	—	—
Mounting	—	—	+/-35 kPa	+/-25 kPa when mounted per specifications

Environmental Specifications		Filter By-Pass Switch	Robust Arm Bar Switch	Liquid Level Switch
Standard Spec's	Storage Temperature	—	—	—
	Operating Temperature	-40°C to +121°C	-40°C to +85°C	-40°C to +125°C
Protection	Mounting	—	—	—
	Sealing	35 kPa	10.34 kPa	Impervious to oil, fuel, salt
Operation	10 G, 18 to 500 Hz	—	—	Yes
	15.3 G, 24 to 2000 Hz	—	Yes	—
	10 G, 20 to 2000 Hz	Yes	—	—



Integral Connector Pressure Sensor



Liquid Level Switch



Filter By-Pass Switch



Robust Arm Bar Switch

Cat Sensors

Operating Characteristics/ Specifications	Cylinder Position Sensor		Rotary Position Sensor	
	Class 3	Class 2	Heavy Duty	Medium Duty
Inputs				
Supply Voltage	10V +1/-3V	10V +1/-3V	18V-32V	9V-32V or 8V
Supply Current	100 mA max	100 mA max	40 mA max	30 mA max
Angular Range	—	—	140 and 120 deg.	72, 102, & 310 deg.
Outputs				
Output Signal	PWM	PWM	PWM	PWM
Frequency	500 Hz +/-100 Hz	115 Hz +/-15 Hz	350-700 Hz	350-700 Hz
Output Low (Sink)	< 1.0V	< 1.0V	< 1.0V @ 9 mA sink	< 5.0V @ 8 mA sink
Output High (Source)	> 3.9V	> 3.9V	—	>4.0V @ 1.0 mA source
Output (PWM) V (low) maximum<1.0V and V (high) minimum >3.9V	Yes	Yes	—	—
Maximum Velocity	2000 mm/s	2000 mm/s	—	—
Hysteresis	< 1.5 X resolution +0.6 mm	< .12 X resolution +0.004% or 0.15 mm	2%	1% for sensors with spring return
Resolution	<4 mm @ 1 MHz, and <1 mm @ 5 MHz	<0.5 mm @ 1 MHz, and <0.1 mm @ 5 MHz	—	—
Position Accuracy	+/-0.1% of full stroke or +/- resolution	+/-0.05% of full stroke or +/- resolution	—	—
Displacement Range	50 mm to 1200 mm	50 mm to 2000 mm	—	—
Sensor Life	2 million strokes	2 million strokes	3 million cycles	10 million cycles
Max Sink Current	—	—	10 mA	9 mA
Linearity	—	—	+/- 2.0% Full scale	+/- 2.5% Full scale
Short to Ground or Vs Protection	Yes	Yes	Yes	Yes

Operating Characteristics/ Specifications	Filter By-Pass Switch	Robust Arm Bar Switch	Liquid Level Switch
Inputs			
Supply Voltage	12V-24V	12V-24V	—
Switching Voltage	—	100V max	—
Leakage Current	—	—	—
Contact Rating	0.5 A	0.5 A	—
Voltage Drop	100 mV @ 2.5 mA max	—	100 mV @ 2.5 mA max
Voltage Actuation	—	—	5V-28V
Outputs			
Output Signal	Switch to Ground	Switch to Ground	—
Protection	—	—	—
Mechanical			
Number of Poles	Single	Single	Single
Number of Throws	Single	Double	Single
Life	10,000 cycles	50,000 cycles	100,000 cycles
Contact Configuration	—	—	100 mA @ 28V
Medium (Hydraulic oil)	—	—	Yes
Medium (Lubricant)	—	—	Yes
Medium (Ethanol)	—	—	Yes
Schematics			
Pin 1	N/C side of contact	—	N/C side of contact
Pin 2	—	—	Common
Max Load			
Resistive	0.1 A	—	—
Inductive	0.1 A	—	—
Lamp	0.1 A	—	—

For more information, see us today.




PLANOS

Listado de planos

1. Esquema Eléctrico 950H.

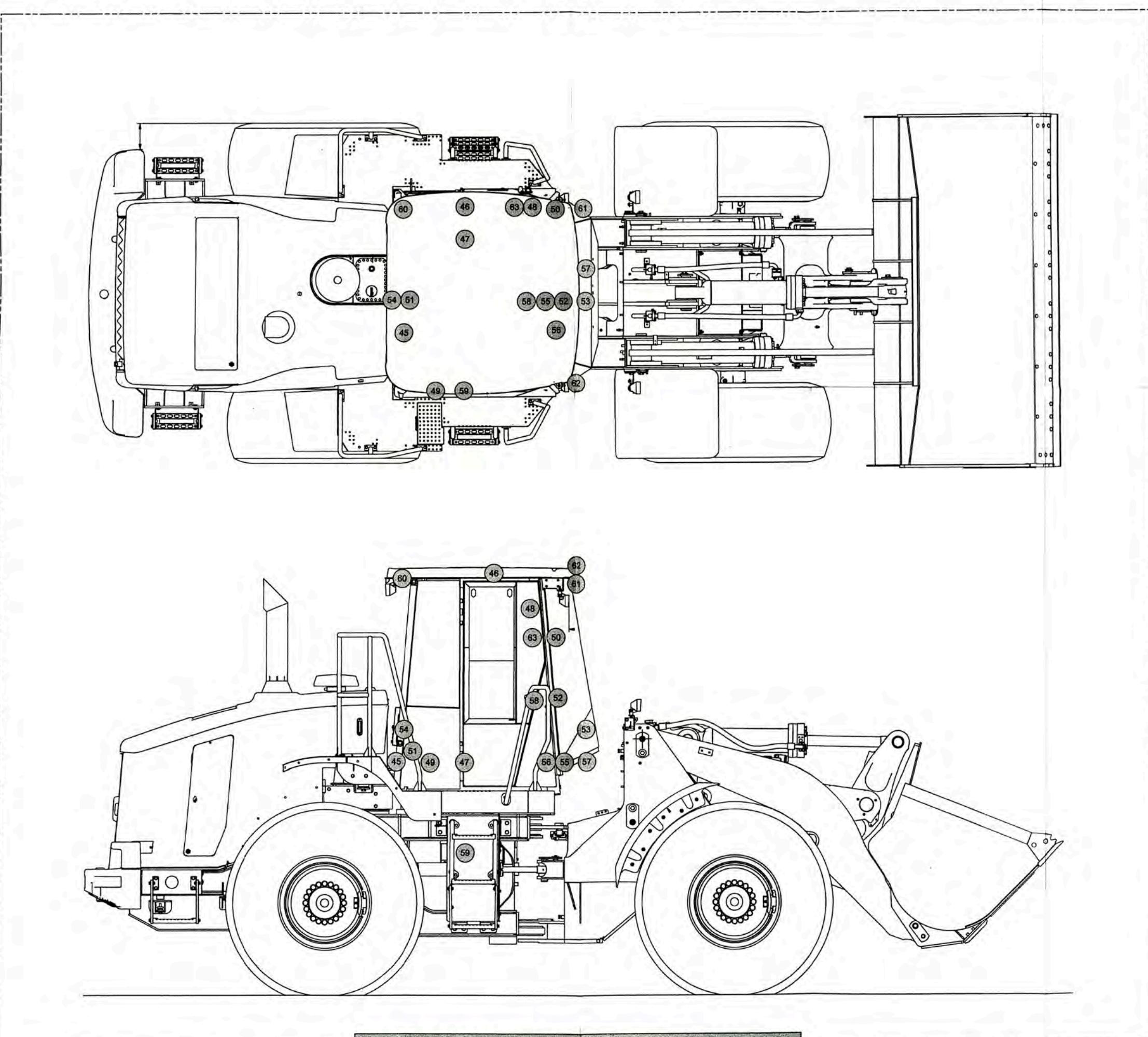
Wire Number	Wire Color	Wire Description	Wire Number	Wire Color	Wire Description
Power Circuits					
101	RD	Brake Line	1788	WH	Brake Lever Sensor 1
102	RD	Brake Line	1790	PC	Park Brake Lever Sensor 2
103	RD	Alt/Brake	1792	RD	Brake Lever Sensor 3
105	RD	Tilt/Lift Position Sensors	1793	YL	Implement Control Reversing Left Side (N.O.)
106	RD	Engine ECM	1794	YL	Implement Control Reversing Right Side (N.O.)
110	RD	Warning Horn (Forward)	1795	YL	Implement Control Reversing Left Side (N.C.)
114	RD	Warning Horn (Forward)	1796	YL	Implement Control Reversing Right Side (N.C.)
124	UN	A/C	1797	BR	Implement Control Park Press Sol
125	UN	Hydraulic Brake Pedal	1798	GT	Implement Control Tilt Cylinder Position
130	UN	Supplementary Braking	1799	BR	Implement Control Tilt Valve Position
139	UN	Aux Lube Pump To Payload Monitor	1807	BR	Fan Control Sol Return
141	RD	Beacons/Hazard Lights	1796	PN	Throttle Service Corrector
143	RD	Hydrostatic Pressure	1797	PC	Aux Oil Temperature Sensor Ground
147	RD	Hydrostatic Pressure	1798	PC	Aux Oil Temperature Sensor Ground
148	RD	Hydrostatic Pressure	1799	BU	Aux Oil Cooler Clutch
149	RD	Hydrostatic Pressure	1795	YL	Aux Oil Temperature Sensor
150	RD	Hydrostatic Pressure	1796	YL	Brake Oil Temperature Sensor
174	RD	Unwired Fan Bus Power	1797	YL	Brake Oil Temperature Sensor
179	RD	Hydrostatic Pressure	1798	YL	Brake Oil Temperature Sensor
199	RD	Hydrostatic Pressure	1799	YL	Brake Oil Temperature Sensor
Ground Circuits					
200	BK	Main Chassis	1727	WT	Fuel Filter Site
201	BR	Hydrostatic Return	1796	YL	Extended CAN Data Link
202	BR	Xmas Coll	1797	YL	Extended CAN Data Link
204	BR	Hydrostatic Return	1798	YL	Extended CAN Data Link
205	BR	Hydrostatic Return	1795	YL	Extended CAN Data Link
211	BR	Blackout Alarm Lamp Travel Alarm	1793	YL	Extended CAN Data Link
212	YL	Blackout Alarm Lamp Travel Alarm	1794	YL	Extended CAN Data Link
213	YL	Warning Horn (Forward)	1795	YL	Extended CAN Data Link
217	YL	Warning Horn (Forward)	1796	YL	Extended CAN Data Link
297	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
306	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
340	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
341	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
342	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
343	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
344	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
345	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
346	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
347	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
348	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
349	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
350	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
351	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
352	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
353	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
354	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
355	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
356	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
357	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
358	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
359	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
360	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
361	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
362	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
363	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
364	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
365	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
366	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
367	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
368	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
369	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
370	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
371	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
372	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
373	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
374	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
375	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
376	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
377	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
378	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
379	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
380	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
381	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
382	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
383	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
384	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
385	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
386	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
387	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
388	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
389	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
390	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
391	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
392	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
393	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
394	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
395	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
396	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
397	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
398	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
399	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
400	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
401	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
402	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
403	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
404	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
405	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
406	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
407	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
408	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
409	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
410	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
411	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
412	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
413	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
414	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
415	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
416	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
417	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
418	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
419	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
420	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
421	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
422	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
423	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
424	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
425	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
426	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
427	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
428	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
429	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
430	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
431	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
432	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
433	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
434	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
435	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
436	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
437	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
438	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
439	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
440	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
441	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
442	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
443	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
444	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
445	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
446	YL	Head House Motor	1797	YL	Extended CAN Data Link
447	YL	Head House Motor	1798	YL	Extended CAN Data Link
448	YL	Head House Motor	1795	YL	Extended CAN Data Link
449	YL	Head House Motor	1796	YL	Extended CAN Data Link
450	YL	Head House Motor	1797	YL</td	



Schematic

950H and 962H Wheel Loader IT62H Integrated Toolcarrier Electrical System

950H: N1A3213-4214 N4A1257-2059 M5G542-678
JAD188-UP: JAD188-UP M1G1783-2110 MAL1-UP K5K435-2187
IT62H: M5G542-678
K5K435-516



MACHINE HARNESS CONNECTOR AND COMPONENT LOCATIONS

Failure Mode Identifiers (FMI)*		Component Location		Connector Location		Off Machine Switch Specification						
FMI No.	Failure Description	Component	Schematic Location	Machine Location	Connector Number	Schematic Location	Machine Location	Part No.	Function	Actuate	Deactuate	Contact Position
0	Data valid but above normal operational range.	Switch - Auto/Manual Gear Select	E-3	45	CONN 16	H-3	45	3E-5464	A/C Thermostat	-11 to 0°C (30 ± 1.4°F)	2.2 to 0°C (39 ± 1.4°F)	Normally Closed
1	Data valid but below normal operational range.	Switch - Auto/Mode	E-15	48	CONN 17	D-18	59					
2	Abnormal frequency, pulse count, or period.	Switch - Auto/Mode	D-1	48	CONN 18	C-18	54					
3	Voltage above normal or shorted high.	Switch - Auto/Mode Select	B-18	54	CONN 19	B-18	54					
4	Voltage below normal or shorted low.	Switch - Auto/Trigger	I-7	45	CONN 21	I-3	45					
5	Current below normal or open circuit.	Switch - Auto/Trigger	D-15	45	CONN 22	F-15	45					
6	Current above normal or ground short.	Switch - Auto/Trigger	E-14	45	CONN 25	L-13	51					
7	Memory loss or corrupted memory.	Switch - Bi-directional	D-7	50	CONN 30	H-12	51					
8	Abnormal frequency, pulse count, or period.	Switch - Buck/Fork Select	E-2	46	CONN 31	H-3	47					
9	Abnormal update.	Switch - Cat Mon Sys Mode Select	F-15, G-16	51	CONN 32	D-9	47					
10	Abnormal rate change.	Switch - Downshift	E-13	45	CONN 33	F-9	45					
11	Output signal not readable.	Switch - Fine Modulation	F-8	47	CONN 34	D-6	48					
12	Bad device or component.	Switch - Forward Horn	I-3	56	CONN 35	L-2	50					
13	Out of calibration.	Switch - Forward Horn	I-2	56	CONN 36	L-7	61					
14	Parameter failure.	Switch - Front Lamp	K-7	60	CONN 37	K-7	60					
15	Parameter errors.	Switch - Front Lamp	K-1	52	CONN 38	K-7	62					
16	Parameter not available.	Switch - Heater Mirror	D-7	45	CONN 39	D-7	63					
17	Module not responding.	Switch - Head Lamp	J-1	52	CONN 40	I-2	52					
18	Sensor supply fault.	Switch - HVAC Temp Select	D-6	46	CONN 41	I-3	52					
19	Processor error.	Switch - Implement Lockout	E-7	48	CONN 42	G-3	58					
20	Parameter limit.	Switch - Key Start	L-15	51	CONN 43	F-3	52					

The FMI is a diagnostic code that indicates what type of failure has occurred.
* The MD is a diagnostic code that indicates which electronic control module diagnosed the fault.

Resistor, Sender and Solenoid Specifications					
Part No.	Component Description	Resistance (Ohms)*			
10-1950	Resistor - Windshield Wiper	Overall: 2.0 ± 0.1	Tape: 1.0 ± .05		
134-3540	Resistor - CAN	120 ± 12			

* At room temperature unless otherwise noted.

Related Electrical Service Manuals		
Title	Form Number	
Cross Reference for Electrical Connectors:	REN10970	
Machine Security System:	REN10462	
Product Line Radio:	REN10464	
Powertrain Monitoring:	REN10465	
Implement Control:	REN10455	
Controller Monitoring System:	SEN11394	
Payload Control System:	REN10203	

