



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Calibración del Subsistema de Diagnóstico A Bordo para  
Monitoreo de la Temperatura del Anticongelante en el  
Motor de Gasolina 1.5 Litros Turbo de Inyección Directa**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Mecánico**

**P R E S E N T A**

Antonio Enrique Gual Rojas

**ASESOR DE INFORME**

M.I. Mariano García del Gállego



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

# Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>2. OBJETIVO</b>	<b>5</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA</b>	<b>5</b>
3.1 Visión	6
3.2 Historia	6
<b>4. ORGANIGRAMA</b>	<b>9</b>
<b>5. DESCRIPCIÓN DEL PUESTO DE TRABAJO</b>	<b>10</b>
<b>6. ANTECEDENTES</b>	<b>12</b>
<b>6.1 Motores ECOBOOST</b>	<b>12</b>
6.1.1 Características clave	12
6.1.1.2 Turbocompresor	12
6.1.1.3 Inyección directa	13
6.1.1.4 Sincronización variable del árbol de levas	13
<b>6.2 Agencias gubernamentales de aire limpio</b>	<b>14</b>
6.2.1 Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)	14
6.2.2 Consejo de Recursos del Aire de California (CARB)	14
6.2.3 Ciclos de manejo para emisiones	16
<b>6.3 Sistema de Diagnóstico a Bordo (OBD)</b>	<b>17</b>
6.3.1 Las regulaciones de OBD y todos los principales mercados	18
6.3.2 Estándares SAE	19
6.3.3 Requerimientos generales del sistema de OBDII	19
6.3.4 Requerimientos de MIL y códigos de falla	19
6.3.5 Códigos de Diagnóstico de Problemas (DTC)	20
6.3.6 Condiciones de monitoreo	21
6.3.7 Transmisión de diseño de OBD	22
<b>6.4 Monitoreo Continuo de Componentes del Vehículo (CCM)</b>	<b>23</b>
6.4.1 Criterio de malfuncionamiento	24
6.4.2 Sistema de monitoreo del anticongelante del motor	25
6.4.3 Código de diagnóstico de problema P0128	26
6.4.4 Constantes de tiempo	28
6.4.5 Código de diagnóstico de problema P0125	28

<b>6.5 Monitores de componentes presentes en el vehículo</b>	<b>29</b>
<b>6.6 Verificación de diseño</b>	<b>29</b>
6.6.1 Simulación del sistema de control en lazo cerrado (HIL)	32
6.6.2 Plan de validación	32
6.6.3 Viaje de sensibilización de OBD	32
<b>6.7 Calibración de motor</b>	<b>33</b>
6.7.1 Fases de la calibración	35
6.7.2 Proceso de calibración	35
6.7.3 Guías de calibración	36
<b>7. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>37</b>
<b>8. METODOLOGÍA</b>	<b>39</b>
<b>9. RESULTADOS</b>	<b>47</b>
<b>10. CONCLUSIONES</b>	<b>63</b>
<b>11. REFERENCIAS</b>	<b>68</b>
<b>12. ANEXOS</b>	<b>69</b>
12.1 Anexo 1 Monitores de componentes continuos en el vehículo	69
12.2 Anexo 2. Descripción de ciclos	70
12.3 Anexo 3. Herramientas de calibración	71
12.3.1 ATI Vision	71
12.3.2 A7	71
12.3.3 HUB	71
12.3.4 Dispositivo para adquisición de datos (EDAQ)	72
12.3.5 Calibration Feature Executive CFX	73
12.3.6 Breakout box	73
12.3.7 Control tec	73
12.4 Anexo 4. Glosario	74

## 1. Introducción

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y el Consejo de Recursos del Aire de California (CARB) tienen el propósito de alcanzar y mantener la calidad del aire saludable, proteger de la exposición de contaminantes tóxicos en el aire y proporcionar enfoques innovadores que permitan cumplir con las normas y reglamentos de contaminación atmosférica. Para ello, definen estándares de emisiones de los vehículos y establecen requerimientos para el Sistema de Diagnóstico A Bordo (OBD).

El sistema OBD monitorea sistemas cuyo malfuncionamiento repercute en el nivel de emisiones y proporciona al vehículo la capacidad de auto-diagnosticarse y de reportar fallas durante su vida útil. Para cumplir con los requisitos de operación y garantizar que se cumpla con lo establecido por la regulación, será indispensable someter al vehículo a un extenso desarrollo de calibración para ajustar y evaluar aquellos parámetros contenidos en la estrategia de control del sistema.

El monitor OBD para monitoreo continuo de componentes deberá detectar fallas de cualquier componente o sistema que: i) provea una entrada, ii) reciba comandos del módulo de control o de un dispositivo inteligente y iii) que pueda afectar las emisiones o sea usado como parte de la estrategia de diagnóstico de cualquier otro sistema o componente monitoreado.

La temperatura del anticongelante es usada como condición de entrada en la estrategia de diagnóstico para la operación de los siguientes monitores: del catalizador, de no combustión, de combustible adaptativo, de imbalance de la mezcla de aire y combustible, de oxígeno en gases de escape y de la presión en el riel de combustible. Cuando un termostato falla y permanece bloqueado en una posición abierta, permite el libre paso del anticongelante en el sistema de enfriamiento haciendo que el vehículo tarde mucho más en calentarse. Esto ocasionará que los monitores no operen y que transmitan información incorrecta al módulo de control, resultando en una operación deficiente del sistema con consecuencia en emisiones, manejabilidad, rendimiento y en la calidad del producto.

Por esta razón, EPA y CARB imponen la incorporación de un monitor de la temperatura del anticongelante. El termostato es un elemento completamente mecánico cuyo estado depende únicamente de la temperatura, es decir, el módulo de control del motor no tiene ninguna influencia en su desempeño. Existen monitores electrónicos pero su aplicación aún resulta muy costosa. Por lo tanto, el monitor requiere de un modelo que infiera el perfil de calentamiento del anticongelante esperado para un termostato

funcional. De esta manera, será capaz de monitorear el estado del termostato. Este modelo deberá ser calibrado para distintas condiciones de temperatura ambiente, tipos de manejo y niveles de calefacción.

En este reporte, se describe el procedimiento de calibración del modelo inferido de la temperatura del anticongelante (MITA) para el motor de gasolina de 1.5 L con turbocompresor e inyección directa (GTDI) de un vehículo del segmento SUV. Para esto, se adquirieron datos de distintos perfiles de calentamiento del anticongelante, con variaciones en temperatura ambiente (desde los -6.67 °C hasta los 35 °C) y tipos de manejo. Una vez recopilados los datos, se analizó la información y se hicieron propuestas de calibración de acuerdo con lo observado y estipulado por EPA y CARB. Para garantizar la robustez del modelo se utilizó un software de validación para evaluar la propuesta de calibración. Además, se instaló en un vehículo un termostato con falla (bloqueado en una posición abierta) y en otro un termostato funcional. Se sometió ambos vehículos a periodos cortos de manejo apegados a aquellos de uso cotidiano evidenciando el comportamiento de la calibración. Se hicieron ajustes como fue necesario para poder concluir con la calibración del modelo.

El trabajo descrito en este reporte fue realizado dentro de la compañía Ford Motor Company y resume mi experiencia profesional como Ingeniero de Calibración de motor en sistemas de OBD.

## **2. Objetivo**

Analizar el proceso de calibración del subsistema de OBD para monitoreo de la temperatura del anticongelante. El propósito de esta calibración es generar un MITA capaz de detectar anomalías en el funcionamiento del termostato.

## **3. Descripción de la empresa**

Ford Motor Company es una compañía americana global automotriz y de movilidad fundada en 1903 por Henry Ford, con sede en Dearborn Michigan. Su negocio incluye el diseño, manufactura, mercadeo y servicio de su línea de vehículos, camiones y SUVs Ford, así como de sus vehículos de lujo Lincoln.

Es una empresa comprometida en prevenir y reducir el impacto ambiental, económico y social ocasionado por el cambio climático. Para lograrlo, ha creado una estrategia global trabajando de cerca con las agencias gubernamentales de aire limpio. En ella incorpora tecnologías sustentables tales como los Motores EcoBoost y un plan de

combustibles alternativos. Así, busca entregar productos de alta calidad que cumplan con las expectativas del consumidor y reduzcan la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

### **3.1 Visión**

Personas que trabajan juntas como una empresa global que crea más valor para sus clientes con menos recursos. Haciendo mejor la vida de las personas a través del liderazgo del automóvil y la movilidad.

Ford busca la excelencia en sus productos garantizando: 1) *Calidad*, cuyo objetivo es aumentar la satisfacción del cliente. 2) *Seguridad* a través de implementación de innovaciones. Y 3) *Protección del ambiente*, yendo más allá de la reducción de las emisiones de CO2 haciendo de la sostenibilidad una parte integral del negocio.

Su plan de Movilidad contempla un futuro del transporte, en el que los vehículos se comunican entre sí y con el mundo que los rodea, para que conducir sea más seguro, fácil y eficiente <sup>1</sup>.

### **3.2 Historia**

Los inicios de la compañía tienen lugar en el año 1896 cuando Henry Ford construye el Cuadriciclo, conformado por cuatro llantas de bicicleta e impulsado por un motor de cuatro caballos de fuerza. La caja de velocidades sólo tenía dos engranajes hacia delante y no contaba con reversa.

Ford Motor Company es incorporada en 1903, con 12 inversionistas y 1000 acciones. La compañía gastó casi toda su inversión en efectivo para el momento en que vendió su primer Modelo A en julio de 1903, inversión que recuperó tres meses después <sup>2</sup>.

El Modelo T de Henry Ford fue introducido en 1908. Este vehículo puso al mundo sobre ruedas atrayendo al mercado en masa con un automóvil accesible, duradero y fácil de mantener. En ese tiempo la mayoría de los automóviles que existían eran lujosos y poco accesibles. Se vendieron alrededor de 15 millones de Modelos T hasta finalizar su producción en mayo de 1927, fue uno de los vehículos mejor vendidos de todos los tiempos <sup>3</sup>.

Ford innovó con la incorporación de la línea de ensamble de movimiento integrado en 1913. Esta innovación redujo la línea de ensamble del chasis del Modelo T de 12.5 a 1.5 horas lo que promovió una revolución en la manufactura. La velocidad a la que Ford producía vehículos permitió bajar los precios del Modelo T <sup>4</sup>.

Para 1914 los ingresos de la compañía permitieron incrementar el salario a los trabajadores de fábrica lo que mejoró la capacidad para retener el personal con alta rotación. El incremento en el salario tenía el efecto agregado de permitir a los empleados comprar los vehículos que producían. Además, redujo el día de trabajo de nueve a ocho horas lo que permitió correr 3 turnos al día en lugar de dos. El incremento en el salario, el incremento en el tiempo libre y el incremento en la movilidad por poseer un vehículo fueron factores críticos en la creación de una clase media en Estados Unidos <sup>3</sup>.

Para cubrir las necesidades de abastecimiento de la construcción de vehículos Ford construye el complejo River Rouge en 1917. Durante la década siguiente este se convirtió en la fábrica integrada más grande del mundo. Alojó una amplia colección de industrias como molinos de acero, fábricas de llantas, fábricas de vidrio, una planta de energía y un depósito de recepción de carbón, hierro, caucho y maderas. Empleó arriba de 100,000 trabajadores. Hasta hoy el complejo continúa evolucionando para cubrir las necesidades de los procesos modernos de manufactura <sup>2</sup>.

El primer camión de la compañía fue lanzado en 1917, el Modelo TT estuvo basado en el Modelo T, pero con un chasis reforzado y un eje trasero. Con la capacidad de cargar hasta una tonelada.

Edsel Ford, hijo de Henry Ford, tenía un gran interés por el diseño automotriz lo que llevó a la compañía a una nueva dimensión, produciendo vehículos no solo enfocados en lo práctico sino también en lo estético. Ford adquiere Lincoln Motor Company en 1922, rama de la compañía que ha producido vehículos de lujo de nota histórica y estética incluyendo el original Lincoln Continental.

El Modelo T dominó la industria automotriz de 1908 hasta 1920, para la mitad de la década había una feroz competencia de otras automotrices. Para lanzar su nuevo Modelo A la compañía detuvo la producción de su Modelo T y cerró plantas alrededor del mundo para tomar seis meses actualizando el herramental y perfeccionando el nuevo diseño que comenzó a vender en 1927 <sup>3</sup>.

La compañía continúa evolucionando tras introducir en 1948 la línea de camiones F-Series, con este lanzamiento dejó de construir camiones en plataformas de vehículos y diseñaron plataformas destinadas para camiones. El camión estuvo disponible en ocho tamaños y rangos de capacidad.

El desarrollo de ingeniería incorpora pruebas de choque en los vehículos a partir de 1954, desde entonces se han llevado a cabo más de 31,000 pruebas alrededor del mundo. Ahora es posible simular pruebas de forma virtual maximizando la disponibilidad de información <sup>1</sup>.

El Ford Mustang salió a la venta en 1964 este vehículo definió la clase de pony car con su combinación de largo capó y cajuela corta. Ford participó en Le Mans en 1966 una competencia de alta resistencia que Ferrari dominó durante seis años y que Ford arrebató ganando los cuatro años siguientes con varias generaciones del GT40. Vehículo que más adelante sería lanzado de forma comercial como un deportivo de alta calidad <sup>4</sup>.

Ford de Europa introdujo el Ford Fiesta en 1976, el subcompacto con puerta trasera se convirtió en el primer modelo de tracción delantera exitoso internacionalmente. Su presupuesto de desarrollo fue de los más grandes en la historia de la compañía.

Ford continuó innovando tras introducir la línea de ensamble modular en su planta de St. Louis en 1986. Esta consistía en el uso de líneas de ensamble con subestaciones automatizadas para producir sub ensambles del vehículo. Estos sub ensambles eran posteriormente añadidos a la línea de ensamble principal. Hoy la mayoría de las plantas de Ford utilizan este tipo de línea <sup>2</sup>.

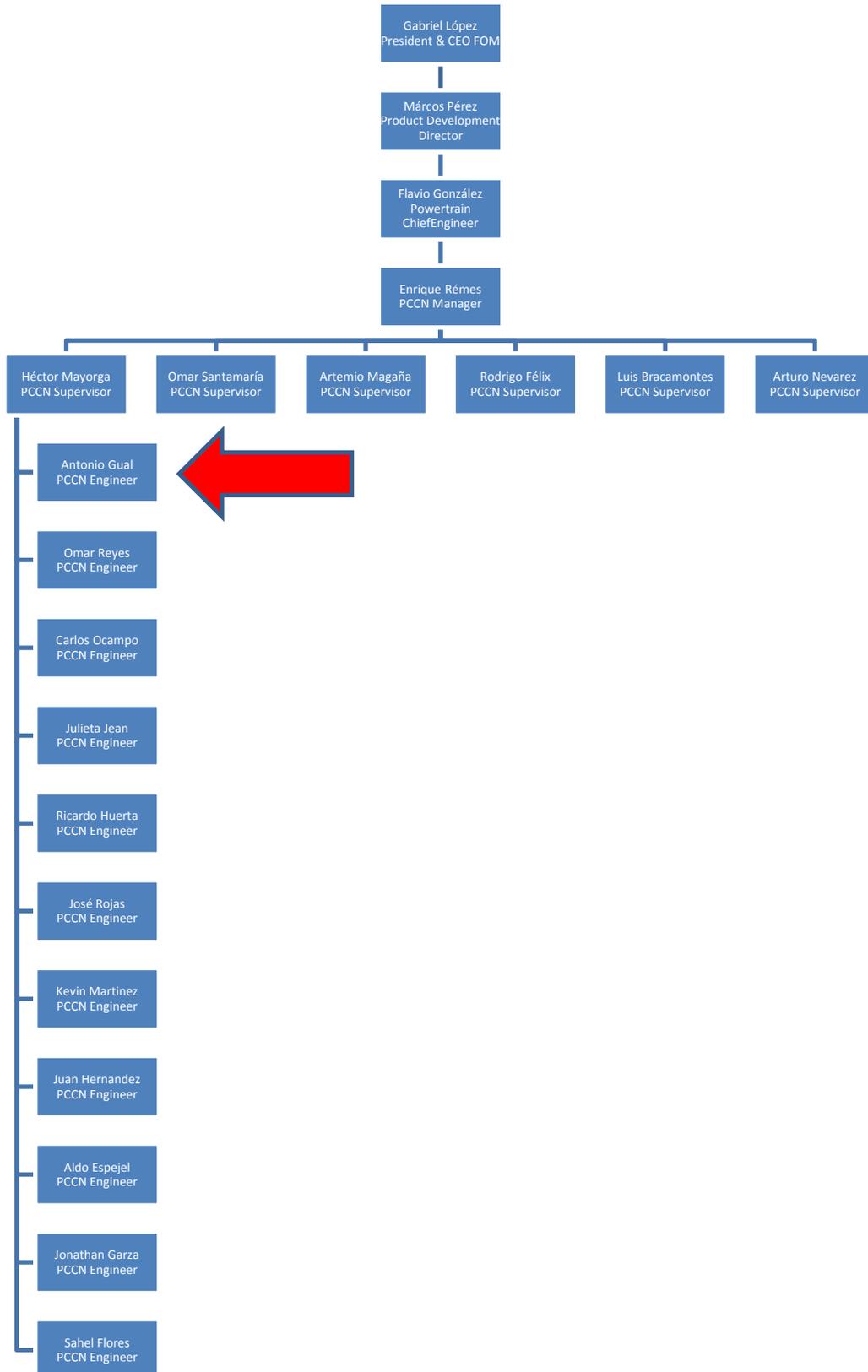
Los vehículos de la compañía marcaron tendencias que hasta hoy siguen presentes. Como lo fue la creación del mercado de SUVs con la Ford Explorer en 1990, vehículos que se convirtieron en un popular sustituto para los sedanes y furgonetas. Así como el vehículo eléctrico Ford Ranger en 1996 el cual contaba con baterías de plomo ácido, frenado regenerativo y 700 lb de carga y que sería el precursor de los vehículos eléctricos y sistemas híbridos actuales <sup>3</sup>.

Alan Mulally tomó el cargo de presidente y CEO de Ford Motor Company en el 2006. Bajo su cargo la compañía enfrentó la crisis del 2008. Sus medidas como líder fueron claves para enfrentar la crisis. Entre ellas destacan la agresiva inversión en el desarrollo del producto en busca de ofrecer los mejores vehículos en el mercado para cuando la economía se recuperará. Así como el plan One Ford el cual imagina a todas las personas de la empresa como parte de un equipo único unidos por una cultura y una meta en común, entregar productos excepcionales <sup>5</sup>.

Como medidas de sostenibilidad Ford incorpora en el 2009 los motores turbo cargados EcoBoost. Los cuales entregan una mejor economía de combustible y potencia que los naturalmente aspirados del mismo tamaño.

Durante el 2014 Mark Fields sucede a Alan Mulally como presidente y CEO. Fields se comprometió en construir un momento alrededor del plan One Ford a través de la excelencia en el producto e instalando el espíritu de la innovación a través de la compañía. De esta iniciativa surge Ford Smart Mobility en el 2016, enfocada en cambiar la forma en que el mundo se mueve, llevando a la compañía al siguiente nivel en conectividad, movilidad, vehículos autónomos, experiencia, recopilación de datos y análisis <sup>5</sup>.

## 4. Organigrama



## 5. Descripción del puesto de trabajo

La plaza que ocupo dentro de Ford Motor Company es como Ingeniero de Calibración de Motor. El Ingeniero de Calibración es responsable de desarrollar, validar y liberar calibraciones de motor para vehículos de pasajero y camiones. Estas calibraciones deben desarrollarse para cualquier nuevo programa que busque oportunidades de reducción de costos o al enfrentar un asunto de calidad en el campo. El ingeniero es responsable de establecer parámetros de ingeniería y diseño para cumplir con los requerimientos corporativos y locales para desarrollo y validación de las calibraciones, considerando las especificaciones de sistemas de diseño (SDS), la lista de atributos requeridos (ARL), y marcas corporativas de confianza. El ingeniero también es responsable de la incorporación y mantenimiento en la planta de ensamblado <sup>6</sup>.

Descripción de responsabilidades:

1. Dirigir la integración de todas las actividades del motor interconectadas con calibración. Por ejemplo: la calibración de características determinantes del vehículo, sistema OBD, ruido, vibración y elementos que afecten la confortabilidad del vehículo, protección de temperatura, economía de combustible, etc. Para asegurar que se cumplen todos los atributos del programa y tren motriz.
2. Dirigir la calibración del motor, ser la interfaz con otras organizaciones y equipos de gestión de proyectos como sea necesario para entregar la calibración cumpliendo o excediendo los atributos del programa y alcanzando las expectativas del cliente.
3. Al comenzar el trabajo de calibración se definirán, con el analista de gestión de programas, planes de verificación de diseño específicos a un programa incluyendo guías y procedimientos necesarios para soportar todas las etapas del programa a tiempo y con calidad.
4. Evaluar información de referencia disponible para el vehículo y el motor.
5. Dirigir cambios como sea necesario para asegurar que se cumplen con requerimientos del programa, la compañía y de regulaciones.
6. Completar planes y revisiones de verificación de diseño para asegurar que todos los entregables de calibración se cumplan.
7. Dar soporte a la oficina de asuntos gubernamentales en todos los elementos relacionados con emisiones y diagnóstico a bordo.
8. Documentar las lecciones aprendidas y asegurar que los procesos contenidos en las guías de calibración sean revisados con el fin de incorporar cambios en beneficio de futuros programas.

9. Preparar documentos de aprobación de programa para soportar eventos clave durante el desarrollo del programa.
10. Soportar procesos corporativos durante y después de la primera construcción de la producción como sea requerido.
11. Asistencia técnica a los proveedores para desarrollar software y hardware.
12. Identificar y coordinar pruebas de validación, durabilidad, y funcionales como sea necesario de acuerdo con las especificaciones de diseño del sistema y de ingeniería.
13. Definir los requerimientos de los prototipos de ingeniería.
14. Conducir el proceso de liberación de la calibración.
15. Proceder acorde de las revisiones de aplazamiento y cancelación del programa si el programa se ve afectado.
16. Implementación y liberación de calibraciones en planta de ensamble y asistencia en problemas de calidad.
17. Soportar revisiones de calidad de los vehículos (VQR), a los equipos de reducción de la variabilidad (VRT) y del producto (PVT) <sup>6</sup>.

Entre mis responsabilidades directas se encuentra el desarrollo de calibración y validación de los monitores siguientes:

1. Monitor para monitoreo de componentes del vehículo (CCM).
2. Sistema de monitoreo de la temperatura del anticongelante del motor y del estado del termostato.
3. Monitor de presión del cárter.
4. Diagnóstico para mantenimiento del filtro de aire.
5. Verificación de diseño para el sistema de OBD (DV).
6. Monitor de confiabilidad del cuerpo de aceleración electrónico.
7. Control del motor de arranque.
8. Sistema de "Auto Start-Stop".
9. Monitor de arranque en frío.
10. Arranque en frío y combustible de calentamiento.

## 6. Antecedentes

### 6.1 Motores ECOBOOST

Como medidas de sostenibilidad en Ford, la compañía ha creado la “Estrategia de CO<sub>2</sub>”. Dentro de esta estrategia ha implementado innovaciones en los motores de su flota. Los motores ECOBOOST con una significativa reducción de tamaño y peso ofrecen un incremento en desempeño, mejoran significativamente el par motor, economía de combustible de manera consistente independientemente del ciclo de manejo y menores emisiones de CO<sub>2</sub> comparado con motores más grandes naturalmente aspirados <sup>7</sup>.



Figura 1. Principales ventajas de los Motores Ecoboost. Eficiencia de combustible, emisiones más bajas y desempeño del motor <sup>7</sup>.

#### 6.1.1 Características clave

##### 6.1.1.2 Turbocompresor

- Permite una mayor potencia en un motor pequeño.
  - Enfoque en su respuesta a bajas velocidades en lugar de a altos picos de potencia.

- Se implementan turbocompresores pequeños con baja inercia capaces de correr a altas velocidades.
- Turbos de baja inercia reducen el retraso en respuesta cuando el cuerpo de admisión está abierto para bajas revoluciones de motor <sup>8</sup>.

### **6.1.1.3 Inyección directa**

- Mejora la eficiencia de la combustión e incrementa la flexibilidad de control.
  - El combustible se inyecta directo en la cámara de combustión a través de inyectores de solenoide dando una orientación y mezcla de combustible precisa.
  - Presiones de inyección altas dan una excelente atomización y mezclado.
  - Inyecciones múltiples por carrera de motor son usadas en algunos puntos de operación para optimizar la economía de combustible, emisiones y estabilidad.
  - La evaporación del combustible en el cilindro enfría la mezcla antes de la combustión reduciendo la tendencia de que la mezcla de aire/combustible no encienda correctamente.
  - Relaciones de compresión más altas mejorando la eficiencia en carga parcial.
  - Elimina la transferencia de la mezcla de combustible de admisión al escape durante la superposición de válvulas mejorando el consumo de combustible y reduciendo las emisiones.
  - Reduce el retraso del turbo (Turbo lag) desventaja tradicional de reducir el tamaño e implementar turbo en los motores <sup>9</sup>.

### **6.1.1.4 Sincronización variable del árbol de levas**

- Incrementa el par del extremo inferior, eficiencia a medio rango y la capacidad de potencia máxima.
  - La sincronización variable permite tanto en la admisión como en el escape gran flexibilidad para optimizar la eficiencia de combustible para optimizar la eficiencia del motor en todas las condiciones.
  - Permite una moderada superposición durante la carga completa para mejorar la respiración y salida con nivel de impulso reducido.
  - Baja superposición en ralentí proporciona estabilidad.
  - Un atraso en la apertura de la válvula de escape en carga parcial mejora la economía de combustible.
  - El mayor beneficio es para bajas velocidades y respuesta, donde la superposición de válvulas puede incrementarse para permitir el efecto de

barrido descarga gases residuales del cilindro aumentando la carga del flujo másico y gas de enfriamiento que reduce la tendencia de que la mezcla de aire/combustible no encienda correctamente <sup>9</sup>.

## **6.2 Agencias gubernamentales de aire limpio**

Las agencias gubernamentales de aire limpio han dado pie al desarrollo de los distintos sistemas de monitoreo fijando reglamentos en cuanto a control de emisiones. Los más importantes se describen a continuación.

### **6.2.1 Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)**

Es una agencia del gobierno federal de los Estados Unidos creada con el propósito de proteger la salud humana y el ambiente estableciendo y haciendo cumplir regulaciones basadas en las leyes aprobadas por el Congreso. El presidente Richard Nixon propuso el establecimiento de la EPA y comenzó a operar el 2 de diciembre de 1970, después de que Nixon firmó una orden ejecutiva. La orden que establecía la EPA fue ratificada por las audiencias del comité en la Cámara y el Senado. La agencia está dirigida por su Administrador, quien es nombrado por el Presidente y aprobado por el Congreso. El actual Administrador es Scott Pruitt.

La EPA tiene su sede en Washington, D.C., oficinas regionales para cada una de las diez regiones de la agencia y 27 laboratorios. La agencia realiza evaluaciones ambientales, investigación y educación. Tiene la responsabilidad de mantener y hacer cumplir las normas nacionales bajo una variedad de leyes ambientales, en consulta con los gobiernos estatales, tribales y locales. Delega algunas responsabilidades de permisos, monitoreo y ejecución a los estados de los Estados Unidos. Los poderes de aplicación de la EPA incluyen multas, sanciones y otras medidas. La agencia también trabaja con industrias y todos los niveles de gobierno en una amplia variedad de programas voluntarios de prevención de contaminación y esfuerzos de conservación de energía <sup>10</sup>.

### **6.2.2 Consejo de Recursos del Aire de California (CARB)**

Este consejo fue establecido en 1967 cuando el gobernador Ronald Reagan firmó el Acto Mulford-Carrel, combinando la Oficina de Saneamiento del Aire y la Junta de Control de Contaminación de Vehículos Motorizados, CARB es un departamento dentro de la Agencia de Protección Ambiental de California <sup>11</sup>.

Los objetivos de CARB incluyen alcanzar y mantener la calidad del aire saludable, proteger al público de la exposición de contaminantes tóxicos en el aire y proporcionar enfoques innovadores que permitan cumplir con las normas y reglamentos de contaminación atmosférica. Entre sus responsabilidades se encuentra el definir estándares de emisiones de los vehículos. California es el único estado permitido en emitir estándares de emisiones bajo la Ley Federal de Aire Limpio, sujetos a renuncia de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Otros estados pueden optar por seguir las normas de CARB o federales, pero no pueden establecer sus propias.

El propósito de este consejo es reducir tanto las emisiones del vehículo como las emisiones del motor al establecer estándares de emisión y otros requerimientos para sistemas de diagnóstico a bordo que sean instalados en vehículos de pasajeros, vehículos ligeros, vehículos de servicio medio y motores certificados para su venta en California años modelo 2004 y subsecuentes. Los sistemas de OBD a través de una computadora a bordo deberán monitorear sistemas de emisión en uso durante la vida útil del vehículo, es decir, el período entero en el que el vehículo será operado en la vía pública hasta el momento en el que el vehículo deje de usarse y deberá ser capaz de monitorear malfuncionamientos de los sistemas de emisión monitoreados iluminando un indicador de malfuncionamiento (MIL) para notificar al operador del vehículo de las fallas detectadas y almacenar códigos de falla identificando las fallas detectadas. El uso y operación de sistemas de OBD asegurará la reducción de emisiones tanto del vehículo como del motor a través de mejoras en durabilidad y desempeño del sistema de emisiones <sup>11</sup>.

CARB revisa las regulaciones de OBDII cada dos años para actualizarlas. Basados en nuevas tecnologías, cambios en los estándares de emisiones, deficiencias observadas durante el uso y solicitudes de la comunidad. CARB da a Ford retroalimentación, sugerencias de mejora durante la certificación que ocurre cada año. Generando una serie de cambios en marcha. Afectando al software, la calibración base del motor y la calibración de OBD <sup>12</sup>.

### 6.2.3 Ciclos de manejo para emisiones

Para evaluar las emisiones de los vehículos y verificar si cumplen con los límites estipulados las agencias gubernamentales de aire limpio crearon ciclos de manejo que son evaluados en un laboratorio de emisiones. Logrando estandarizar los procesos de certificación entre distintas armadoras.

Uno de estos ciclos es el Procedimiento de Prueba Federal (FTP-75), el cual es un procedimiento de prueba establecido por la EPA y se describe como un ciclo de manejo en ciudad. En él ocurren una serie de pruebas con el fin de medir emisiones en el tubo de escape, así como la economía de combustible del programa en evaluación. El procedimiento incluye cuatro pruebas: manejo de ciudad, manejo de carretera, manejo agresivo y una prueba opcional de operación con aire acondicionado <sup>13</sup>. Y cuyo perfil de velocidades se describe en la Figura 2 a continuación:

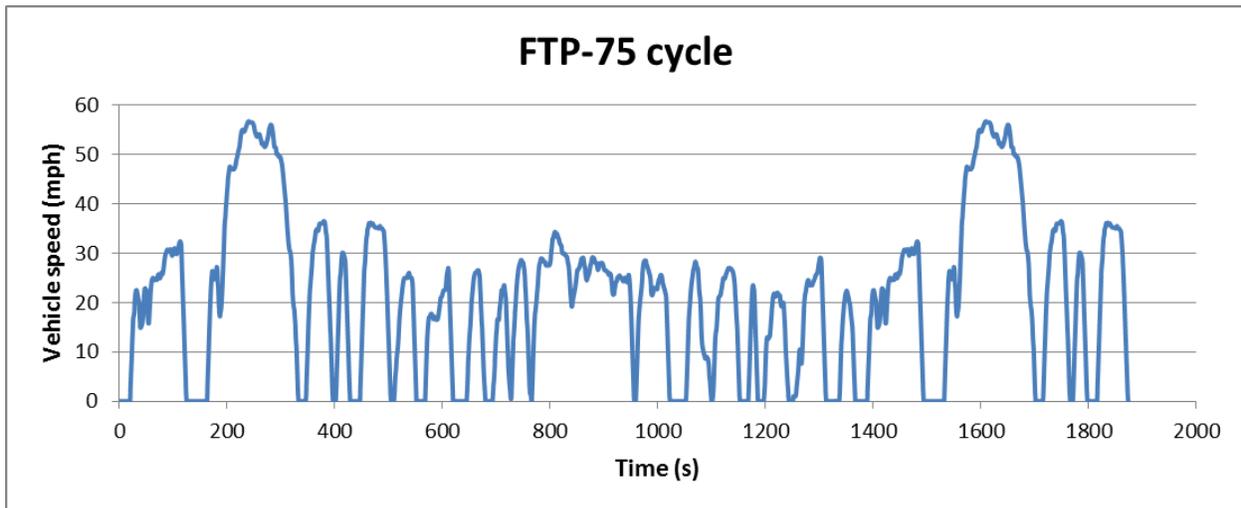


Figura 2. Perfil de velocidad del ciclo estandarizado FTP-75. (Eje X Tiempo transcurrido en el ciclo de manejo en segundos, Eje Y Velocidad de operación en millas por hora) <sup>13</sup>.

Mientras que un ciclo US06 o ciclo de manejo a altas velocidades, fue originalmente desarrollado como complemento al ciclo FTP-75. Este es un ciclo más corto con una duración de 600 segundos y manejos con fuertes aceleraciones <sup>13</sup>. La Figura 3 ilustra el perfil de velocidad de este ciclo de manejo.

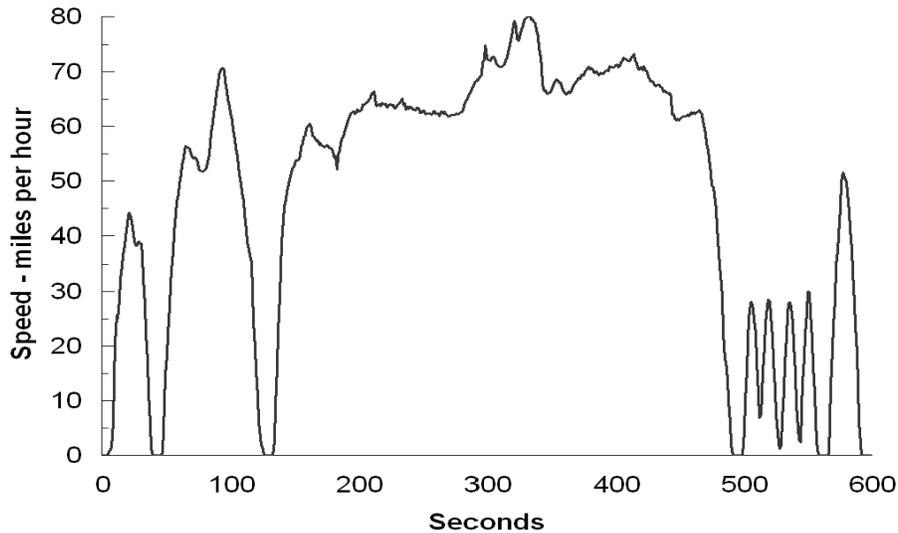


Figura 3. Perfil de velocidad de ciclo estandarizado US06 (Eje X Tiempo transcurrido en el ciclo de manejo en segundos, Eje Y Velocidad de operación en millas por hora) <sup>13</sup>.

### 6.3 Sistema de Diagnóstico a Bordo (OBD)

El sistema de OBD es un sistema en tiempo real a bordo embebido en el módulo de control del tren motriz. El sistema de OBD u OBDII para Estados Unidos monitorea a todos los componentes y sistemas relacionados con emisiones como lo sugieren CARB y EPA. En Europa, la Comisión Europea especifica los requerimientos de diagnóstico para el sistema de diagnóstico europeo (EOBD). Muchos países como China y Australia usan requerimientos de EOBD, sin embargo, otros países como Brasil e India tienen sus propios requerimientos de OBD <sup>14</sup>. En la Tabla 1 se enlistan los monitores de OBD aplicables a cada región. OBDII para Estados Unidos y EOBD para Europa.

**Tabla 1. Monitores aplicables al Sistema de Diagnóstico a Bordo OBDII y EOBD <sup>14</sup>.**

Diagnostico	OBDII	EOBD
Catalizador	Requerido	Requerido
Sistema de combustible	Requerido	Requerido
Sistema de recirculación de gases de escape (EGR)	Requerido	Requerido
CCM	Requerido	Requerido
Sistema de aire secundario	Requerido	Requerido
Sensor de oxígeno	Requerido	Requerido
Sistema de fallo de encendido	Requerido para todo rango de velocidad del motor.	Requerido a partir de 4500 RPM
Monitor de arranque en frío	Requerido	No Requerido
Anticongelante de motor	Requerido	No Requerido
Sistema de emisiones evaporativas	Requerido para fugas de 0.020 mm.	No Requerido
Sincronización variable de levas	Requerido	No Requerido

### **6.3.1 Las regulaciones de OBD y todos los principales mercados**

- OBDII será requerido por todos los vehículos de hasta 14,000 Lb de gasolina y diesel de California.
- El OBD europeo (EOBD) será requerido por vehículos y camiones de gasolina de trabajo ligero. Desde el 1ro de enero de 2003/2004.
- México incorporó en sus regulaciones tanto OBDII como EOBD desde el 2001.
- Japón requiere de JOBD desde el primero de octubre del 2000 para vehículos domésticos y desde el primero de septiembre de 2002 para importaciones.
- Brazil incorpora OBD Br1 desde el 2007 y OBD Br2 desde el año modelo 2010.
- Hong Kong, Corea del Sur, India, Israel, Rumania y Australia requieren OBDII/EOBD.
- Conformidad completa con OBDII es requerida por vehículos de combustibles alternativos. (Etanol, Flex fuel, gas natural, bi-fuel, LPG y CNG) <sup>15</sup>.

### **6.3.2 Estándares SAE**

Son aquellos estipulados por la Sociedad de Ingenieros Automotrices y especifican cómo ciertas funciones de OBDII deben de ser implementadas para todas las armadoras. Estos estándares son los siguientes:

- SAE J1930 especifica términos, definiciones, abreviaciones y acrónimos de sistemas eléctricos/electrónicos.
- SAE J1962 especifica, etiqueta y localiza en el vehículo el link de conexión de diagnóstico.
- SAE J1978 especifica la interfaz para la herramienta de análisis de OBDII.
- SAE J1979 especifica los modos de prueba de la herramienta de análisis.
- SAE J2012 especifica los códigos de diagnóstico de problemas.
- SAE J2186 especifica la seguridad de enlace de datos <sup>15</sup>.

### **6.3.3 Requerimientos generales del sistema de OBDII**

Las agencias gubernamentales de aire limpio regulan las características de un sistema OBDII y estas son las siguientes:

- Si se presenta una falla el sistema de OBDII deberá detectar la falla, almacenar un código de falla pendiente o confirmada en la memoria de la computadora a bordo e iluminar una luz de malfuncionamiento (MIL) en caso de que sea requerido.
- El sistema deberá estar equipado con un conector link de datos estandarizado para permitir el acceso al código de falla almacenado.
- El sistema deberá de estar diseñado para operar sin necesidad de mantenimiento durante la vida útil del vehículo.
- Los parámetros de operación codificados en la computadora del motor no se podrán cambiar sin el uso de procedimientos y herramientas especializadas <sup>14</sup>.

### **6.3.4 Requerimientos de la luz indicadora de malfuncionamiento (MIL)**

La luz indicadora de malfuncionamiento (MIL), es la luz que será visible en el tablero del vehículo cuando se reporta una falla detectada por el sistema de OBDII.

- La MIL no podrá ser utilizada para ningún otro propósito más que el especificado en lo regulado por CARB/EPA. Malfuncionamiento de un componente o sistema relacionado con emisiones.

- Una vez que se presenta una falla, el sistema de OBDII deberá almacenar un código de falla pendiente dentro de diez segundos indicando el área de falla.
- Después de almacenar un código de falla si la falla identificada es detectada de nuevo antes del final del siguiente ciclo de manejo en el que el monitoreo ocurre el MIL deberá iluminarse continuamente y un código de falla confirmado deberá ser almacenado dentro de diez segundos.
  - Dos viajes consecutivos con la falla para OBDII.
  - Tres viajes consecutivos con la falla para EOBD.
- Para años modelo 2004 a 2018, la MIL deberá apagarse después de al menos tres ciclos de manejo secuenciales sin falla subsecuentes a los eventos con falla.<sup>15</sup>

### 6.3.5 Códigos de Diagnóstico de Problemas (DTC)

Los códigos de diagnóstico de problemas (DTC) asignan un número y una descripción a las fallas detectadas por el sistema de OBDII en sistemas o componentes que pueden causar que el tren motriz pierda funcionalidad.

Estas fallas pueden impactar:

- Satisfacción del cliente
- Seguridad
- Manejabilidad
- Economía de combustible
- Emisiones

Con el fin de mitigar los efectos de la falla y posiblemente notificar al cliente usando una luz. La presencia de un DTC permite seguir un procedimiento de diagnóstico por medio del equipo de servicio para reparar la falla y evitar recurrencia. El propósito de OBD es ayudar a un técnico de servicio identificar la causa raíz de un problema.

Existen dos tipos de DTC, estos son continuos y bajo demanda. Los continuos se presentan después de encender el motor mientras que los de bajo demanda se presentan hasta que las condiciones del vehículo alcancen aquellas esperadas por el diagnóstico. Ambos tienen indicadores de advertencia y existen los dirigidos por regulaciones y los no dirigidos.

No todos los malfuncionamientos están relacionados con emisiones. Aquellos que tienen impacto en la manejabilidad o que causan pérdida de funcionalidad para el cliente deben de almacenar un DTC <sup>16</sup>.

Consisten en una letra seguida por 4 números. Asignados por el comité SAE J2012. Las definiciones de los DTC son comunes para todas las armadoras.

Pxxxx Powertain DTC (Tren motriz)

Bxxxx Body DTC (Cuerpo del vehículo)

Cxxxx Chasis DTC (Armazón del vehículo)

Uxxxx Network DTC (Red)

Los DTC requieren ser calibrados (apagados o encendidos) de acuerdo con las necesidades de cada programa. Cada DTC tiene un interruptor asignado, el cual define el número de viajes con la falla requeridos para encender la MIL. El valor requerido se asigna de acuerdo con las regulaciones del programa, así como a la disponibilidad del hardware relacionado.

A su vez cada uno presenta un trabajo de validación distinto de acuerdo con la falla que reporten. Estos deben de ser calibrados adecuadamente para evitar una operación errónea y reporte de una falla cuando no deba hacerlo <sup>14</sup>.

### **6.3.6 Condiciones de monitoreo**

- Los diagnósticos deberán ser diseñados para garantizar las condiciones de monitoreo ocurrirán bajo condiciones razonables esperadas en condiciones normales de operación y uso del vehículo. De tal forma que el monitoreo ocurrirá durante el ciclo FTP.
- Deberá ocurrir por lo menos una vez por ciclo de manejo en donde las condiciones de monitoreo se cumplan.
- Se deberán definir condiciones de monitoreo que aseguren que el monitor produzca relación de desempeño en uso que cumpla o exceda la mínima relación aceptable en vehículos en uso. La mínima relación aceptable es:
  - 0.260 para monitores de sistemas de aire secundarios y monitores relacionados al arranque en frío.
  - Para monitores de emisiones evaporativas 0.26 (fugas de 0.02 en el tanque), 0.520 (purga y fugas de 0.040 in)
  - 0.336 para monitores del catalizador, oxígeno, EGR, VVT.
- Algunos monitores deberán estar monitoreados constantemente por el sistema de OBDII para monitorear la relación de desempeño individualmente como catalizador, sensor de oxígeno, emisiones evaporativas, recirculación de gases de escape, sistema de aire secundario, filtro de partículas, sistema de combustible <sup>17</sup>.

La relación de desempeño es el resultado del cálculo el cual deberá seguir las especificaciones siguientes:

$$\text{Relación de desempeño} = \frac{N \text{ de veces las condiciones de monitoreo se cumplen}}{N \text{ de veces el vehículo ha sido operado}}$$

Numerador, está definido como una medida del número de veces un vehículo se ha operado de tal forma que todas las condiciones de monitoreo requeridas por un monitor en específico para detectar una falla se han presentado. Este valor incrementa por uno y no más de uno por ciclo de operación.

Denominador, está definido como el número de veces el vehículo ha sido operado. Incrementa por uno y no más de una vez por ciclo <sup>17</sup>.

### **6.3.7 Documento de Transmisión de diseño de OBD**

El documento de Transmisión de diseño de OBD refleja los requerimientos de OBD contenidos en el Código de Regulación de California (CCR). Aquí se indica si la calibración del interruptor (SW) de un DTC. Esto para permitir que el vehículo haga un diagnóstico adecuado de su estado y permita al servicio al cliente generar listas de códigos recurrentes usando herramientas automatizadas <sup>18</sup>.

Los ajustes a los DTC SW pueden ser como sigue:

- Apagados, valor en 0 DTC calibrado fuera de la estrategia
- Encendidos, pero sin MIL, valor en 1 DTC es parte de la estrategia, pero su presencia no enciende un MIL.
- Encendidos con MIL, valor en 2 DTC es parte de la estrategia e ilumina el MIL en el segundo ciclo de manejo.
- Encendidos con MIL, valor en 5 DTC es parte de la estrategia e ilumina el MIL en el primer ciclo de manejo.
- Encendidos con MIL, valor en 6 DTC es parte de la estrategia e ilumina el MIL de forma variable de acuerdo con el tiempo de funcionamiento del motor para el primer o segundo ciclo de manejo.
- Encendidos con MIL, valor en 7 DTC es parte de la estrategia e ilumina el MIL en el primer ciclo de manejo y lo apaga en el primero o en el mismo ciclo de manejo.

Este documento concentra tanto lo estipulado por CARB como EPA. Donde, en este caso los vehículos de pasajeros deberán de cumplir con los estándares para emisiones

de escape (NOx, CO y PM), estándares de emisiones evaporativas, reducción de sulfuro en combustibles, pruebas con combustible de distintas volatilidades y alineamiento con los requerimientos de las regulaciones de CARB OBDII.

Identifica los cambios de acuerdo con las regulaciones de cada país o región. Como es el caso de Europa con los requerimientos de EOBD, similar a OBDII, pero con algunas excepciones al fijar las emisiones en estándares distintos. Así como Israel, Rusia, Australia, Japón, Corea del Sur, Canadá, México, Argentina, Brasil, China, India y Consejo de Cooperación del Golfo.

México aceptará vehículos importados y construidos en su territorio certificados por los requerimientos federales de Estados Unidos. Aquellos vehículos sin esta certificación o que tengan una calibración de motor europea o única para México serán puestos a prueba en México. Todos los vehículos hasta 3,856 Kg deberán ser capaces de cumplir estándares mexicanos a 7350 pies de altura, a nivel del mar, a un alto kilometraje y usando el combustible comercializado en el territorio. La certificación de vehículos mayores a 3856 kg podrá llevarse a cabo en las instalaciones de la armadora. Vehículos de pasajeros y camiones diseñados en E.U.A y vendidos en México normalmente tienen calibraciones federales de ese país a menos que se generen calibraciones únicas para México <sup>18</sup>.

México requiere de OBDII o EOBD para vehículos por debajo de 3856 kg. Camiones por arriba de 3856 kg deberán cumplir con OBD para cumplir con los requerimientos mínimos de Ford.

## **6.4 Monitoreo Continuo de Componentes del Vehículo (CCM)**

El sistema de OBDII deberá monitorear el mal funcionamiento de cualquier componente o sistema electrónico del tren motriz a través del Monitoreo Continuo de Componentes (CCM). De aquél que provea una entrada (directa o indirectamente) o reciba comandos de una computadora a bordo o de un dispositivo inteligente y que pueda afectar las emisiones o es usado como parte de la estrategia de diagnóstico de cualquier otro sistema o componente monitoreado <sup>17</sup>.

Componentes de entrada: los componentes de entrada requeridos para ser monitoreados pueden incluir el sensor de velocidad del vehículo, sensor de ángulo del cigüeñal, sensor de combustión incompleta (Knock), sensor de posición del cuerpo de admisión, sensor de posición de leva.

Sistemas/ componentes de salida: los sistemas o componentes de salida que requieren ser diagnosticados pueden incluir el sistema de control de velocidad en ralentí,

componentes eléctricos del turbocompresor, sistemas de precalentamiento del combustible y válvula de derivación para calentamiento del catalizador <sup>15</sup>.

Ford debe determinar si la entrada o salida del componente o sistema del tren motriz puede afectar emisiones cuando opera sin ninguna compensación del sistema de control o ajuste por deterioro o mal funcionamiento. El sistema deberá monitorear un componente o sistema electrónico si las emisiones del vehículo excede un estándar aplicable o generan un incremento en las emisiones del 15% de los ciclos de prueba estandarizados: FTP-75 y US06 <sup>17</sup>.

#### **6.4.1 Criterio de malfuncionamiento**

Componentes de entrada: el sistema de OBDII deberá detectar malfuncionamientos causados por fallas de circuito (de entradas digitales, o de pérdida de comunicación con la computadora a bordo), valores fuera de rango al monitorear que la salida del sensor no sea inapropiadamente alta o baja.

Las fallas de circuito aplicables son:

- Circuito abierto
- Corto circuito a tierra
- Corto circuito a voltaje
- Circuito intermitente
- Bajo voltaje
- Alto voltaje
- Desempeño del circuito

Componentes/sistemas de salida: el sistema deberá detectar cuándo no hay una respuesta correcta a los comandos del módulo de control. Es decir, detectar fallas funcionales que eviten al componente alcanzar una respuesta funcional deseada y requerida para que la estrategia opere en la forma prevista <sup>16</sup>.

Los límites que determinan si un comportamiento está o no dentro de un rango de operación. Estos pueden ser independientes de emisiones para el caso de CCM. Cualquier cambio en estándares hará que el sistema pueda requerir recalibrar los límites. Las pruebas de CCM también corren bajo demanda. En condiciones de interruptor-encendido/motor apagado (KOEO) e interruptor-encendido/motor encendido (KOER) <sup>17</sup>.

#### 6.4.2 Subsistema de monitoreo del anticongelante del motor

Un termostato comienza cerrado durante un arranque en frío debido a que la temperatura del anticongelante está por debajo de la temperatura a la que el termostato comienza a abrir. Un termostato cerrado evita el flujo de anticongelante al radiador, pero permite el flujo hacia el sistema de calefacción. Una vez que la temperatura del anticongelante excede la temperatura a la que el termostato comienza a abrirse, el termostato se abre poco a poco permitiendo el flujo hacia el radiador <sup>19</sup>.

Las características del termostato varían especialmente de acuerdo con el tamaño del motor. Para el motor 1.5 L GTDI las características son las siguientes:

- Temperatura en la que comienza a abrirse o STO por sus siglas en inglés 82 °C.
- Temperatura a la que está completamente o FO por sus siglas en inglés 97 °C.

En la Figura 4 se ejemplifica un termostato similar al del motor de 1.5 L. Este termostato está alojado dentro de una carcasa de plástico debido a que la configuración del sistema de enfriamiento la requiere.



Figura 4. Ejemplo de termostato con alojamiento <sup>20</sup>.

Este subsistema de OBDII deberá monitorear el termostato en vehículos equipados para una adecuada operación. Monitoreando además el sensor de temperatura del anticongelante por continuidad de circuito, valores fuera de rango y fallas de racionalidad. Este monitor ha sido implementado para programas destinados a Ford Norte América a partir de años modelo 2017, lo que implica que su calibración se llevara a cabo desde cero <sup>17</sup>.

El diagnóstico detectará una falla en el termostato sí:

- La temperatura del anticongelante no alcanza la temperatura más alta requerida por el sistema de OBDII para habilitar monitores.
- La temperatura del anticongelante no alcanza una temperatura de calentamiento dentro 11.1 °C de la temperatura reguladora nominal del termostato. La temperatura reguladora o de regulación es el promedio de la temperatura a la que el termostato opera durante las oscilaciones de estado abierto a cerrado tras comenzar a abrirse por primera vez durante un arranque en frío.
- Para años modelo 2019 en adelante el sistema deberá detectar una falla del termostato si después de que la temperatura del anticongelante ha alcanzado la temperatura de operación la temperatura del anticongelante cae por debajo de la temperatura de operación <sup>17</sup>.

Así como en el sensor de temperatura del anticongelante sí:

- Existe discontinuidad de circuito o valores fuera de rango del sensor.
- Tiempo para alcanzar la temperatura para habilitar la operación en lazo cerrado
  - El sistema deberá detectar un mal funcionamiento si el sensor de temperatura no alcanza la temperatura estable mínima requerida por el sistema de control de combustible <sup>17</sup>.

El monitor se enfoca principalmente en dos DTC cuya lógica complementa el comportamiento mecánico de la operación del termostato. Haciendo al sistema capaz de detectar una falla.

#### **6.4.3 Código de diagnóstico de problema P0128**

Este DTC se presenta cuando la temperatura del anticongelante no alcanza la temperatura más alta requerida para habilitar los monitores de OBDII cuya condición de entrada es la temperatura del anticongelante. Esto debido a que el termostato está bloqueado en una posición abierta y le tomará más tiempo al vehículo alcanzar la temperatura para habilitar los monitores. Este retraso hará que los monitores no sean capaces de detectar y que proporcionen una retroalimentación incorrecta al módulo de control. Esto tiene un impacto directo en las emisiones, manejabilidad, rendimiento y calidad del producto <sup>17</sup>.

Los monitores son los siguientes:

- Monitor del Catalizador.
- Monitor de No Combustión.
- Monitor de Combustible Adaptativo.
- Monitor de Imbalance de la Mezcla de Aire y Combustible.
- Monitor de Oxígeno en Gases de Escape.
- Monitor de Presión del Riel de Combustible <sup>18</sup>.

Su condición de entrada deberá calibrarse a la temperatura del límite de malfuncionamiento o por debajo de este. Esto para cumplir con la regulación de que el monitor detectará una falla del termostato que evite que el anticongelante alcance la temperatura usada como condición de entrada para otros diagnósticos. La temperatura calibrada para el límite de falla debe de cumplir dos condiciones:

- No deberá ajustarse intencionalmente en un valor de temperatura muy bajo con el fin de garantizar que el monitor alcance fácilmente la temperatura deseada.
- Se deben de considerar la mínima temperatura del anticongelante requerida por cada monitor de OBDII. Esto con el fin de no calibrar un valor de temperatura por debajo de la mínima temperatura de operación <sup>17</sup>.

La calibración de escritorio del MITA reúne un conjunto de parámetros de calibración necesarios para su adecuada operación. Aquellos relacionados a la composición de pérdida de calor por el ambiente, a la velocidad del vehículo, al sistema de “Auto Start-Stop”, a la compensación de calor por el corte de combustible en eventos de desaceleración, a los relacionados al modelo en estado estable y de activación.

Para calibrar el MITA consideré los siguientes prerequisites:

- La medida de éxito del modelo es obtener una diferencia de temperatura entre el MITA y la temperatura medida por el sensor de temperatura de anticongelante no mayor a 5 °C.
- La calibración del monitor de arranque en frío debe de estar completada.
- Debe existir disponibilidad de cámaras ambientales capaz de controlar la temperatura ambiente desde -6.6 °C hasta 40 °C, un dinamómetro para mantener la velocidad del motor constante y un ventilador que provea viento a la misma velocidad a la que simula el vehículo.
- Todas las pruebas para calibración del monitor deberán correr con la calefacción de vehículo encendida al máximo. Este caso resulta el peor de los escenarios debido a que el anticongelante tardará más en alcanzar la temperatura deseada por transferir calor a la cabina <sup>19</sup>.

#### **6.4.4 Constantes de tiempo**

Las constantes de tiempo son requeridas para caracterizar la respuesta de algunas condiciones de operación del motor que impactan al MITA. Esto lo logran al caracterizar la respuesta de una entrada lineal invariable en el tiempo. Por lo tanto, el modelo debe ser capaz de reconocer operaciones de no adición de calor, es decir: (a) bajas cargas y velocidades de motor, (b) compensaciones por pérdidas generadas por las condiciones del ambiente de operación y (c) la velocidad del vehículo.

El MITA considera un retraso en el tiempo que tarda en transferirse el calor del cilindro, a la cabeza del cilindro, al bloque del motor, al anticongelante y por último al sensor de temperatura. Este retraso se representa en el modelo con una constante de tiempo de motor encendido.

La constante de tiempo para corte de combustible durante eventos de desaceleración del motor representa el tiempo que toma en transferir la temperatura del bloque del motor al sensor. Estas constantes son diferentes a las de un motor que se encuentra apagado. Esto porque el motor sigue corriendo mientras se bombea aire a los cilindros y no la mezcla de aire y combustible, por lo que la tasa de enfriamiento es diferente. Las temperaturas del cilindro durante estos eventos de desaceleración son compensadas en el MITA.

El vehículo cuenta con el sistema de “Auto Start-Stop”, esto quiere decir que durante un ciclo de manejo y si las condiciones necesarias se cumplen el vehículo se detendrá por completo. Para representar esta condición existe el modelo de disipación de calor que considera una constante de tiempo para caracterizar el enfriamiento del perfil y es función de la temperatura ambiente llamada constante de tiempo de motor apagado.

#### **6.4.5 Código de diagnóstico de problema P0125**

Si la temperatura del anticongelante no alcanza la mínima temperatura requerida por el sistema de control de combustible para operar en lazo cerrado en temperaturas ambientes por debajo de los  $-6.67\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Esta condición hace que la inyección de combustible no satisfaga los requerimientos del vehículo, ya que el sistema no alcanza la temperatura para recibir retroalimentación en la inyección. Los parámetros de calibración relacionados a esta parte del diagnóstico consideran: (a) los límites de fallas como cargas y revoluciones por debajo de las que el monitor no añade calor al motor, (b) las condiciones de entrada como mínima temperatura para activar el monitor y (c) las condiciones para completar el monitor <sup>17</sup>.

El plan de calibración determinará la calibración que se tomará como base para el desarrollo del programa y que resulta como un punto de partida para el trabajo de calibración. En algunos casos esto puede significar que de acuerdo con el año del modelo del vehículo y a la versión de la estrategia base la calibración requiera pocos ajustes.

Cada programa es distinto entre sí desde el número de cilindros hasta el tipo de bomba en el sistema. Esto es importante ya que muchas decisiones de calibración dependen de la disponibilidad y características del hardware. La lógica del módulo de control trabaja de acuerdo con los elementos de hardware disponibles en el vehículo por lo que será necesario ajustar los parámetros de calibración para que sean compatibles con el vehículo en cuestión.

#### **6.4.5 Monitores de componentes presentes en el vehículo**

El monitoreo de componentes a bordo está conformado por un extenso conjunto de diagnósticos que se programan y calibran de forma independiente. Cada uno de estos deberá cumplir con una determinada medida de éxito particular a cada diagnóstico que permitirá definir los objetivos para una calibración robusta y para un producto a prueba de error.

Anexo 1. Lista de monitores de componentes presentes en el vehículo.

Cada uno de estos monitores cuenta con una lógica de diagnóstico, parámetros calibrables y DTC. Deberán ser revisados y demostrados.

#### **6.6 Verificación de diseño**

Una vez concluido desarrollo de software y de calibración es importante verificar que ambos funcionen adecuadamente en el vehículo. Esto es independiente del tipo de motor, debe demostrarse en cada programa que se cumple con los requerimientos de diagnóstico que genera cada DTC. Cada uno de los programas tiene características y necesidades distintas influenciadas por variaciones en las opciones de hardware que ofrecen. El que un diagnóstico cumpla en un programa no quiere decir que cumplirá en otro desde cambios en la lógica hasta cambios en el proveedor de determinado hardware.

La verificación de diseño consiste en hacer cambios ya sea físicos o de calibración en el software para obtener un comportamiento deseado y validar que tanto el software como la calibración se comportan como se espera. Una calibración incorrecta puede llevar a:

- Nula detección.
- Falsa detección.
- Rango incorrecto de verificación.

Es importante calibrar los interruptores (SW) que indican la presencia del hardware correspondiente al programa. De esta forma se notifica a la lógica de control la configuración específica del programa. (SW=1 el hardware está presente ó SW=0 sí el hardware no está presente).

Por esta razón se debe seguir una serie de pasos para validar y garantizar que todo diagnóstico funciona como se espera. Cada código de diagnóstico de problema cuenta con una verificación de diseño. Este es un documento que sugiere una serie de pasos para someter al vehículo a una falla en la que el código de diagnóstico de problema se presentará y de no ser así tomar las medidas adecuadas.

Los documentos cuentan con una serie de pasos que permiten también identificar que el código debe de ser parte de la estrategia del diagnóstico:

PxxxxSW = \_\_\_\_\_ NES → No en la estrategia

- 0 → Apagado.
- 1 → DTC sin MIL.
- 2 → 2 o 3 viajes para encender la MIL.
- 5 → 1 viaje para encender la MIL.
- 7 → 1 viaje para encender o apagar la MIL.

De acuerdo con el valor calibrado, se definirá el número de viajes requeridos para encender la luz de malfuncionamiento.

Una vez confirmado que el código es requerido por el programa, así como la severidad del código, se deberá correr una simulación completa desde que se presenta la falla y se genera el código pendiente, se genera la MIL, se remueve la falla y se borra la MIL. En la Tabla 2 se resume las etapas de este procedimiento de simulación.

Tabla 2. Ejemplo de método de simulación para verificación de diseño <sup>19</sup>.

	Continuo Falla		Continuo Sin Falla			KOEO Falla	KOER Falla
	Pendiente o Sin MIL	MIL	Pasa #1	Pasa #2	Pasa #3		
Método de falla							

El diagnóstico deberá ser capaz además de identificar si existe una falla en el sistema durante dos condiciones particulares, antes mencionadas, de interruptor-encendido/motor apagado (KOEO) e interruptor-encendido/motor encendido (KOER). Estos dos procedimientos se llevan a cabo con una herramienta de diagnóstico que durante las condiciones anteriores es capaz de identificar si el sistema tiene una falla.

Dependiendo del código en cuestión, las verificaciones de diseño cuentan con uno o más métodos de falla. Esto quiere decir que diferentes condiciones pueden hacer que el sistema reconozca una falla y cada una de ellas deberá ser demostrada.

Cada código está relacionado con parámetros de calibración, cada uno de estos parámetros será ajustado de acuerdo con las necesidades del diagnóstico y del programa. Estos parámetros son: límites dentro de los que el parámetro monitoreado debe permanecer, número de conteos que permiten una tolerancia en que determinado número de eventos con falla deben presentarse para generar un código, temporizadores que determinan el tiempo en el que un error debe permanecer para ser considerado una falla, entre otros.

Además, los DTC están relacionados con parámetros de adquisición que son aquellos canales que monitorea el módulo de control del tren motriz y que tienen relación con el monitoreo de la lectura de un determinado sensor y los que permiten identificar tanto un comportamiento correcto como un cambio en el comportamiento esperado y por lo tanto determinar si existe una falla en el sistema.

Continuando con la verificación de diseño existen algunos pasos antes, durante y después de la verificación que se deben de cumplir por cada código. Esto con el fin de garantizar que las condiciones necesarias de entrada para que el diagnóstico corra se cumplan. En algunos casos estas condiciones requieren que el vehículo permanezca en reposo por un mínimo de seis horas para que la temperatura del anticongelante se estabilice a la del ambiente. De lo contrario el diagnóstico no contará con la temperatura mínima para correr.

Código de falla pendiente se define como un DTC almacenado a partir de la detección inicial de una falla (típicamente en un primer ciclo de manejo previo al encendido de la luz de malfuncionamiento MIL).

Código de falla confirmado se define como un DTC almacenado cuando el sistema ha confirmado que existe una falla, típicamente en el segundo ciclo de manejo que la falla es detectada. Para códigos MIL la luz indicadora de un malfuncionamiento encenderá.

El vehículo cuenta con alrededor de ochocientos DTC, cada uno de estos códigos debe ser verificado siguiendo el procedimiento antes mencionado. Es decir, se tienen que

simular cada uno de los posibles eventos de falla relacionados con los códigos y de acuerdo con el resultado de la falla hacer los ajustes necesarios.

### **6.6.1 Simulación del sistema de control en lazo cerrado (HIL)**

Verificar el software y la calibración de estos códigos requiere de procedimientos tanto en el vehículo como por simulación del sistema de control en lazo cerrado (Hardware in the loop, HIL).

La simulación del sistema de control en lazo cerrado es una técnica usada en el desarrollo y evaluación en tiempo real de complejos sistemas embebidos. Esta resulta como una efectiva plataforma al agregar la complejidad de la planta bajo control a la plataforma de prueba. La complejidad de la planta bajo control es incluida en la evaluación y desarrollo al agregar una representación matemática de todos los sistemas dinámicos relacionados.

Esta herramienta permite ahorrar mucho trabajo de evaluación e incluso disminuir el número de prototipos. Pero dado que es una herramienta que recientemente fue implementada se ha continuado con la evaluación directa en el vehículo. Pero resulta útil para identificar con anticipación aquellos que puedan tener problemas de software, es decir, que su lógica de funcionamiento no sea adecuada para el hardware en cuestión o incluso errores dentro de la estrategia <sup>21</sup>.

### **6.6.2 Plan de validación**

Para llevar a cabo una óptima validación de los códigos se llevó a cabo un plan de trabajo apegado a las necesidades y prioridades del proyecto, así como a las necesidades de la validación ya sea en altura o a nivel del mar a altas o bajas temperaturas. El programa sigue distintas etapas a lo largo del año las cuales requieren que el proyecto cumpla con un determinado avance entre ellas y que cierto porcentaje de validaciones se haya cumplido y así garantizar que se ha verificado la robustez del mismo en el programa. Se le asignaron distintas prioridades a cada uno de los códigos. Esta prioridad se definió de acuerdo con el impacto que tiene una falsa o no detección, dando prioridad a todos aquellos que requieren se encienda la MIL en caso de falla, seguido por los lo que no encienden la MIL.

### **6.6.3 Viaje de sensibilización de OBD**

En un viaje de sensibilización la calibración de OBD es puesta a prueba con condiciones de la vida real. El viaje cubre la mayoría de las condiciones posibles en las

que el vehículo será manejado como altitud, humedad, clima, tipos de camino, tipos de manejo y calidad de combustible. La información recolectada será analizada para verificar que todos los monitores de OBD se comportan como es esperado.

Debido a la limitada exposición a un nivel de producción y condiciones de manejo del mundo real durante el desarrollo, se requiere una validación final de la calibración de OBD antes de que comience la producción del vehículo. Esta validación consiste en el ejercicio de los monitores de OBD con vehículos cercanos a los prototipos de producción en condiciones en las que el cliente lo haría. Esto deberá incluir tanto condiciones nominales (Michigan) como extremas (Arizona y Colorado). Entonces los monitores serán evaluados por sus capacidades robustas y de su potencial de generar falsos códigos a través de pruebas con hardware limitado y límites de monitores reducidos <sup>22</sup>.

Este procedimiento deberá llevarse a cabo en una fecha temprana para permitir que las mejoras de calibración sean evaluadas e introducidas en la próxima liberación de calibración.

Las locaciones de prueba se escogen de acuerdo al tiempo, duración y condiciones disponibles altitud y clima <sup>22</sup>.

- Dearborn, MI: nivel del mar frío, 15.56 °C.
- Las Vegas, NV: nivel del mar, 26.67 °C.
- Flagstaff, AZ: altura ~2134 m.
- Durango, CO: altitud moderada ~ 1829 m, -1.1 °C a 21.1 °C.
- Dillon, CO: altura ~8000 ft., -1.1 °C a 21.1 °C.
- Denver, CO: altitud moderada ~1524 m, -1.1 °C a “1.1 °C.

## **6.7 Calibración de motor**

La calibración es el diseño y desarrollo de parámetros de control del tren motriz para lograr objetivos de motor, transmisión y vehículo incluyendo:

- Manejabilidad
- NVH
- Economía de combustible
- Desempeño
- Regulatorios
  - Dispositivo de desactivación

- Emisiones de tubo de escape
- Emisiones evaporativas
- Sistema OBD
- Entre otros (Control de clima, eléctrico, chasis, etc.)

Entre los componentes de calibración está el módulo de control del tren motriz (PCM) cuyo proceso es básicamente un lazo cerrado que lee señales de entrada, procesa algoritmos de la estrategia y manda señales de salida. La estrategia de control es un programa y datos requeridos por el módulo de control para operar el vehículo. Donde entra la lógica y los nombres de las variables. Mientras que la calibración es la porción de datos dentro de la estrategia. Los elementos de calibración son escalares, funciones, tablas y matrices. Los escalares identifican un modo de operación, definen la presencia del hardware disponible y establece límites. Las funciones usan una única entrada para determinar una única salida. Las tablas producen una única salida basada en dos entradas. Consiste en un grupo de celdas organizadas en una matriz de renglones y columnas. Y las matrices son un conjunto de celdas cada una identificada por uno o más índices o posiciones que son usados para computaciones. Las matriz, tablas y funciones presentan una salida <sup>23</sup>.

Sensores como el de posición del cigüeñal, de perfil de encendido, de oxígeno, de velocidad del turbo, de transmisión. Entradas de CAN de otros módulos (clima, potencia de la dirección, control del cuerpo). Actuadores como acelerador, persianas de parrilla activas (AGS), árbol de levas, inyectores de combustible, válvula de aire de derivación, solenoide de la transmisión, ignición, válvula de control de movimiento de carga y recirculación de gases de escape.

Cada programa tiene una familia de aplicaciones asignada formada por cada conjunto de características relacionado al programa con una determinada versión aplicable a los requerimientos y necesidades de cada uno. Esta familia de aplicaciones genera un conjunto de direcciones en una librería en código C. Esta librería resulta muy útil para el entendimiento de cada conjunto de características ya que los comandos de lo que ocurre en el módulo de control y por lo tanto en el vehículo tiene su base aquí.

El número de parámetros para un motor de gasolina ha incrementado exponencialmente desde 2004 a la fecha. Este crecimiento se ha visto influenciado principalmente por la reducción en las emisiones de gases de escape, por el incremento en monitores de OBD y por la complejidad del hardware (motores con turbocompresor, inyección directa y convertidores de par) <sup>23</sup>. La Figura 5 ilustra el incremento de parámetros de calibración en los últimos años.

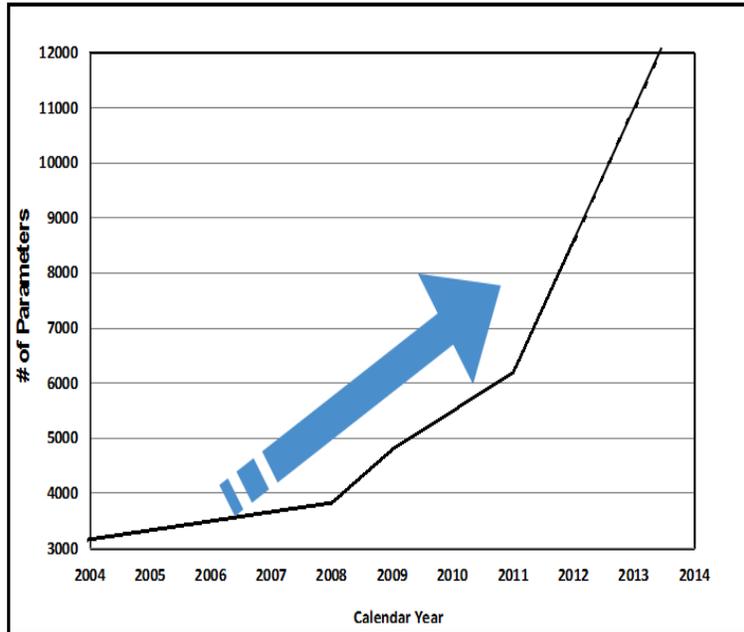


Figura 5. Incremento de parámetros de control de calibración a través de los años. El Eje X muestra los años desde el 2004 hasta el 2014 y el Eje Y el número de parámetros de calibración <sup>23</sup>.

### 6.7.1 Fases de la calibración

Las fases de calibración determinan la evolución del estado de la calibración a lo largo del calendario de desarrollo del producto. Estas fases deberán cumplir con la calendarización estipulada para cumplir en tiempo y forma con los planes de manufactura y venta del vehículo.

1. Fase XM, desarrollo de una calibración inicial para soportar el vehículo prototipo nivel M1 (Modelo 1).
2. Fase M1, funcionalidad idéntica a XM, requiere de la mayoría de la calibración núcleo del tren motriz y que todas las funcionalidades básicas sean completadas en esta fase.
  - Fase Vehículo Prototipo (VP), requerirá de evaluaciones completas tanto de emisiones como OBD para soportar la certificación.
  - Fase de motor de producción, verificación de prueba (TT) <sup>23</sup>.

### 6.7.2 Proceso de calibración

Las entradas determinantes en el proceso de calibración son: (a) las regulaciones gubernamentales (b) expectativas del cliente (c) requerimientos de la compañía, (d) la calibración existente, (e) datos analíticos, (f) sistema global de desarrollo del producto (GPDS), (g) el vehículo con sus sistemas, subsistemas y componentes <sup>24</sup>.

Mientras que las salidas del procedimiento de calibración son: (a) la certificación del vehículo, (b) evitar problemas de garantía, (c) sin dispositivos manipuladores de la operación, (d) que cumpla con la economía de combustible promedio, (e) requerimientos de emisiones y (f) excede las expectativas del cliente <sup>23</sup>.

En un periodo de dos años se harán distintas liberaciones de calibración conforme esta va madurando.

- M10 calibración preliminar para desarrollo en tablero de circuitos
- M1 segura para ser manejada
- M1' segura para evaluación
- M2
- M3
- VP0
- VP2
- VP2'
- VP3
- R00 liberación oficial. A partir de esta ya no hay cambios de potencia, par y emisiones.
- R05 (TT) liberación oficial, en línea con el reporte de validación de diseño.
- R06 (PP) <sup>23</sup>

El calendario determinará cuando es posible tomar los viajes de clima caliente, clima frío, clima cálido, húmedo y de altura requeridos para calibración, desarrollo y validación. En la Figura 6 se ilustra el calendario de calibración con las fases y las etapas de madurez de la calibración. El tiempo de desarrollo es de aproximadamente 2 años 6 meses previos a la fecha de producción.

### **6.7.3 Guías de calibración**

Cada conjunto de características y monitor que es parte del programa en cuestión cuenta con instrucciones que el equipo de calibración toma como base para realizar el procedimiento de calibración adecuado y requerido por cada elemento del motor. Estos documentos son escritos por especialistas técnicos de calibración que a su vez desarrollan algoritmos de monitoreo y dirección de calibración para aplicaciones de gasolina y diésel.

Algunas herramientas de calibración se describen en el Anexo 2.

## 7. Definición del problema

Los estados de operación de un termostato pueden ser abierto y cerrado, dependiendo de si permite el libre paso del anticongelante por el sistema de enfriamiento del vehículo (abierto) o no (cerrado). En un arranque en frío, la temperatura del anticongelante está por debajo de la temperatura a la que el termostato comienza a abrirse. Por esto, el termostato se encuentra cerrado, lo que permite el calentamiento de un menor volumen de anticongelante hasta alcanzar la temperatura a la que el termostato comienza a abrirse. Una vez abierto, el anticongelante circulará por el sistema.

El deterioro o malfuncionamiento del termostato puede bloquearlo en una posición abierta. Este estado permite que el anticongelante circule por el radiador y por el calentador en un arranque en frío. El libre paso del anticongelante en el sistema de enfriamiento hará que el vehículo tarde mucho más en calentarse debido a que el volumen del anticongelante es mucho mayor. Además, el calor es transferido al radiador y a la calefacción, si ésta se encuentra encendida. Por ello, el motor no alcanzará las condiciones ideales de temperatura en el tiempo deseado.

La temperatura del anticongelante es usada como condición de entrada para algunos monitores del sistema OBD. Debido a esto, las agencias gubernamentales de aire limpio requieren de un MITA, con el fin de detectar la condición en la que la temperatura del anticongelante no alcanza la necesaria para habilitar los monitores. Al no habilitarse, no podrán detectar el estado del componente monitoreado y aportarán una retroalimentación incorrecta al módulo de control. Esto resultará en una operación deficiente del sistema, afectando las emisiones, manejabilidad, rendimiento y en la calidad del producto.

El monitor de la temperatura del anticongelante se divide en dos modos de acuerdo con la temperatura ambiente. Cuando el motor arranca en ambientes por arriba de  $-6.67\text{ }^{\circ}\text{C}$  el monitor usa un MITA. Una vez que el modelo excede el límite de finalización, la temperatura medida del anticongelante se compara con el límite de falla. Mientras que si el motor arranca en ambientes por debajo de  $-6.67\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el monitor hará un chequeo de fallas y comenzará a correr un contador hasta alcanzar un límite de tiempo calibrable. Una vez transcurrido el tiempo calibrado, si el sensor de temperatura de anticongelante no alcanza la temperatura estable mínima requerida por el sistema de control de combustible, el monitor reporta una falla.

Como ya se ha mencionado antes, el termostato es un elemento completamente mecánico por lo que el módulo de control del motor no tiene ninguna influencia en su

desempeño. Por esta razón el monitor de temperatura del anticongelante requiere de un MITA para monitorear el estado del termostato. Este modelo deberá ser calibrado para distintas condiciones de temperatura ambiente, tipos de manejo y niveles de calefacción.

A continuación, se resumen algunos puntos relevantes al desarrollo de este documento que son parte de la Guía de Calibración Coolant System Monitor escrita por el Ingeniero Sitaram Rejeti de Ford Motor Company con fecha de última revisión al 03/07/2016.

## **8. Metodología**

La sección anterior tiene como objetivo definir los antecedentes teóricos del trabajo realizado en Ford Motor Company. En esta sección describiré la metodología empleada para la calibración del MITA.

A continuación, enlisto los pasos que seguí para el desarrollo de la calibración para un motor de 1.5 L GTDI.

1. Se identificaron los elementos de hardware disponibles en el programa. Las especificaciones de componentes de las consulté con el Ingeniero D&R encargado del diseño y liberación del sistema de enfriamiento del vehículo.

Un elemento importante para este monitor es el termostato y sus características térmicas. Por esta razón una vez que identifiqué el termostato aplicable al programa ordené dos termostatos extra necesarios para la calibración y validación del diagnóstico del termostato. Modifiqué cada una de estas partes de acuerdo con las condiciones de falla posibles. Un termostato bloqueado en una posición abierta, otro con fuga en el límite superior de acuerdo con las especificaciones y uno completamente funcional. En la Figura 7 se muestra un termostato bloqueado en la posición abierta. Para bloquearlo se soldó un cilindro metálico que impide que el termostato regrese a su posición original.



Figura 6. Termostato bloqueado en una posición abierta<sup>25</sup>.

2. Revisé el plan de calibración para el motor 1.5 L GTDI. Determinando la calibración que se tomará como base para el desarrollo del programa.

Creé una lista con todos los parámetros relacionados al monitor, identifiqué el valor propuesto de cada parámetro en su respectiva dirección de calibración. Ya sea de la calibración base, de la lista de parámetros comunes de monitoreo de componentes, de la lista de transmisión de diseño del sistema OBD o de la misma guía de calibración.

3. Para comenzar con el procedimiento de calibración identifiqué en el documento de transmisión de diseño de OBD todos los monitores relacionados a emisiones cuya condición de entrada es la temperatura del anticongelante.

4. En la herramienta de software de calibración VISON ATI (Anexo 3) preparé una grabadora para recopilar los datos de interés durante las pruebas. Algunos de los datos incluidos fueron:

Temperatura de la cabeza del cilindro, temperatura del anticongelante, temperatura ambiente, velocidad del vehículo, carga del motor, velocidad del motor, velocidad de la bomba de anticongelante, bandera de encendido de marcha del motor, tiempo de encendido del vehículo, estado de encendido de los inyectores, tiempo de apagado del motor, bandera para identificar que la temperatura del anticongelante alcanzó una temperatura deseada y velocidad de la bomba de agua.

5. Para determinar la temperatura a la que se deberá completar el monitor o de regulación realicé lo siguiente:

Asigné un valor temporal tomando la temperatura a la que comienza abrir el termostato (82 °C) más 8 °C. Para proponer un valor más apegado a las condiciones del programa con una mayor separación entre la temperatura a la que el monitor detecta un

termostato bloqueado y a la que determina si existe o no una falla. En un vehículo con un termostato funcional realicé un conjunto de arranques en frío en donde observé el comportamiento del perfil de calentamiento de la temperatura del anticongelante.

6. Calibré el límite de cargas y revoluciones máximas por debajo de las cuales el motor es incapaz de incrementar la temperatura del anticongelante hasta la temperatura de regulación. Para identificar las bajas cargas y revoluciones del motor a las que se observa un incremento substancial del anticongelante realicé lo siguiente:

Dejé reposar el vehículo con el motor apagado hasta que la temperatura del anticongelante se estabilizó al ambiente con el fin de hacer un arranque en frío. En una cámara de temperatura controlada y constante arranqué el motor y operé el vehículo en un dinamómetro a cargas constantes comenzando en ralentí.

Manteniendo las revoluciones constantes repetí el procedimiento anterior incrementando la carga poco a poco hasta que observé un incremento substancial en la temperatura del anticongelante y anoté la carga. Luego mantuve las cargas constantes e incrementé las revoluciones poco a poco hasta de nuevo encontrar un incremento substancial en la temperatura. Todo este procedimiento lo repetí para varias condiciones ambiente frío, medio y caliente. (-6.7 °C, 21 °C y 38 °C.) Tabulé las cargas y revoluciones que no transfieren calor en las diferentes condiciones ambiente. La duración de cada uno de estos procedimientos dependió de la temperatura ambiente de operación. Para ambientes fríos (menores a 10°C) la temperatura del anticongelante tardó más en calentarse mientras que para ambientes más calientes (mayores a 21°C) le tomó menos tiempo.

7. Identifiqué la dirección de calibración de los parámetros relacionados al monitor de tiempo para operar en lazo cerrado. Validé este diagnóstico obteniendo datos en las siguientes locaciones:

- Laboratorio Climático de la Base Militar de Eglin, Florida. Obtuve eventos de arranques en frío en un ambiente controlado a temperaturas ambiente por debajo de los -6.67 °C.
- Dearborn, Michigan. Obtuve eventos de arranques en frío y manejo a distintas velocidades en un ambiente por debajo de los -6.67 °C.

Evalué la evidencia de arranques en frío obtenidos.

8. Para la calibración del MITA realicé arranques en frío en estado estable para tres diferentes puntos de carga y revoluciones en tres ambientes diferentes: fríos (-6.7 °C),

medio (21°C) y caliente (38 °C). Durante los calentamientos mantuve la velocidad del motor constante mientras forcé tres cargas diferentes una después de la otra, cada una por una tercera parte del perfil de calentamiento de la temperatura real del anticongelante. Este punto se resume en la Tabla 3 a continuación:

**Tabla 3. Pruebas en estado estacionario de temperatura ambiente y temperatura del anticongelante<sup>19</sup>.**

Temperatura a la que se completa el monitor	87.8			°C
Temperatura Ambiente (°C)	Carga #1	Carga #2	Carga #3	
	Cambio de carga cuando la temperatura de ECT cambie a (°C)			
-6.7	25	56	87.8	
21	43	66	87.8	
38	54	71	87.8	

Para cada ambiente corrí a tres velocidades de motor diferentes combinando cada velocidad con tres cargas diferentes. De esta forma generé muestras en estado estable de nueve combinaciones de velocidad y carga por cada temperatura ambiente. Como se resume en la Tabla 4 siguiente:

**Tabla 4. Pruebas en estado estacionario de velocidad y carga del motor<sup>19</sup>.**

Ambiente	Condiciones de operación del motor	Carga		
°F (°C)	RPM	#1	#2	#3
20 (-6.7)	2300-3000	0.3	0.5	0.8
	Idle-1000	0.3	0.5	0.8
	1200-2000	0.3	0.5	0.8
70 (21)	2300-3000	0.3	0.5	0.8
	Idle-1000	0.3	0.5	0.8
	1200-2000	0.3	0.5	0.8
100 (38)	2300-3000	0.3	0.5	0.8
	Idle-1000	0.3	0.5	0.8
	1200-2000	0.3	0.5	0.8

La temperatura del anticongelante puede subir muy rápido dependiendo principalmente del conjunto de condiciones a las que esté sometido el vehículo. Por esto fue indispensable alcanzar las condiciones de prueba deseadas lo más rápido posible. Para lograrlo, antes de correr cualquier prueba y con el fin de obtener la mayor cantidad de datos útiles realicé un mapeo del motor en el dinamómetro e identifiqué cuáles eran las combinaciones de velocidad (RPM) y engranaje que me darían las cargas del motor deseadas y recopilé esta información en la Tabla 5.

Tabla 5. ejemplo de mapeo en motor 1.5 L GTDI

APP_Theta 4 specific load @ 2nd Gear										
Y \ X	700	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4500	5500	6500
0.12		0	0	0	0.4	0.4	0.4	0.4	0	
0.15		0.4	0.4	0.43	0.5	0.62	0.72	0.7	0.45	
0.2		0.6	0.65	0.9	1.2	1.65	1.8	1.9	1.9	
0.3		1	1.15	1.42	1.82	2	2.17	2.26	2.5	
0.4		1.4	1.6	1.9	2.1	2.4	2.6	2.6	2.8	
0.5		1.84	2	2.2	2.5	2.62	3	2.9	3.2	
0.6		8	2.43	2.6	2.76	3.2	3.24	3.2	3.7	
0.65			2.5	2.9	2.95	3.3	3.35	3.4	3.8	
0.8			3.2	3.4	3.7	3.9	4.1	4.3	4.3	
1			10	4.3	4.7	4.5	4.9	5.1	5	
1.25				6.7	8	5.15	5.4	5.3	5.2	
1.4						8	8	8		
1.5										
1.75										
1.8										
Km/hr		13	19	26	32	39	45	57	70	83

El procedimiento de adquisición de datos fue el siguiente:

Dejé enfriar el vehículo en las condiciones ambiente requeridas por la prueba. Coloqué la palanca de la transmisión en Neutral con el motor apagado, encendí el interruptor de encendido y ajusté la calefacción en el máximo nivel sin encender el motor. Encendí y ajusté el dinamómetro a la velocidad requerida. Preparé la grabadora para recopilar datos, arranqué el motor y cambié la transmisión a Drive sin pisar el freno. Comandé el pedal de aceleración hasta obtener las cargas deseadas cambiando la demanda de pedal una vez que alcancé un tercio de la temperatura total de calentamiento del perfil de temperatura.

9. Para estimar la constante de tiempo de motor encendido corrí el motor hasta que alcanzó una temperatura de calentamiento, apagué el motor y lo dejé enfriar a temperatura ambiente, encendí el motor y corrí en ralentí hasta alcanzar la temperatura de regulación del termostato, grabé la temperatura del anticongelante del motor y repetí este proceso para diferentes condiciones de manejo, velocidades y ciclos FTP-75 y US06. Utilicé estos mismos arranques para calibrar el valor de la constante de tiempo de motor apagado requerida para eventos del sistema de “Auto Start-Stop”.

10. Ajusté las tablas de compensaciones por ambiente y velocidad del vehículo al mejor modelo de acuerdo con las condiciones de cada muestra. El flujo del aire del ambiente a través del bloque del motor representa una pérdida de calor.

11. Una vez que definí la propuesta de calibración del MITA validé el monitor.

Para garantizar la robustez de la propuesta utilicé un software de validación en MATLAB con el que ajusté la calibración de escritorio y posteriormente validé el modelo en el vehículo. Esta herramienta me permitió abrir y guardar nuevas propuestas de calibración, abrir archivos para validación, así como proponer cambios y validarlos de inmediato.

La validación que corrí en el vehículo requirió de los ciclos de manejo mostrados en la Tabla 6. La diferencia con el procedimiento anterior es que para fines de validación mantuve la carga constante durante toda la prueba.

**Tabla 6. Ciclos de manejo para validación del perfil del MITA<sup>19</sup>.**

Archivos de datos	Temperatura ambiente en el arranque	Temperatura del anticongelante en el arranque	Carga en el motor
1	18 a 24 °C	Dentro de 5°C del ambiente	0.3 a 0.45
2			0.45 a 0.6
3			0.6 a 0.7
4		Límite de malfuncionamiento 20°C	0.3 a 0.45
5			0.45 a 0.6
6			0.6 a 0.7
7	4 a 10 °C	Dentro de 5°C del ambiente	0.3 a 0.45
8			0.45 a 0.6
9			0.6 a 0.7
10		Límite de malfuncionamiento 20°C	0.3 a 0.45
11			0.45 a 0.6
12			0.6 a 0.7
13	-7 a -4 °C	Dentro de 5°C del ambiente	0.3 a 0.45
14			0.45 a 0.6
15			0.6 a 0.7
16		Límite de malfuncionamiento 20°C	0.3 a 0.45
17			0.45 a 0.6
18			0.6 a 0.7

Para esta validación ocupé un vehículo con un termostato en el límite superior de fuga especificado, con la calibración de escritorio obtenida con el software de regresión, contante de tiempo y validación. Para los ciclos de manejo arranqué el vehículo partiendo de un arranque en frío, luego realicé aceleraciones comandando medio pedal, desaceleraciones y terminé manteniendo el vehículo en ralentí.

Demostre la habilidad del monitor de completarse y de detectar un termostato bloqueado en una posición abierta en un ciclo FTP-75 y en las calles. Para la demostración en las calles seguí una ruta previamente definida donde sometí al vehículo a distintos modos de manejo. Esta misma ruta la cubrí tanto en temperaturas por arriba como por debajo de  $-6.67\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Al final de cada una de estas pruebas confirmé que el vehículo tomara una decisión.

12. Continué con la verificación para comprobar la robustez del monitor. Para esto instalé un termostato con fuga en el límite superior de especificaciones y lo sometí a la mayor cantidad de condiciones de manejo posibles ya sea en la pista de pruebas, en manejos de mi casa a la planta y viceversa o en viajes de calibración a Acapulco. Incluso parte de la validación la llevé a cabo en el viaje de sensibilización del sistema OBD.

## 9. Resultados

La siguiente sección muestra los resultados del proceso de calibración del motor 1.5 L GTDI.

### a) Identificación de elementos de hardware:

Identifiqué los elementos de hardware aplicables al programa. Por ejemplo, fue esencial confirmar si el programa cuenta con un sensor de temperatura de la cabeza del cilindro (CHT). La lógica del MITA espera recibir la lectura del sensor y si no se cuenta con el sensor la lectura será errónea impactando en la estimación del modelo. Asigné un valor de SW=0 al interruptor de hardware presente ya que el programa no cuenta con el sensor.

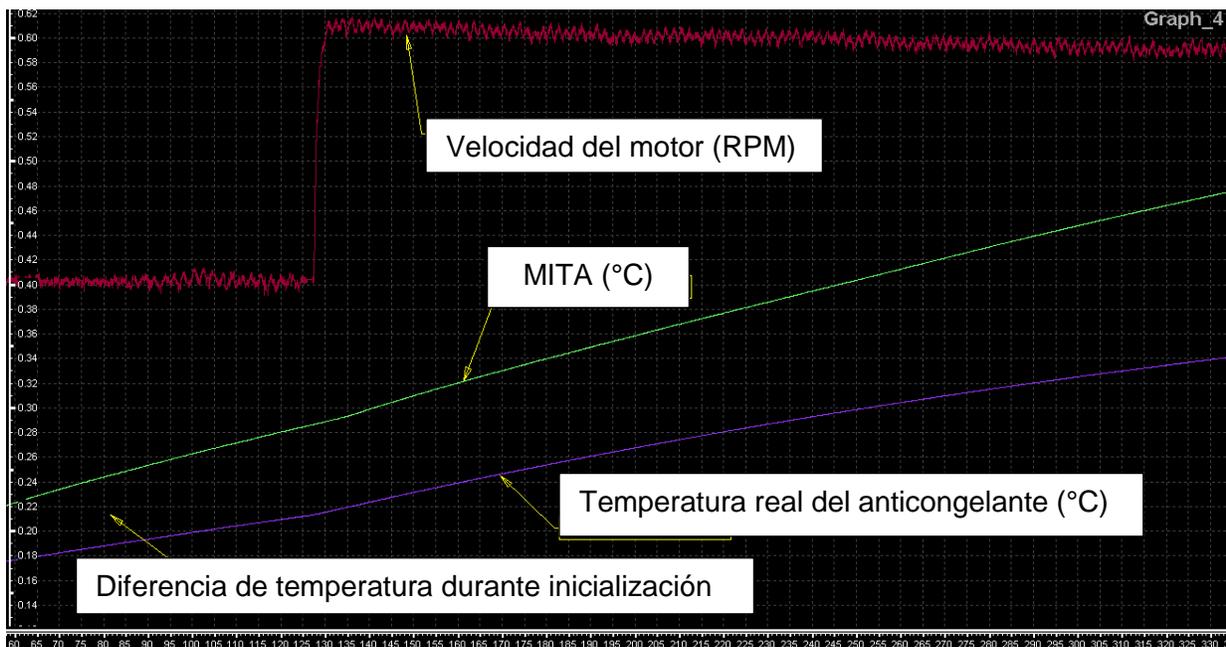


Figura 7. Error de temperatura durante inicialización del modelo con velocidad del motor, temperatura inferida del anticongelante, temperatura real del anticongelante. Eje X Tiempo, Eje Y Carga.

En la Figura 8 observé que el impacto de suponer incorrectamente la presencia del sensor afecta notablemente el comportamiento del modelo. Principalmente durante la inicialización al estimar una temperatura inicial incorrecta. Este error evitará estimar correctamente la temperatura del anticongelante, afectará el modelado del perfil y al iniciar con una temperatura mayor a la inicial haciendo al modelo susceptible a suponer fallas al alcanzar antes que la temperatura real la temperatura deseada de operación por arriba de los 72 °C.

b) Propuesta de valores calibración previo a pruebas en el vehículo:

Identifiqué el valor propuesto para cada parámetro de control y su respectiva dirección. Con esto desarrollé una propuesta de calibración inicial. Esta calibración inicial la conocemos como “de escritorio” debido a que no se ha puesto a prueba en el vehículo. Con ella identifiqué la influencia de cada uno de los parámetros relacionados, sus necesidades de calibración, así como asignar un valor inicial adecuado de acuerdo con las necesidades del programa. En la Tabla 7 muestro un ejemplo de la calibración de escritorio. En ella se incluye el nombre del parámetro de calibración, una breve descripción del parámetro, la herramienta de calibración que sugiere el procedimiento de calibración a seguir y los valores identificados para cada uno.

c) Límites de falla:

Asigné al límite de falla un valor de 11 °C por debajo de la temperatura de regulación. Su valor es funcional y no está basado en emisiones con el fin de que el monitor detecte una falla en el termostato que evite que la temperatura del anticongelante alcance una temperatura dentro de 11 °C de la temperatura de regulación. Esta temperatura es de 71.1 °C. Este límite es aplicable para temperaturas ambiente por arriba de -6.67 °C. Es decir, si el vehículo opera por arriba de estas temperaturas deberá alcanzar una temperatura mayor a este límite para concluir que el termostato opera sin falla. En la Figura 9 se muestra cómo se ve la temperatura real del anticongelante de un termostato funcional se ve con respecto al límite de falla. Aquí observé que se espera que la temperatura real de operación siempre se encuentre por arriba del límite de falla.

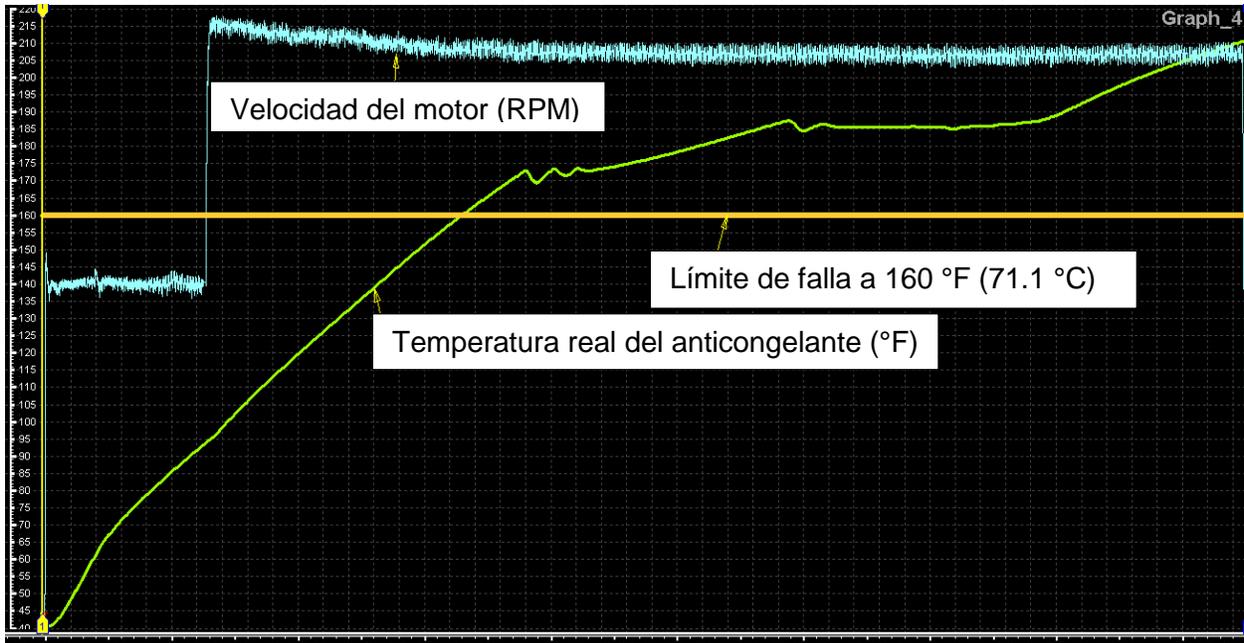
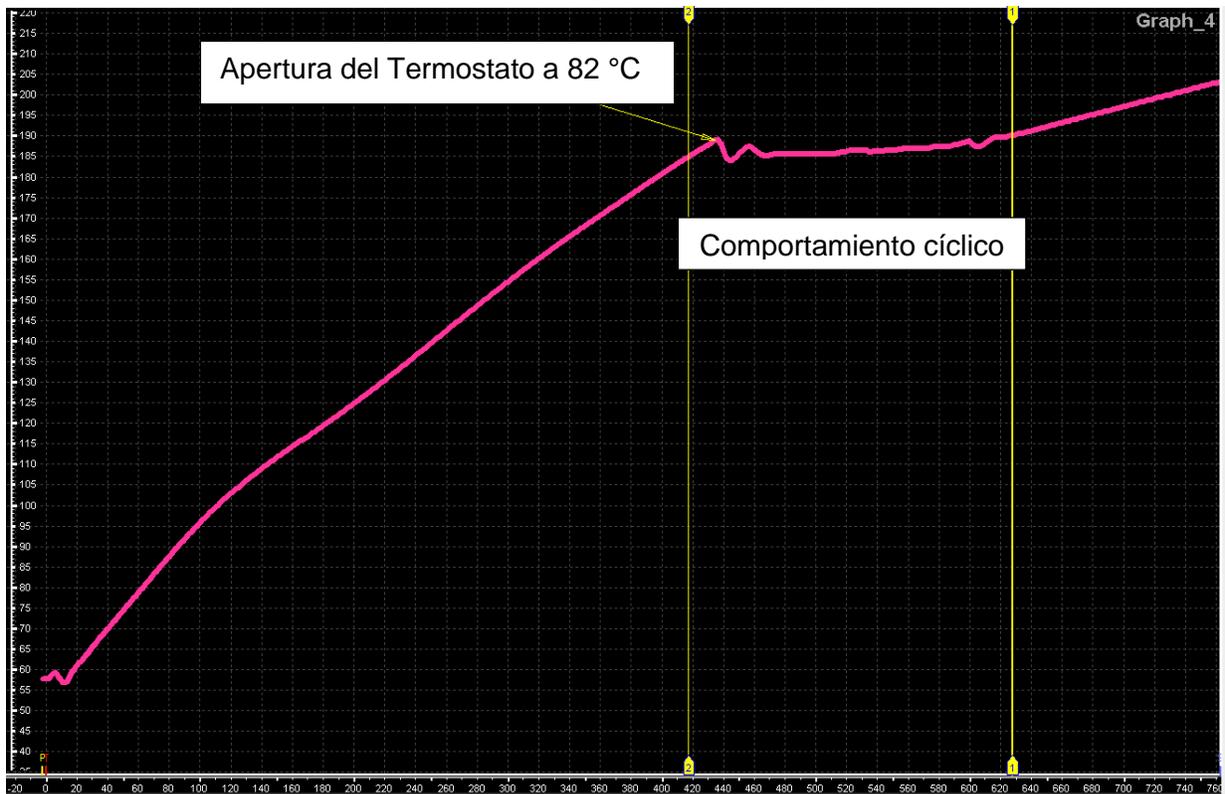


Figura 8. Ejemplo del perfil de calentamiento del anticongelante con un termostato funcional operando por arriba del límite de falla a un ambiente de 4 °C. Eje X Tiempo en segundos y Eje Y Temperatura en °F.

d) Temperatura de regulación

Para definir la temperatura de regulación del termostato observé que una vez que el termostato abre por primera vez, alrededor de una temperatura de 82 °C la temperatura del anticongelante comienza a comportarse de una manera cíclica, lo que inferí como consecuencia del estado del termostato, ya que cuando este comienza a abrirse el flujo de anticongelante hace que se enfríe de nuevo y vuelva a comenzar a cerrarse y la temperatura del anticongelante comienza incrementar de nuevo y por lo tanto comenzó a abrirse de nuevo. Observé la temperatura del anticongelante por varios de estos ciclos a distintas temperaturas ambiente de -6.7 °C, 21 °C y 38 °C y obtuve el valor promedio de las temperaturas a la que oscila el termostato al comenzar a abrirse. En la Figura 10 muestro uno de estos perfiles en donde se ejemplifica el comportamiento cíclico de la temperatura entre los 82 °C y 86 °C tras la apertura del termostato.



**Figura 9. Ejemplo de comportamiento cíclico del perfil de calentamiento del anticongelante durante la apertura del termostato a un ambiente de -5 °C. Eje X Tiempo en segundos y Eje Y Temperatura en °F.**

En el ejemplo mostrado en la Figura 10 el valor promedio de la oscilación de temperatura es de 85 °C. Tras analizar distintos perfiles asigné un valor promedio de 82°C como la temperatura a la que el termostato se regula y con la que el monitor será considerado como completado. Esto quiere decir que la temperatura quedará dentro de los rangos de operación del termostato donde será posible identificar una falla de operación. Valor congruente con lo identificado en las especificaciones del termostato. El MITA deberá alcanzar la temperatura de regulación del termostato, pero no sobrepasarla ya que si lo hace el diagnóstico no definirá si existe o no una falla. El modelo debe tender a la temperatura de regulación más una compensación porque una vez que el termostato se abre el modelo es inválido.

#### e) Cargas y revoluciones de no adición de calor

El modelo debe ser capaz de reconocer cuando el motor está siendo operado a cargas y revoluciones que no transfieren calor al anticongelante para el momento que el MITA alcanza el límite de malfuncionamiento de tal forma que no reporte falsos códigos de falla. Al ajustar el límite de no adición de calor el modelo usará esta información para incrementar el temporizador de ralenti en el motor y posponer la evaluación del estado del termostato cuando sea necesario. Cuando el MITA es lo suficientemente alto para

tomar una decisión y el vehículo ha pasado la mayor cantidad del tiempo en ralentí o en una carga que no trasfiere el calor suficiente al anticongelante el modelo no decidirá si existe o no una falla.

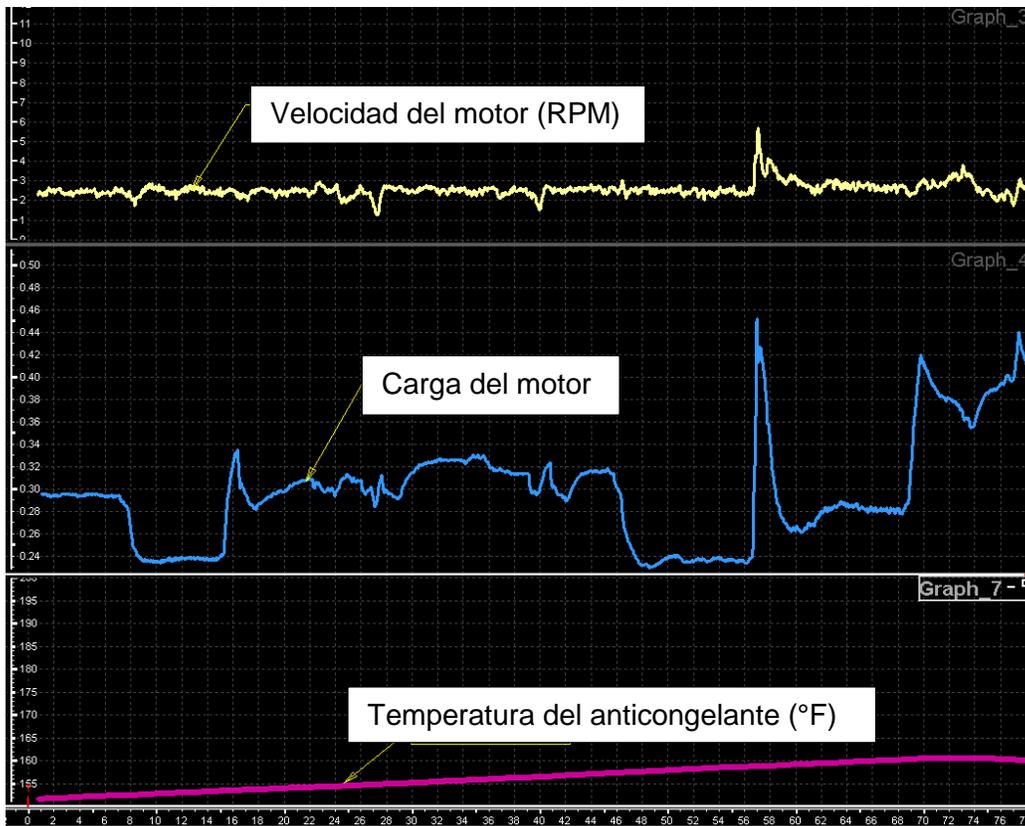


Figura 10. Ejemplo de vehículo en ralentí, condición de no adición de calor a un ambiente de 18°C. Con velocidad del motor, carga y temperatura del anticongelante. Eje X Tiempo en segundos y Eje Y Con Carga y Temperatura °F.

En la Figura 11 pude identificar los rangos de carga y velocidad del motor a los que se encuentra un vehículo que opera en ralentí y donde la transferencia de calor a la temperatura del anticongelante es despreciable. En la figura se puede identificar cómo el incremento de la temperatura del anticongelante es muy bajo a esos niveles de carga y velocidad. En promedio la velocidad oscila entre las 864 RPM y 900 RPM mientras que la carga entre los 0.285 y 0.3.

En la Tabla 9 resumí las condiciones del motor a diferentes temperaturas ambiente. El comportamiento del motor será diferente entre un ambiente muy frío y uno caliente. Noté que esto se debe a que existe un incremento en la velocidad en ralentí en ambientes fríos para aumentar más rápido la temperatura del motor y evitar que se apague. La velocidad se ve más afectada a bajas temperaturas y por lo tanto el límite de velocidad es más alto.

**Tabla 7. Límite de RPM de no adición de calor**

Temperatura ambiente °C	Límite de RPM por arriba del que el motor está generando calor
-40	1500
-30	1300
-20	1200
-6.65	1100
5	900
20	900
40	900

Identifiqué lo mismo para las cargas a las que opera el motor, estas incrementan a bajas temperaturas. Por las condiciones ambiente hay un incremento necesario para cumplir con la operación deseada del vehículo y el límite incrementa. De esta forma el modelo será capaz de detectar condiciones de no transferencia de calor, condiciones que se acentúan en ambientes extremos. En la Tabla 10 resumí los límites de carga.

**Tabla 8. Límite de carga de no adición de calor**

Temperatura ambiente °C	Límite de carga por arriba del que el motor está generando calor
-40	0.5
-30	0.45
-20	0.4
-6.65	0.3
5	0.3
20	0.3
40	0.3

La evidencia de arranques en frío hechos en el Laboratorio Climático de la Base Militar de Eglin así como de manejos hechos en Dearborn me permitió evaluar la operación del diagnóstico en condiciones de temperatura ambiente por debajo de los -6.67 °C.

Estos arranques fueron útiles para ajustar los límites de no adición de calor, así como observar perfiles de calentamiento a estas condiciones con un termostato funcional. El laboratorio climático permite manejar en velocidades por debajo de los 20 Km/hr y junto

con el ambiente frío el anticongelante incrementará su temperatura muy lentamente. Esta condición la muestro en la Figura 12 en donde se observa que el tiempo para que el anticongelante alcance una mínima temperatura de operación de 75 °C es de más de 5 minutos. El MITA deberá ser capaz de reconocer esta condición ya que de lo contrario podría detectar incorrectamente una falla en el termostato.

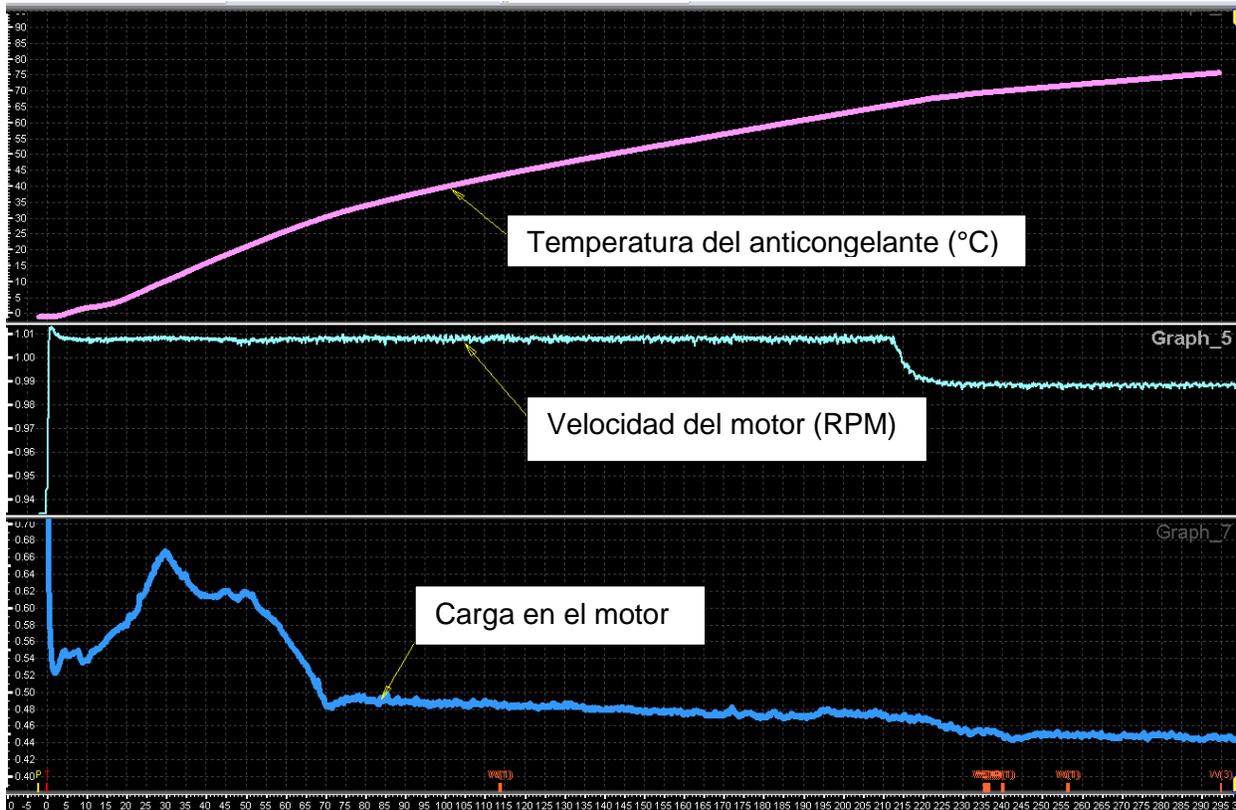


Figura 11. Ejemplo de manejo a bajas velocidades en el laboratorio climático a un ambiente de -7 °C. Con temperatura del anticongelante, velocidad del motor y carga. Eje X Tiempo en segundos y Eje Y Temperatura en °C, Velocidad en RPM y Carga.

#### f) Software de regresión

Utilicé el software de regresión para analizar todos los arranques generados para calibrar el MITA. Para hacer el cálculo introduje en el software valores de entrada conocidos como la temperatura a la que comienza abrir el termostato (82 °C) y un evento de calentamiento del anticongelante. Con esta herramienta generé una aproximación de valores a la tabla de la función forzada para el cálculo del modelo. Esta función es la que tiene mayor relevancia en el comportamiento del MITA.

En la Figura 13 muestro el ejemplo de la interface del software de regresión donde se puede observar los elementos de entrada como temperaturas de operación y los elementos de salida en XXX. Esta interface resultó muy útil para hacer una propuesta inicial a la calibración del modelo, pero no la final. Este software, como todos los

softwares para calibración del MITA tienen la desventaja de que sólo pueden evaluar un evento a la vez.

La función forzada caracteriza la temperatura del anticongelante a una determinada carga y velocidad del motor. Por esta razón operé el vehículo a un amplio rango de condiciones de carga y velocidad con el fin de aproximarme a todas las operaciones posibles y con esto proponer una calibración del modelo de temperatura lo más cercano a las condiciones reales de temperatura.

En las Figuras 14 y 15 muestro distintos perfiles de calentamiento de la temperatura del anticongelante para diferentes condiciones de temperatura ambiente y manejo. Estos perfiles fueron utilizados en el software de regresión antes mencionado para obtener una propuesta inicial de calibración. En estos perfiles identifiqué la influencia del tipo de manejo en el incremento de la temperatura. La temperatura incrementa mucho más rápido en un manejo más agresivo que en un más suave.

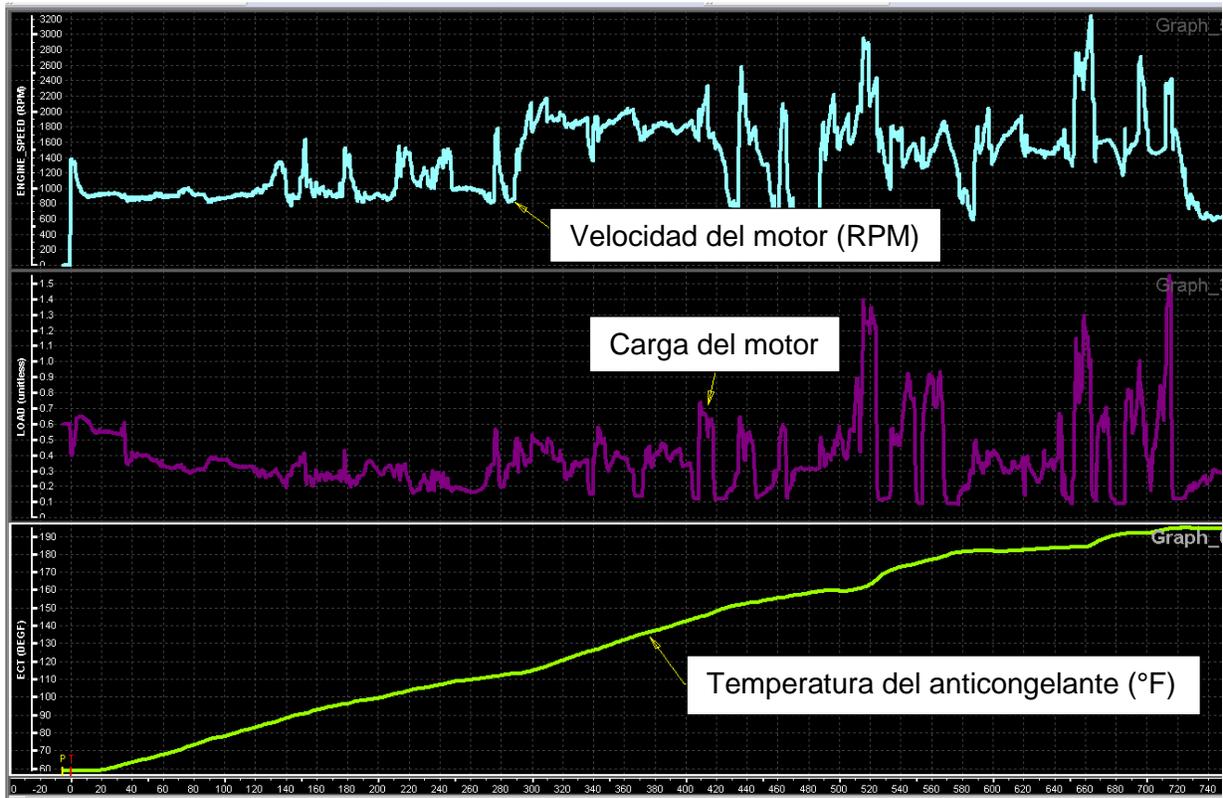


Figura 12. Ejemplo de manejo y perfil de calentamiento para calibración del modelo de inferido de temperatura a 11°C de ambiente. Eje X Tiempo en segundos y Eje Y RPM, Carga y ° F.

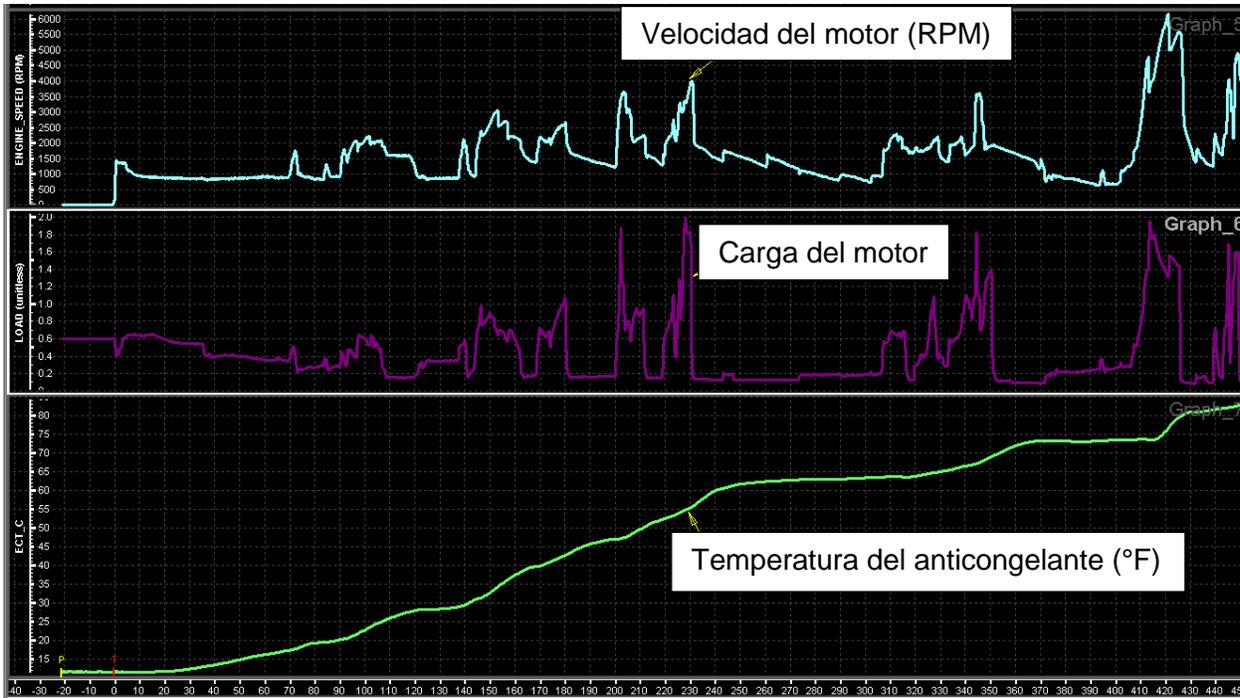


Figura 13. Ejemplo de manejo y perfil de calentamiento para calibración del modelo de inferido de temperatura a 6°C de ambiente. Eje X Tiempo en segundos y Eje Y RPM, Carga y ° F.

g) Software para cálculo de constantes de tiempo

Existe un software para el cálculo de la constante de tiempo que me permitió estimar el valor más adecuado a los datos de calentamiento del motor, así como hacer los ajustes necesarios en la calibración de acuerdo con lo observado en los perfiles del modelo. En la Figura 16 muestro la interfaz de este software, en ella se observan los comandos para agregar un perfil de calentamiento. La línea en rojo describe el perfil de calentamiento de interés mientras que la línea azul describe el perfil de una regresión exponencial. Esta función exponencial se ajustó asignando los tiempos de inicio y fin del perfil de calentamiento, así como 1/3 del tiempo en el que el perfil alcanza la temperatura más alta.

Una vez que me aproximé al comportamiento del perfil las variables propuestas por la herramienta representan el valor de la constante de tiempo. Usé la misma herramienta para el cálculo de la contante de motor encendido, de motor apagado y de cilindro apagado por corte de combustible por desaceleración.

Las constantes dependerán de las condiciones de operación, algunos ejemplos de los datos obtenidos para distintas velocidades son los siguientes los resumo en las Tablas 10, 11 y 12:

**Tabla 9. Constante de tiempo de motor encendido.**

RPM	500	1000	1500	2500	4000
Constante de tiempo de motor encendido (Seg)	850	650	500	400	300

**Tabla 10. Constante de tiempo de cilindro apagado.**

RPM	0	3000	4000	5000	6000
Constante de tiempo de cilindro apagado (Seg)	500	500	500	500	500

**Tabla 11. Constante de tiempo de motor apagado (Seg).**

°C/RPM	700	1000	1500	2000	2500	3000
15.55	350	350	350	350	350	350
26.65	350	350	350	350	350	350
37.8	350	350	350	350	350	350
48.9	350	350	350	350	350	350

La constante de motor apagado no depende solo de la velocidad del motor sino también de la temperatura ambiente. Ajusté el valor del multiplicador de la constante de tiempo de motor apagado, noté que si le asignaba un valor de cero al momento en que el vehículo entraba en un evento de “Auto Start-Stop” la temperatura del MITA caía y tendía a la temperatura ambiente mientras que la temperatura real del anticongelante se mantenía lo que generaba errores en el diagnóstico. El valor calibrado para esta constante va de la mano con el tiempo máximo que puede permanecer un vehículo en un evento de “Auto Start-Stop”

Las constantes de tiempo consideran un periodo de tiempo en el que el motor no se transfiere calor al anticongelante. Si en ese tiempo el modelo siguiera incrementando la temperatura, este podría rebasar la temperatura real del anticongelante y reportaría una falla cuando no existe.

Noté que, a pesar de contar con una calibración robusta del modelo, antes de que la temperatura real del anticongelante comience a incrementar existe un retraso mostrado en la Figura 17. Este retraso se debe a la transferencia de calor del evento de combustión a la cabeza del cilindro, al bloque del cilindro, al anticongelante y

finalmente al sensor de temperatura. Y puede incorporarse al MITA por medio de un parámetro en función del tiempo que estuvo apagado en reposo el motor. Calibré este retraso midiendo la cantidad de tiempo que toma a la temperatura de anticongelante incrementar a través de varios perfiles de calentamiento. Este retraso tuvo un valor aproximado de 5 segundos.

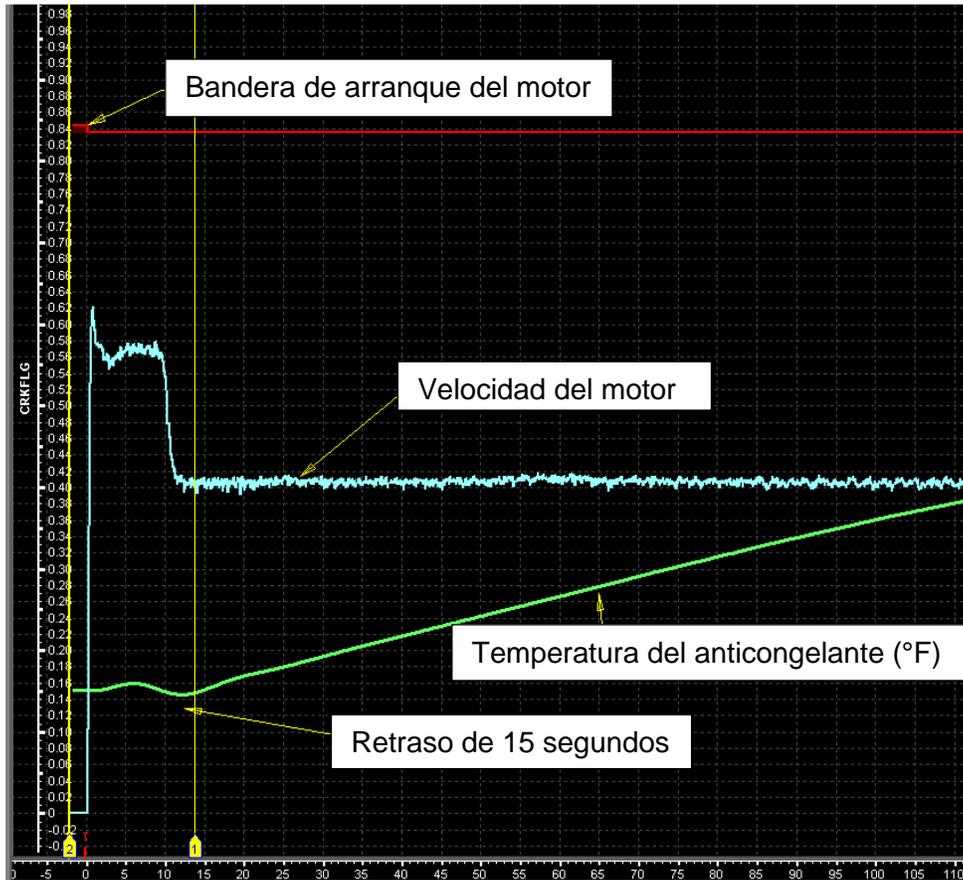


Figura 14. Ejemplo de retraso en respuesta del sensor al incremento de la temperatura del anticongelante. Eje X Tiempo en segundos y Eje Y Bandera de arranque 0-1.

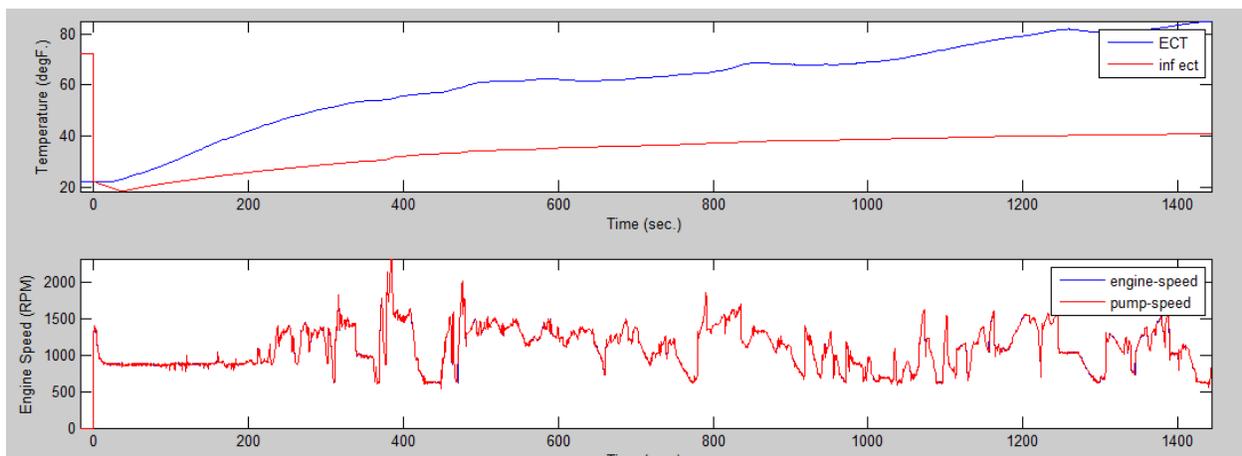
#### h) Software de validación

El software usado para calcular la propuesta de calibración del modelo aún no es lo suficientemente capaz de considerar todos los factores de ruido. Lo mismo ocurre con el software para el cálculo de la constante de tiempo ya que no puede procesar todos los archivos de una sola vez. Es decir, no son aún lo suficientemente robustos, pero ofrecen una propuesta inicial útil. Para garantizar la robustez de la propuesta utilicé un software de validación en MATLAB con el que ajusté la calibración de escritorio. Aquí pude determinar qué tan buena fue mi primera propuesta de calibración e hice ajustes como fue necesario.

Usé el software de validación para procesar los datos recolectados y observé que tan bien el MITA sigue la temperatura actual del motor. Una vez que procesé los datos e hice ajustes en la calibración cumplí con el requerimiento de que el MITA y la temperatura real siempre mantengan a una diferencia de 5°C de temperatura entre sí.

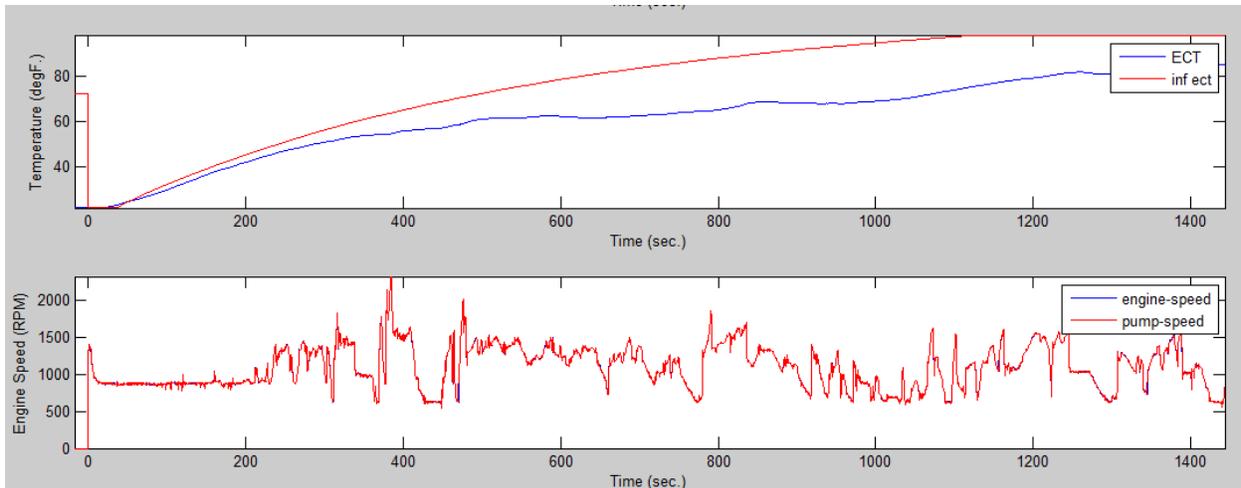
La Figura 18 muestra la interface del software de validación, en ella se pueden identificar los parámetros relevantes a la calibración del modelo inferido de la temperatura. Aquí introduje mi propuesta final del modelo y la evalué en distintos perfiles de temperatura. La ventaja de esta herramienta es que pude visualizar como se verían mis cambios en el vehículo para los distintos perfiles de calentamiento que recopilé en el desarrollo de calibración.

En la Figura 19 el MITA está representado por la línea roja mientras que la temperatura real por la línea azul. En esta gráfica generada por el software de validación es posible identifiqué un modelo que no cumple los requerimientos ya que mantiene una temperatura muy por debajo de la temperatura real. Esta propuesta puede llevar al monitor a no detectar fallas en el termostato.



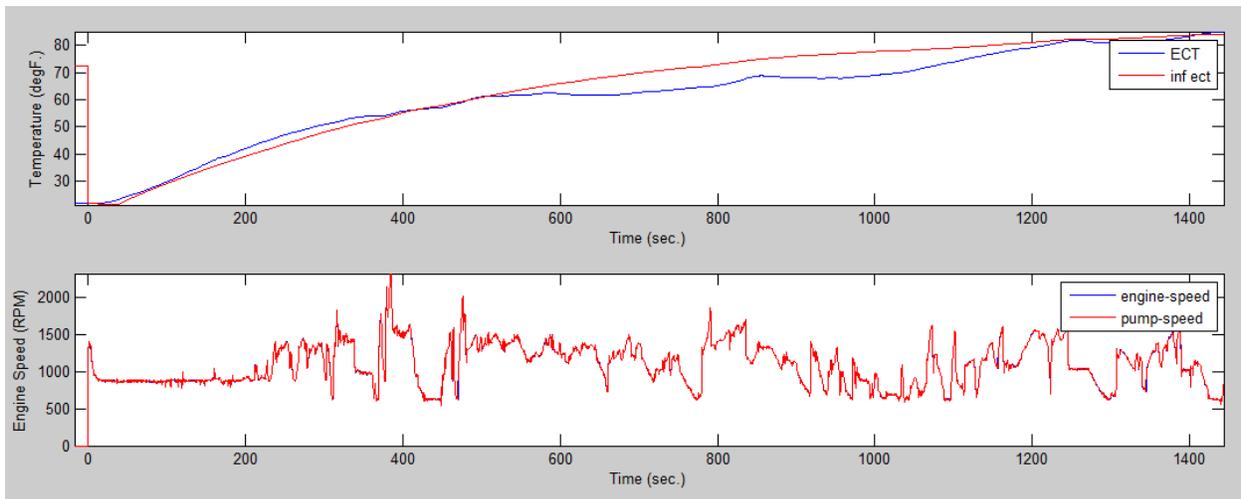
**Figura 15. Gráfica generada por el software de validación para calibración y evaluación del MITA. Eje X Tiempo ten segundos y Eje Y Temperatura en °F y Velocidad RPM.**

Por lo que observé en la Figura 19 realicé ajustes de tal forma que el MITA estuviera lo más cerca o por arriba a no más de 5 °C de la temperatura real. Los ajustes pueden requerir más de una sola iteración como el ejemplo en la Figura 20, en donde los ajustes que propuse llevaron al modelo a más de 5 °C por arriba de la temperatura real. Esta propuesta es inadecuada para los requerimientos y puede llevar al monitor a generar diagnósticos con falla incorrectos.



**Figura 16. Gráfica generada por el software de validación para calibración y evaluación del MITA. Eje X Tiempo ten segundos y Eje Y Temperatura en °F y Velocidad RPM.**

El software de validación me permitió iterar cuantas veces fue necesario sobre distintos eventos de calentamiento. Haciendo los ajustes necesarios hasta alcanzar una propuesta de calibración compatible con los requisitos y con todas las condiciones de manejo evaluadas. El modelo mostrado en la Figura 21 es un ejemplo de una calibración robusta.



**Figura 17. Grafica generada por el software de regresión para calibración y validación del modelo MITA.**

Cómo se puede identificar en la Figura 21 no está dentro de las capacidades del modelo seguir exactamente el perfil de calentamiento en cuestión. La calibración del modelo alcanzó una propuesta capaz de aproximarse a todas las condiciones de operación. Esto dentro de los requerimientos de modelo con una diferencia no mayor y no menor a 5°C de la temperatura real.

i) Ciclo FTP-75

Para validar la calibración y los ajustes hechos al modelo. El MITA deberá alcanzar la temperatura a la que el termostato comienza a abrirse al final de un ciclo FTP-75. Cómo se muestra en la Figura 22.

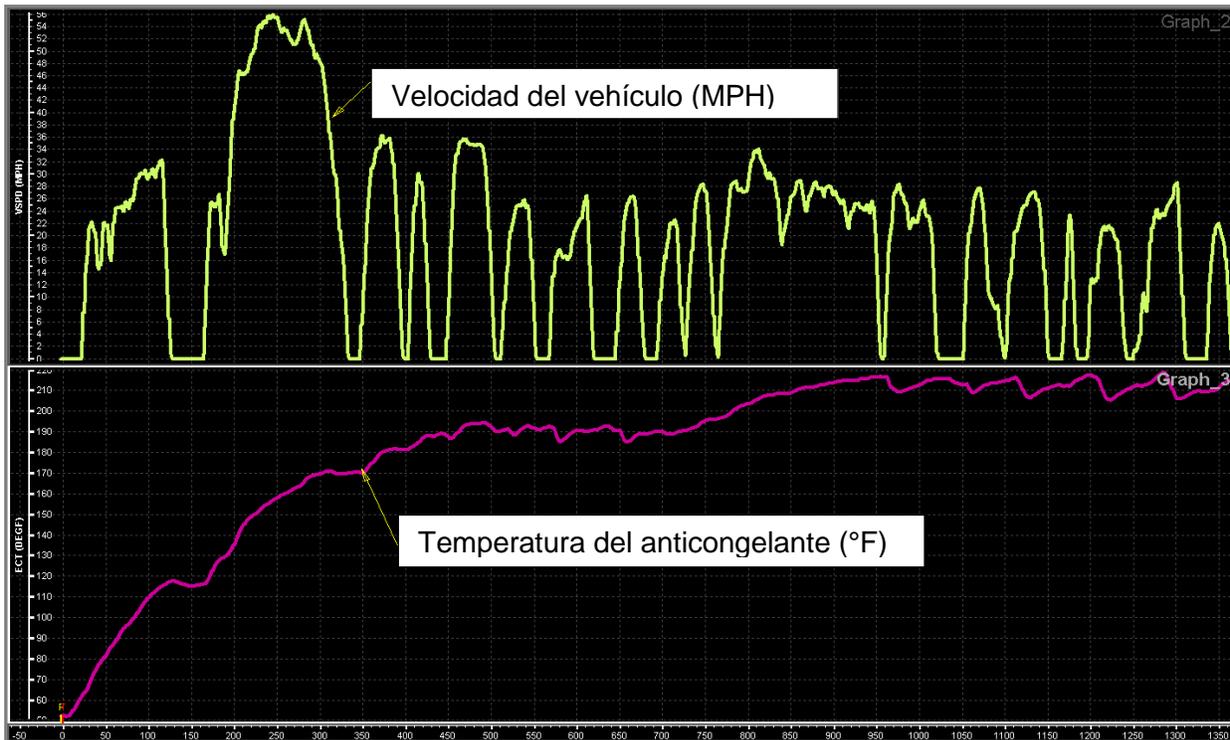


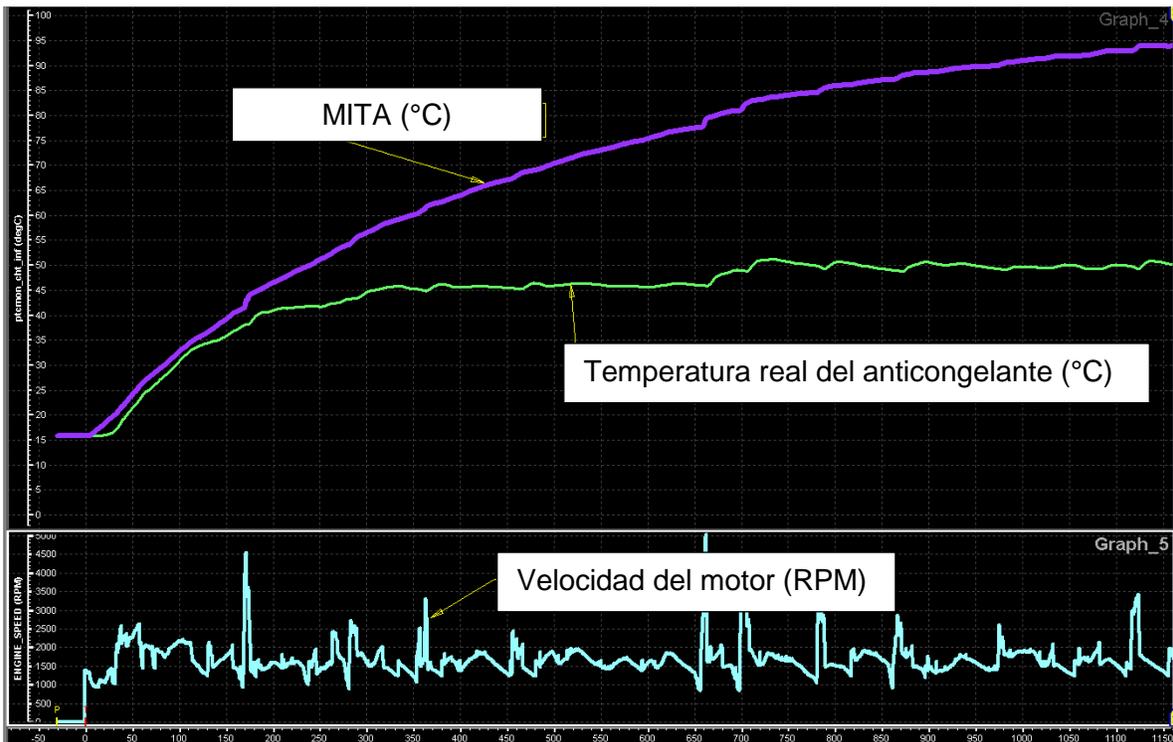
Figura 18. Ciclo FTP-75 con velocidad del vehículo y temperatura inferida del anticongelante. Eje X Tiempo en segundos y Eje Y Velocidad en MPH y Temperatura en ° F.

j) Eventos con falla y sin falla

El monitor decide si existe o no una falla una vez que la temperatura del anticongelante ha excedido la temperatura de regulación del termostato por suficiente tiempo y el motor se ha mantenido cierto tiempo a una carga suficiente. Sí el termostato está bloqueado en la posición abierta el monitor tomará una decisión y lo reconocerá una vez que los eventos antes mencionados ocurran

Corrí con un termostato bloqueado en una posición abierta para demostrar sí el modelo es capaz de detectar un mal funcionamiento. Al final de cada una de estas pruebas confirmé que el vehículo tomara una decisión del estado del termostato y almacenara un código en el módulo de control ya sea el P0128 o el P0125 dependiendo de las condiciones ambiente de la prueba.

- Evento con falla



**Figura 19. Ejemplo de evento con un termostato bloqueado en una posición abierta a un ambiente de 10°C. Temperatura inferida del anticongelante, temperatura real del anticongelante y velocidad del motor. Código P0128 almacenado al final de la prueba.**

Aquí demostré que el modelo es capaz de reconocer cuando existe una falla en el termostato. Este evento es un caso extremo en donde la calefacción está encendida por lo que es evidente como la temperatura del anticongelante tarda en incrementar mientras que el MITA continúa incrementando. Al alcanzar la temperatura de regulación de 82 °C determinará si la temperatura real alcanzó una temperatura por arriba de 72 °C. En este caso la temperatura se mantiene cercana 10 °C por lo que el monitor concluirá que existe una falla en el sistema.

- Evento sin falla

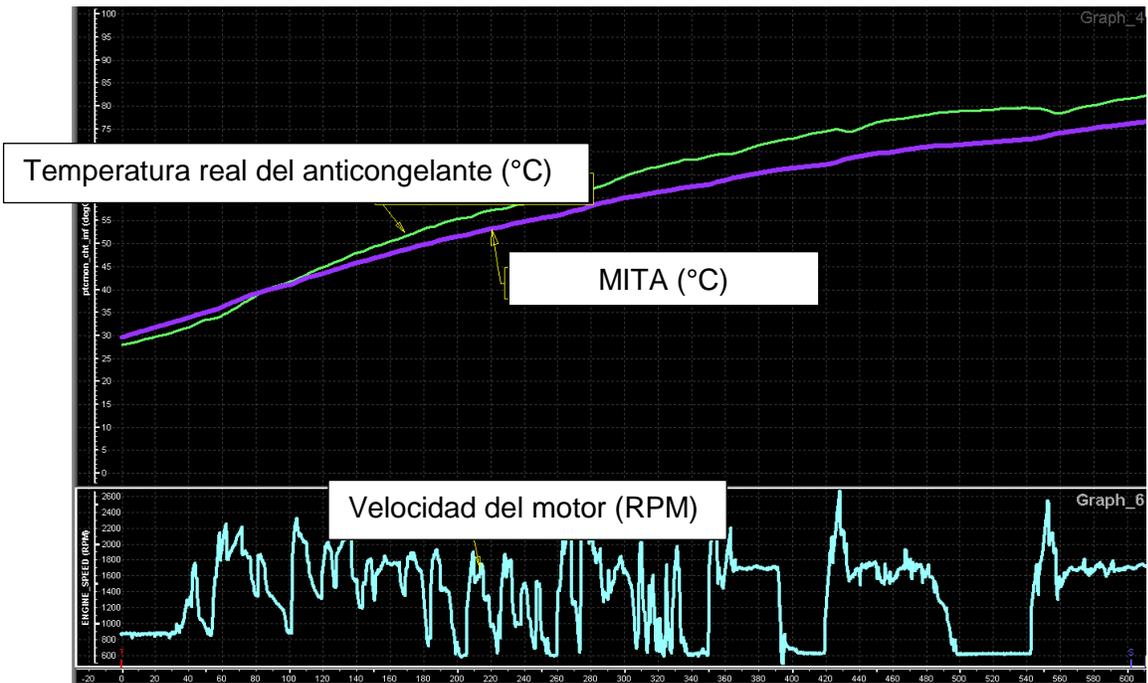


Figura 20. Ejemplo de evento con un funcional. Temperatura inferida del anticongelante, temperatura real del anticongelante y velocidad del motor.

Observé la diferencia entre el MITA y la temperatura real del anticongelante una vez completado el monitor. Los requerimientos al momento de completarse buscan que sin una falla presente la temperatura real sea al menos 3 °C mayor que el MITA y al menos 3 °C menor del límite de malfuncionamiento con una falla presente. Esto para asegurarme de que no existieran instancias inexplicables para detectar una falla a altas o bajas temperaturas ambiente, es decir, para reportar los DTC P0128 o P0125.

## 10. Conclusiones

El análisis realizado a lo largo de este reporte, apunta a que fue fundamental someter al vehículo a un estricto trabajo de calibración para cumplir con los requerimientos del monitor de la temperatura del anticongelante. Esto debido a que así, se cumple con lo estipulado por CARB y EPA, además de garantizar las expectativas del cliente.

A pesar de que la lógica del diagnóstico sigue la misma serie de pasos en todos los programas con la misma versión, el modelo deberá adaptarse a las características particulares del motor. El perfil de calentamiento de un motor de 2.7 L con 6 cilindros es distinto al de un motor de 1.5 L con 4 cilindros, por lo que debe calibrarse acordeamente.

La calibración de este modelo de temperatura, hará posible una oportuna detección de fallas del termostato, tomando en cuenta que el motor opera óptimamente a una temperatura cercana a los 110 °C. El hecho de que el anticongelante alcance una temperatura cercana a la temperatura de regulación de 82 °C será determinante para activar otros monitores, los cuales dependen de la temperatura del anticongelante como condición de entrada. Entre ellos están los siguientes:

- Monitor del catalizador; su no activación evitará la retroalimentación al módulo de control para monitorear su estado y operar el motor para obtener los rangos de temperatura deseados para la óptima reducción de gases.
- Monitor de no combustión; la presencia de eventos de no combustión (Misfire) no será inhibida por el retraso de chispa por lo que afectará la percepción del producto al cliente por el comportamiento del motor e impactará en las emisiones por operar con una combustión incompleta.
- Monitor de combustible adaptativo; las propiedades del combustible pueden variar entre una carga y otra. El vehículo se adapta a las condiciones del combustible para operar óptimamente.
- Monitor de imbalance de la mezcla de aire y combustible; importante para equilibrar la mezcla de acuerdo con las necesidades de operación.
- Monitor de oxígeno en gases de escape; su retroalimentación es fundamental para conocer el resultado de la combustión y sin su operación el vehículo emitirá gases nocivos.
- Monitor de presión del riel de combustible; una inyección precisa impacta en la respuesta del vehículo y en las emisiones.

La no activación de estos monitores tendrá diversas repercusiones en el desempeño del vehículo, tanto desde el punto de vista del cliente como desde el punto de vista de CARB y EPA.

Tras seguir el procedimiento de calibración, obtuve un MITA adecuado para el motor en cuestión. Las condiciones ambientales y los distintos tipos de manejo resultan en una infinidad de perfiles, para los cuales el modelo deberá ser capaz de ajustarse. Además, en caso de presentarse una falla, el módulo de control sea capaz de reportarla. Lo anterior recalca la importancia del proceso de calibración, el cual asegura que el modelo será lo suficientemente robusto para detectar una falla y no generar falsas detecciones.

El trabajo de calibración consistió en diversas pruebas con combinaciones de temperatura, velocidad y carga, las cuales tuvieron un efecto importante en el comportamiento del perfil de calentamiento del anticongelante. Las pruebas no sólo se corrieron en el laboratorio; cuando las condiciones del ambiente lo permitían, también corrí las pruebas en las calles. Esto debido a que la calibración y validación es mucho más precisa cuando el vehículo es operado en condiciones cercanas a las reales. Conduje el vehículo considerando qué es lo que haría un cliente cada vez que arranca y se desplaza en su vehículo. Este proceso proporcionó información útil para anticipar cualquier condición crítica para la operación del monitor.

Dicho lo anterior, se puede decir que los resultados de las pruebas en las calles son más significativos para una calibración correcta, por lo que las pruebas en el dinamómetro sólo fueron consideradas si se contaba el equipo de simulación adecuado. Es decir, contar con una cámara ambiental y un ventilador montado al frente del vehículo, con la capacidad de responder de acuerdo con la velocidad del vehículo. El aproximarme a las condiciones de operación, me permitió recolectar datos relevantes para la calibración.

Las condiciones más críticas para la operación del monitor son aquellas en donde el modelo pueda inferir incorrectamente una falla en el termostato. Estas condiciones se presentaron en los ambientes más fríos, por debajo de los 10°C. El motor tardó mucho más tiempo en alcanzar la temperatura de operación deseada, sobre todo cuando calefacción estaba encendida. Esto debido a que toma el calor transferido en el sistema de enfriamiento, prolongando el tiempo en que el perfil real de temperatura alcanza la temperatura de operación. Con los datos adquiridos, ajusté la calibración a la condición más crítica de operación con el fin de no errar el diagnóstico cuando se opera con un termostato funcional. A diferencia de otras condiciones de operación como motor encendido, motor apagado o corte de combustible por desaceleración, la activación de la calefacción no cuenta con una constante de tiempo que pueda caracterizar la respuesta de su efecto en el perfil de calentamiento. Por ello, fue muy importante considerar sus efectos para ajustar el modelo no solo para ambientes fríos sino también en ambientes calientes.

Otro aspecto importante fue que noté que existen otros factores de ruido que, como la calefacción, el modelo aún no considera y que deben ser tomados en cuenta al momento de recopilar datos y calibrar. El AGS impacta en el perfil de calentamiento de la temperatura del anticongelante pues regula el paso del flujo del aire al radiador. Lo anterior implica que la calibración del modelo será más difícil de estimar, ya que este elemento genera ruido. Predecir el comportamiento de la temperatura del anticongelante será más fácil mientras la temperatura del motor se vea influenciada por menos factores de ruido. Al incorporar más sistemas térmicos el modelo será menos predecible, ya que más factores externos influyen y las variaciones de transferencia de calor serán diferentes. Por ello, será necesario calibrar seleccionando la condición más segura con el fin de evitar sobre predecir el modelo. Esto evitará cualquier falsa detección, garantizando la detección de una falla.

Las herramientas de software para el cálculo de la constante de tiempo y de regresión ofrecen una aproximación de la calibración, pero no la final. Debido a esto, fue importante continuar corriendo pruebas de validación del modelo en los vehículos. Analicé los datos e hice ajustes a las propuestas de calibración con el software de validación. Esta herramienta me permitió evaluar inmediatamente el impacto de los cambios propuestos.

El monitor de la temperatura del anticongelante reportará si el termostato se encuentra bloqueado en una posición abierta. Si el termostato presentara una falla opuesta, es decir, permaneciera bloqueado en una posición cerrada, el motor no tendría problema en alcanzar la temperatura de operación. Al no existir flujo de anticongelante, la disipación de calor sería lenta, por lo que el motor se calentaría hasta rebasar sus límites de temperatura de operación. Para esta condición existen otros diagnósticos que monitorean al motor por sobrecalentamiento e inhiben su operación para protegerlo de un daño permanente.

Una falsa detección puede tener implicaciones costosas. Los técnicos de servicio recopilan toda la información reportada en el módulo de control y toman decisiones según lo comunicado. Si el sistema reportara una falla, ellos en automático proponen una reparación. Esto implica un costo para la compañía ya que deben cubrir garantías. Por otro lado, el no detectar una falla puede resultar en un daño mucho más complejo; principalmente en las emisiones del motor, ya que el vehículo y sus monitores operarán adecuadamente una vez que se alcanza una temperatura cercana a los 110°C. Un vehículo que presenta una falla en el termostato eventualmente alcanzará la temperatura de operación, pero le tomará mucho más tiempo. En este lapso producirá emisiones nocivas al ambiente y no tendrá el desempeño esperado. Aquí es en donde recae la importancia de una correcta detección. Cuando existe un correcto diagnóstico,

se espera que el vehículo notifique al cliente la presencia de una falla; el cliente llevará el vehículo a servicio, el técnico revisará los DTC almacenados y procederá de acuerdo con lo reportado.

Nuevas tecnologías empujan la eficiencia del motor y la calidad de la combustión hacia condiciones óptimas de operación. Al empujar al motor más cerca del rango de los 110°C para mejorar las emisiones y la economía de combustible, se requerirá de termostatos más avanzadas. En primera instancia, los termostatos asistidos electrónicamente ofrecen una operación mucho más amplia y rápida. Estos son controlados por el módulo de control donde, junto con la información de velocidad y carga, regulan la temperatura del anticongelante, gobernando cuando y como se transfiere el calor para un óptimo desempeño del motor.

La carrera en Ingeniería Mecánica fue clave para mi desempeño en Ford Motor Company. Me familiarizó con los conceptos que se utilizaban en el día a día, me dio la habilidad de entender nuevos conceptos rápidamente, además de guiarme a lograr encontrar la información pertinente para profundizar en algún tema. La carrera ofrece los principios fundamentales para aplicar el proceso de ingeniería en un trabajo, aunque, como es de esperarse, este requiera de conocimientos mucho más especializados. Una observación que tuve fue que, en ocasiones, los temas en clase pueden quedarse en un nivel muy teórico y poco práctico. Esto puede ser una desventaja al salir al ámbito laboral, ya que la gama de posibles especialidades es muy grande. El mantener un nivel teórico hace difícil ver esta dimensión al momento en el que el alumno determinará la dirección que dará a su carrera.

Comencé a trabajar hasta que concluí la totalidad de mis créditos, y Esta experiencia me permitió darme cuenta de que puede ser importante construir algún tipo de antecedente laboral durante la carrera. Esto debido a que la posibilidad de hacer algún tipo de práctica profesional en una compañía resulta muy útil durante la transición de la universidad al mundo laboral. Cuando llega el momento de buscar empleo, el tener algún tipo de experiencia previa definitivamente será una ventaja para el alumno. Sin embargo, la manera en la que está estructurado el plan de estudios dificulta el poder considerar esta opción; destinar tiempo a una práctica obliga al alumno a considerar una menor carga de materias en el semestre, lo que implica a que el alumno deja de ser regular y se vea afectado en la selección de clases y profesores, en la posibilidad de graduarse con honores o el poder considerar un intercambio. Desde mi punto de vista, el plan no promueve que alumno tome esta opción por mantener su regularidad y privilegios.

Desde mi experiencia, la posibilidad de participar en un intercambio académico, al formar parte de las sociedades estudiantiles, como la Sociedad de Medio Ambiente y Energía y Formula SAE, me permitieron desarrollar habilidades que van más allá de lo académico y que también fueron relevantes en mi experiencia laboral, como integración social y trabajo en equipo. Con esto, destaco el valor de las opciones que ofrece la Facultad para complementar la carrera del alumno y fomentar sus intereses. Me parece que es de vital importancia que, como parte del programa ofrecido, se promueva activamente que el alumno se involucre y participe en estas ofertas complementarias, ya que considero que tienen un alto impacto en la capacidad de ampliar la visión del alumno como persona, de su profesión y fuera de ella.

## 11. Referencias

1. Ford Motor Company. Corporate. *Our Company* (2015). Available at: <https://corporate.ford.com/company.html>.
2. Ford Motor Company. Corporate. *Our history* (2015). Available at: <https://corporate.ford.com/history.html>.
3. Davis, M. A history of the Ford Motor Co. *Ward's Auto World* **39**, 31 (2003).
4. Sutton, F. X. The Ford Foundation: The Early Years. *Daedalus* **116**, 41 (1987).
5. Bonini, S. & Kaas, H. W. Building a sustainable Ford Motor Company: An interview with Bill Ford. *McKinsey Quarterly* 90–96 (2010).
6. Villanueva, M. *Ford Motor Company Employee Profile Description*. (2000).
7. Hunsanger, E. Ford CO2 Strategy. (2012).
8. Murphy, T. Where's the Eco in EcoBoost? *WardsAuto* (2015).
9. Stuhldreher, M. *et al.* Downsized Boosted Engine Benchmarking and Results. *SAE Int.* **2015-01-12**, (2015).
10. US Environmental Protection Agency. EPA History. *EPA History* (2016).
11. Anonymous. FirstCarbon Solutions Gets California Air Resources Board Accreditation. *Heal. Beauty Close - Up* (2010).
12. EPA United States Environmental Protection Agency. Basic Information | EPA Research | EPA. <http://www3.epa.gov/pm/basic.html> (2015).
13. Nicolas, R. Car Engineer. *The Different Driving Cycles* (2013). Available at: <http://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/>.
14. McAlinden, K. *U.S. Onboard Diagnostics (OBD) Certification/Compliance Requirements*. (2014).
15. Baltusis, P. On-board vehicle diagnostics. *Converg. Transp. Electron. Assoc.* 15 (2004).
16. Regenfuss, M. California Environmental Protection Agency. *On-Board Diagnostics (OBD) Program* (2016).
17. CARB. *OBD II Regulations and Rulemaking from California Air Resources Board*. (2016).
18. Baltusis, P. *OBD Design Transmittal*. (2015).
19. Rejeti, S. *Coolant System Monitor*. (2016).
20. Aliexpress. Available at: [https://www.aliexpress.com/price/mazda-thermostat-housing\\_price.html](https://www.aliexpress.com/price/mazda-thermostat-housing_price.html).
21. Wu, J., Dufour, C. & Sun, L. Hardware-in-the-loop testing of hybrid vehicle motor drives at Ford Motor Company. in *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2010* (2010). doi:10.1109/VPPC.2010.5729036
22. Casedy, M. *OBDII Sensitivity Testing Guide*. (2014).
23. Epson, A. Information About Calibration. (2012).
24. Rask, E. & Sellnau, M. Simulation-based engine calibration: Tools, techniques, and applications. *SAE Tech. Pap.* **2004**, (2004).
25. Smithberger, P. *Thermostat monitor*. (2016).

## 12. Anexos

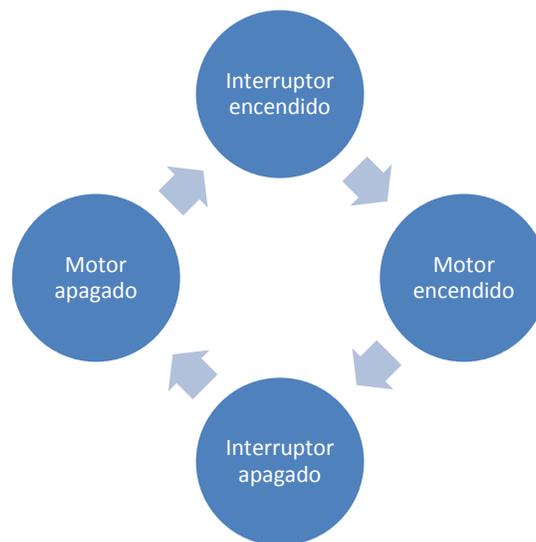
### 12.1 Anexo 1 Monitores de componentes continuos en el vehículo

CCM 01 Dirección de diagnóstico  
CCM 02 Ventiladores de accionamiento electrónico  
CCM 03 Control de aire en ralentí  
CCM 04 Embrague de aire acondicionado  
CCM 05 Diagnóstico de indicador de velocidad  
CCM 06 Monitor de bomba de combustible  
CCM 07 Transductor de presión del riel de presión  
CCM 08 Transductor de presión para aplicaciones de gas natural  
CCM 09 Diagnóstico de ignición  
CCM 10 Ventiladores de enfriamiento hidráulico  
CCM 11 Control del corredor del colector de admisión  
CCM 12 Sensor de flujo de aire  
CCM 13 Interruptor de presión y transductor de presión de la dirección asistida  
CCM 14 Limitador de velocidad  
CCM 15 Alternador inteligente  
CCM 16 Temperatura del motor  
CCM 17 Sensor de posición del cuerpo de aceleración  
CCM 18 Temperatura del aire ambiente  
CCM 19 Diagnóstico del sensor de combustión fallida (knock)  
CCM 21 Control de comunicación del múltiple de admisión  
CCM 22 Sensor de "Flex Fuel"  
CCM 24 Turbocompresor  
CCM 25 Memoria KAM  
CCM 26 Sensor de temperatura y diagnóstico del nivel de aceite  
CCM 27 Inyectores de combustible  
CCM 28 Nivel de anticongelante  
CCM 29 Presión absoluta del colector  
CCM 30 Transductor de presión del tanque de combustible  
CCM 31 Sensor de entrada de nivel de combustible  
CCM 32 Control de velocidad integrado  
CCM 33 Avance de carga del alternador  
CCM 34 Chequeo de circuito del solenoide de ventilación del canister  
CCM 35 Chequeo de circuito de la válvula de purga  
CCM 36 Temporizador de motor apagado  
CCM 37 Lógica de filtro de combustible obstruido  
CCM 38 Diagnóstico del calentamiento del sistema de anticongelante

- CCM 39 Entrada del pedal de embrague
- CCM 40 Entrada del pedal de freno
- CCM 41 Sensores de presión del múltiple de admisión
- CCM 42 Regulador del volumen de combustible
- CCM 43 Detección de fugas de aire en el múltiple de admisión
- CCM 44 Prueba de racionalidad del sensor de presión barométrica
- CCM 46 Monitor de bomba de combustible y válvula de control de combustible para arranque en frío
- CCM 47 Monitor de presión del cárter
- CCM 48 Diagnóstico de CPU
- CCM 49 Diagnóstico de la persiana de la parrilla
- CCM 50 Diagnóstico de presión del aceite
- CCM 51 Diagnóstico de la temperatura del fluido y bomba del diferencial
- CCM 52 Diagnóstico del actuador del sistema del anticongelante
- CCM 53 Diagnóstico de las válvulas de control del flujo de escape
- CCM 54 Diagnóstico de la desconexión controlada de la computadora
- CCM 55 Diagnóstico del sistema de enfriamiento del aire de carga (intercooler)
- CCM 56 Temperatura del aire de carga
- CCM 57 Diagnóstico de operación de válvula controlada
- CCM 59 Mantenimiento del filtro de aire

## 12.2 Anexo 2. Descripción de ciclos

Un *ciclo de operación* consiste en:



Un *viaje* consiste en la operación del vehículo partiendo de un motor apagado. De cierta duración y manejo en donde todos los componentes y sistemas se han revisado al menos una vez por el Sistema de OBD.

*Ciclo de manejo*: ciclo de operación con motor encendido.

*Ciclo de calentamiento*: operación del vehículo suficiente para incrementar la temperatura.

### **12.3 Anexo 3. Herramientas de calibración**

#### **12.3.1 ATI Vision**

El software ATI VISION es una herramienta integrada de calibración y adquisición de datos que recopila señales del módulo de control del tren motriz y fuentes externas, mide relaciones entre entradas y salidas, habilita calibración en tiempo real y modificación de sistemas de control en lazo cerrado, el tiempo se alinea y analiza toda la información, gestiona cambios de datos de calibración y programa el módulo de control. ATI VISION no es un sistema cerrado. Puede adaptarse a las herramientas que el ingeniero usa. Convierte archivos a distintos formatos para intercambio de datos o, en muchos casos, usa hardware suministrado por otros vendedores. Para acceder físicamente a los módulos, VISION soporta la amplia gama de interfaces de hardware. El hardware de VISION es esencial para obtener una medición adecuada de los canales de interés.

#### **12.3.2 A7**

Es un emulador de memoria, un dispositivo compacto instalado dentro o fuera de la cubierta del PCM, físicamente conectado a un controlador. Es una interface para calibración y adquisición de datos. El A7 se comunica a través de protocolos de alta velocidad JTAG, AUD o RTD.

#### **12.3.3 HUB**

También conocido como centro de actividad es la principal interfaz del sistema de calibración para los dispositivos de entrada y salida, así como interfaces de CAN.

#### **12.3.4 Dispositivo para adquisición de datos (EDAQ)**

Los módulos externos de adquisición de datos son dispositivos compactos diseñados para monitorear al vehículo. Equipados con un microcontrolador de 32 bit y una memoria flash a bordo. Las señales son medidas y convertidas en datos digitales y transmitidos vía CAN. Múltiples módulos EDAQ podrán conectarse. Existen tres tipos de módulos EDAQ:

EDAQ16AI (entrada analógica con 16 canales) permite medir señales de voltaje de entrada analógicos.

EDAQ16T (termopar de 16 canales) permite cablear y conectar para obtener datos de temperatura. ATI VISION permite definir toda la linealización, acondicionamiento de señal y filtrado de ruido necesario.

EDAQ16P (8 pulsos y 8 entradas digitales) se usa para leer otros dispositivos con salidas de pulso donde la salida del circuito que mide está conectada a un contador. Pulsos sucesivos incrementan o decrementan el contador.

#### **12.3.5 MyCANIC**

Es una interface del vehículo eléctricamente aislada diseñada para diagnóstico independiente o de paso y para reprogramación, así como para simulación de redes, puenteando y registrando funciones usando lo incorporado en la tarjeta SD. Junto con dos entradas analógicas y una salida análoga este dispositivo es capaz de comunicarse con hasta tres interfaces CAN simultáneamente. Útil para obtener DTC, borrarlos, así como correr pruebas con motor encendido y con motor apagado y grabar la estrategia deseada en módulos de control de producción.

Entre otras:

- Transmitir, recibir y descodificar mensajes de diagnóstico (DID, DTC, etc.)
- Descargar software a módulos de control.
- Monitorear y registrar el tráfico CAN
- Transmitir mensajes CAN.
- Consultar todas las redes para realizar tareas definidas por el usuario.
- Cargar y guardar información desde un módulo de control.
- Rastreador de DTC.
- Tareas diversas de diagnóstico.

### **12.3.6 Calibration Feature Executive CFX**

Es una herramienta de calibración para gestión de bases de datos de calibración. Funciona como un repositorio para administrar y construir archivos de calibración.

### **12.3.7 Breakout box**

Es una pieza crítica para pruebas eléctricas usada para soportar pruebas de integración, agilizar el mantenimiento, y agilizar el procedimiento de solución de problemas del sistema, subsistema y nivel de componentes simplificando el acceso a señales de prueba. Algunos rompen todas las señales de conexión que llegan a una unidad mientras otros rompen solo señales específicas comúnmente monitoreadas para pruebas o solución de problemas. Algunos se ocupan en conectores eléctricos y otros en conectores de fibra óptica.

Para la calibración y validación de diagnóstico de componentes esta resulta ser una herramienta clave ya que permite intervenir de forma física en el módulo de control del tren motriz. La calibración y validación de un diagnóstico eléctrico se requiere demostrar que tanto la calibración como el software son capaces y lo suficientemente robustos para detectar un mal funcionamiento. El breakout box permite someter al diagnóstico y al vehículo a condiciones reales de falla como pruebas de circuito, pruebas de racionalidad, pruebas funcionales, fuera de rango, incluso permite manipular las condiciones regulando el voltaje o introduciendo distintos tipos de señales como lo son pulsos.

### **12.3.8 Control tec**

Control tec resulta una herramienta útil para fines de calibración. Los distintos modos de manejo, condiciones de temperatura, condiciones de re arranques acumula una serie infinita de eventos que resulta imposible realizar en los vehículos disponibles para calibración. Control Tec recopila datos de flotas de vehículos destinados a garantizar la calidad del producto. Estos vehículos son manejados y a través de la instrumentación de control tec reporta cualquier evento cercano a fallar o con falla. Lo que permitirá garantizar que la calibración propuesta es la adecuada o de lo contrario con la cantidad de datos recopilados proponer una nueva calibración.

Para esto es instalado en los vehículos un dispositivo llamado VDR o Grabadora de Datos del Vehículo que monitorea en todo momento lo que ocurre en el módulo de control del vehículo y el cual está programado para reportar determinados eventos de interés para el Ingeniero de Calibración.

## 12.4 Anexo 4. Glosario

- **AGS:** Active Grill Shutter. Sistema de persianas de la parrilla activa.
- **Auto Start-Stop:** Sistema que apaga el motor cuando el vehículo se encuentra detenido en un semáforo o en el tráfico y lo enciende de nuevo automáticamente cuando el conductor decide seguir. Este sistema ayuda a reducir el consumo de combustible y emisiones del vehículo.
- **CARB:** California Air Resources Board. Agencia de Recursos de Aire de California.
- **CCM:** Comprehensive Component Monitor. Monitoreo continuo de componentes.
- **CHT:** Cylinder head temperature. Temperatura en la cabeza del cilindro.
- **DTC:** Diagnostic trouble code. Código de diagnóstico de problemas.
- **DV:** Design Verification. Verificación de diseño.
- **EGR:** Sistema de recirculación de gases de escape. Exhaust gas recirculation.
- **EOBD:** Sistema de diagnóstico a bordo europeo.
- **EPA:** Environmental Protection Agency. Agencia de Protección Ambiental.
- **FO:** Fully open. Completamente abierto.
- **FTP-75:** Federal Test Procedure. Ciclo estandarizado para evaluación de emisiones del vehículo.
- **GPDS:** Global product development system. Sistema Global para Desarrollo del Producto.
- **GTDI:** Gasoline turbo-direct injection. Motor de gasolina con turbocompresor e inyección directa.
- **HIL:** Hardware in the loop. Sistema de control en lazo cerrado.
- **JOBBD:** Sistema de diagnóstico a bordo japonés.
- **Knock:** término en inglés para referirse a un evento de combustión incompleta cuando la mezcla de aire y combustible no enciende correctamente en respuesta a la chispa de la bujía.
- **KOEO:** Key-on Engine Off. Interruptor encendido con motor apagado.
- **KOER:** Key-on Engine On. Interruptor encendido con motor encendido.
- **M1:** Model 1.
- **MIL:** Malfunction indicator light. Luz indicadora de malfuncionamiento.
- **Misfire:** Misma definición que Knock.
- **MITA:** Modelo Inferido de la Temperatura del Anticongelante
- **NVH:** Noise, vibration, harshness. Ruido, vibración y dureza.
- **OBD Br1,2:** Sistema de diagnóstico a bordo brasileño.
- **OBD:** On-Board Diagnostic System. Sistema de diagnóstico a bordo.
- **PCM:** Powertrain control module. Módulo de control del tren motriz.
- **PP:** Production prototype. Prototipo de producción.
- **SAE:** Society of automotive engineers. Sociedad de Ingenieros Automotrices.

- **STO:** Start to open. Comienza a abrirse.
- **TT:** Test model. Modelo de prueba.
- **US06:** Ciclo estandarizado para evaluación de emisiones del vehículo a altas velocidades.
- **VP:** Vehicle prototype. Prototipo del vehículo.