



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**INFORME DE EXPERIENCIA PROFESIONAL EN
FORD MOTOR COMPANY**

**INFORME DE EXPERIENCIA
PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A:

ALEJANDRO PLIEGO VINAGERAS



**ASESOR:
ING. MARIANO GARCÍA DEL GÁLLEGO
2015**

Índice Temático

1. Introducción.....	3
2. Descripción de la empresa.....	3
3. Organigrama de Ford de México	7
4. Descripción del puesto de trabajo	9
5. Investigación de problemas de campo en autos del segmento B	13
6. Desarrollo y validación de la calibración para un cambio de inyectores y cuerpo de aceleración en el motor de un camión ligero.....	17
7. Desarrollo de la calibración para la aplicación manual del motor de un camión ligero (nuevo desarrollo).....	23
8. Evaluación del impacto en la calibración de un cambio de material del sensor de temperatura en la cabeza para el motor 6.2L.....	32
9. Conclusiones	48
Glosario	50
Bibliografía	50

* * *

1. Introducción

El presente trabajo es un resumen de las actividades realizadas de mayo de 2013 a abril de 2015 para el departamento de calibración y controles de tren motriz del área de desarrollo del producto de Ford Motor Company de México.

Se presenta con el objetivo de demostrar la aplicación de los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera de ingeniería mecánica en la Facultad de Ingeniería de la UNAM y con esto cumplir con el requisito establecido para la titulación en su modalidad de titulación por experiencia profesional.

El trabajo realizado comprende actividades desde la adquisición de datos para diagnóstico de problemas de calidad en campo hasta la calibración de características del control de un motor para el desarrollo de un producto totalmente nuevo, pasando por el mantenimiento de la calibración de programas que ya se encuentran en el mercado.

Se presenta un breve resumen de los proyectos en los que se participó ahondándose en más detalle en los últimos dos.

2. Descripción de la empresa

Ford Motor Company

Ford Motor Company es una armadora de autos multinacional de origen estadounidense que tiene sus oficinas corporativas globales en Dearborn, Michigan.

Es una de las compañías manufactureras más importantes del mundo, tanto en capital, como en personal y capacidad productiva.

2.1 Misión

“Ford Motor Company es líder mundial en productos y servicios automotrices, y financieros. Nuestra Misión es mejorar continuamente nuestros productos y servicios a fin de satisfacer las necesidades de nuestros clientes, lo que nos permite prosperar como negocio y proporcionar utilidades razonables a nuestros accionistas quienes son propietarios de nuestro negocio.”

2.2 Visión del departamento de desarrollo del producto

“Somos un equipo de desarrollo del producto motivado, entregando el mejor desempeño en su clase en términos de la calidad de ejecución, tiempo de respuesta, innovación y costo.”

2.3 Valores

“La manera como cumplimos nuestra misión es tan importante como la misión misma. Los siguientes valores básicos son fundamentales para el éxito de la Compañía.

Gente - Nuestra gente es la fuente de nuestra fuerza. Ellos proporcionan nuestra inteligencia corporativa y determinan nuestra reputación y vitalidad. El involucramiento y el trabajo en equipo son la esencia de nuestros valores humanos.

Productos - Nuestros productos son el resultado final de nuestros esfuerzos, y deben ser los mejores para servir a nuestros clientes en todo el mundo. Así como nuestros productos son vistos, así somos vistos nosotros.

Utilidades - Las utilidades son la medida final de cuán eficientes somos al proveer a nuestros clientes con los mejores productos para satisfacer sus necesidades. Las utilidades son necesarias para sobrevivir y crecer.

Los concesionarios y los proveedores son nuestros socios - La compañía debe mantener relaciones de mutuo beneficio con distribuidores, proveedores y con nuestros demás asociados comerciales.

La integridad nunca es comprometida - La conducta de nuestra compañía alrededor del mundo debe seguirse de una manera que sea socialmente responsable, requiriendo respeto por su integridad y por sus contribuciones positivas a la sociedad. Nuestras puertas están abiertas para hombres y mujeres de la misma manera sin discriminación y sin considerar origen étnico o creencias personales.”

2.4 Principios Guía

“**La calidad es lo primero** - Para lograr la satisfacción de nuestros clientes, la calidad de nuestros productos y servicios debe ser nuestra prioridad número uno.

Los clientes son el centro de todo lo que hacemos - Nuestro trabajo debe estar hecho pensando en nuestros clientes, proporcionando mejores productos y servicios que nuestra competencia.

El mejoramiento continuo es esencial para nuestro éxito - Debemos esforzarnos por la excelencia en todo lo que hacemos: en nuestros productos, en su seguridad y valor, y en nuestros servicios, nuestras relaciones humanas, nuestra competitividad y nuestra rentabilidad.

El involucramiento del personal es nuestra forma de vida - Somos un equipo. Debemos tratarnos unos a otros con confianza y respeto (Ford de México, 2015)”

2.5 Historia

Ford Motor Company fue fundada en 1903 por Henry Ford. Durante sus primeros años la compañía producía sólo unos cuantos autos en su fábrica en Detroit. Grupos de dos o tres obreros trabajaban en cada auto, ensamblándolo con partes fabricadas en su mayoría por proveedores contratados por Ford. En una sola década la empresa se convertiría en líder mundial en la expansión y refinamiento de la línea de ensamble móvil.

En 1908 Ford empezó a fabricar el Modelo T que es considerado como el primer automóvil accesible a la clase media, en gran medida por la gran eficiencia en su fabricación en línea de ensamble móvil en vez de armado a mano. El Modelo T fue sustituido en 1928 por el Modelo A del cual se vendieron más de cinco millones de unidades a pesar de la crisis de la Gran Depresión.



Figura 1 Ford Modelo T saliendo de la línea de ensamble móvil. (Ford Media, 2015)

En 1942 Ford deja de producir automóviles para la población civil para dedicar sus plantas a la manufactura de equipo militar para la Segunda Guerra Mundial, para el final de la guerra Ford había producido más de 8,000 bombarderos B-24.

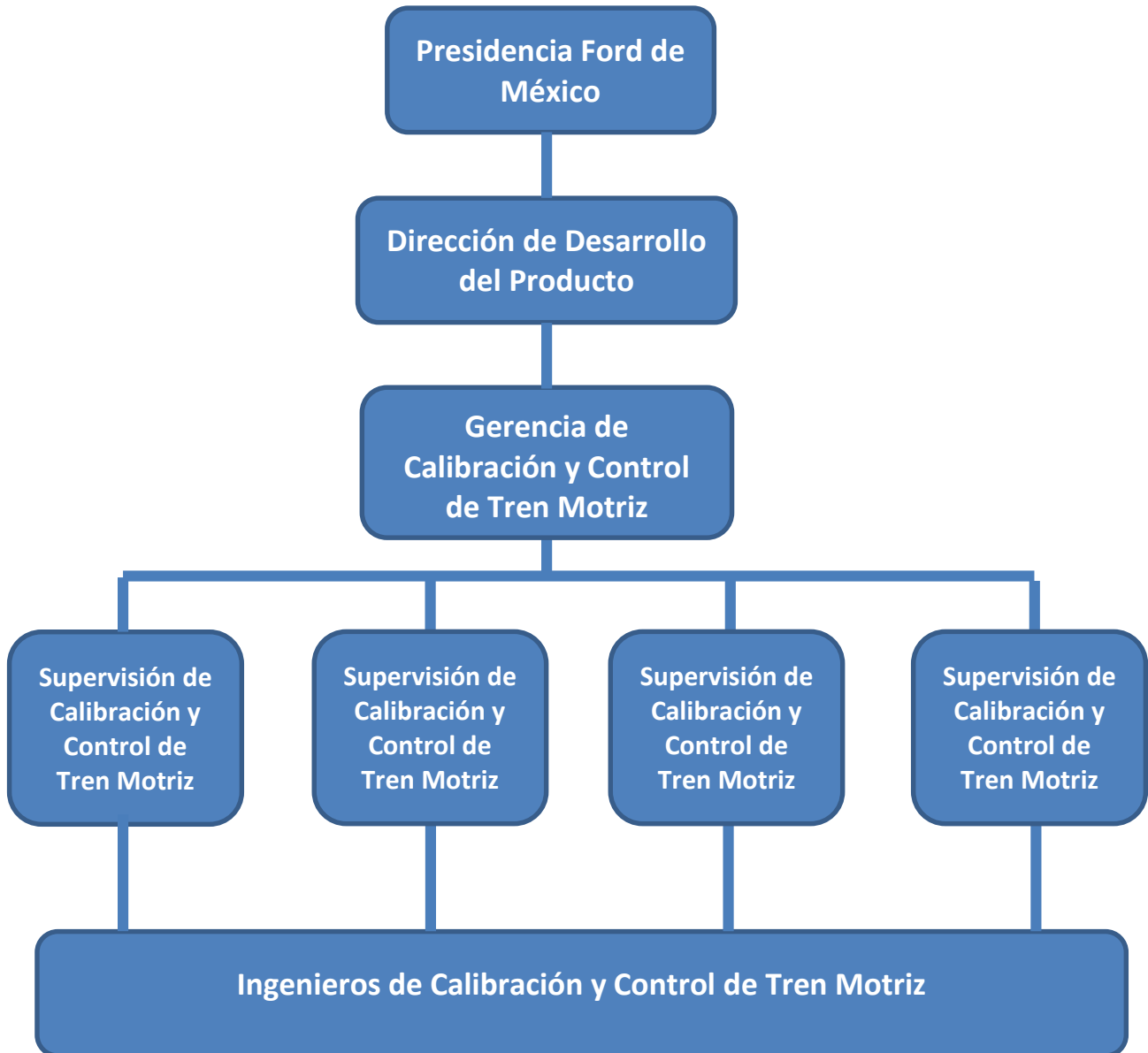
La compañía Philco fue propiedad de Ford desde 1961 hasta 1974, periodo durante el cual la compañía produjo electrónicos de consumo, sistemas de computadoras y proyectos militares. Además de diseñar, construir y equipar el Control de Misión, la subsidiaria Philco realizó trabajo de soporte para los programas Apolo y Géminis de la NASA. Más tarde se creó, con base en Philco, la Corporación Ford Aeroespacial y de Telecomunicaciones que construyó siete satélites INTELSAT V para la Organización Internacional de Satélites de Telecomunicaciones.

En 1986 Ford introdujo en sus plantas la línea de ensamble modular que hace uso de líneas de ensamble automatizadas auxiliares para producir subensambles de los vehículos. Los subensambles se agregan luego a la línea de ensamble principal. Hoy en día éste es el sistema que usa Ford en la mayoría de sus plantas.

De 2008 a 2010 la industria automotriz mundial sufrió una grave crisis que afectó a las tres grandes armadoras estadounidenses en la que Chrysler y GM tuvieron que ser rescatadas por el gobierno estadounidense luego de declararse en bancarrota. En 2006 Ford había puesto en marcha un plan para pedir préstamos a bajas tasas de interés lo cual fue fundamental para sobrevivir a esta crisis.

En 2015 Ford lanzó el primer vehículo con carrocería de aluminio de producción en masa en su F-150 como parte de un proyecto para mejorar la economía de combustible de este producto y así asegurar cumplir con las regulaciones gubernamentales en esta materia en el futuro. También en 2015 el Mustang, uno de los autos más icónicos de la marca, cumplió 50 años de producción ininterrumpida a lo largo de seis generaciones. (Ford Motor Company, 2015)

3. Organigrama de Ford de México



* * *

4. Descripción del puesto de trabajo

El ingeniero de calibración, controles y NVH de Ford Motor Company es responsable de diseñar y desarrollar parámetros de control de tren motriz para cumplir objetivos de los atributos de motor, transmisión y vehículo que cumplan con los requerimientos regulatorios, del programa y del ADN de la compañía, éstos incluyen: manejabilidad, NVH (ruido, vibraciones y dureza), calidad en cambios de marcha, economía de combustible, desempeño, emisiones de escape, emisiones evaporativas, OBD (diagnóstico a bordo), control de clima, eléctricos, etc.

El ingeniero de calibración requiere de sólidos conocimientos de control, termodinámica y fundamentos de física de motores de combustión interna soportados por conocimientos de electrónica, mecánica de fluidos, química y programación entre otros.

4.1 Proceso para el desarrollo de una calibración

El ingeniero de calibración, utilizando las herramientas de calibración, tiene acceso a todas las variables utilizadas en software de control del motor y puede ajustarlas mientras monitorea la respuesta del motor a los cambios introducidos. Además de esto, en ocasiones es necesario medir parámetros adicionales así que es una práctica común el utilizar las herramientas de calibración en conjunto con algún equipo de medición que permita medir variables físicas con diferentes sensores instalados en el motor, un ejemplo de esto puede ser la medición de la temperatura del escape mediante termopares instalados en un vehículo de desarrollo para calibrar el modelo de temperatura del escape en el módulo de control.

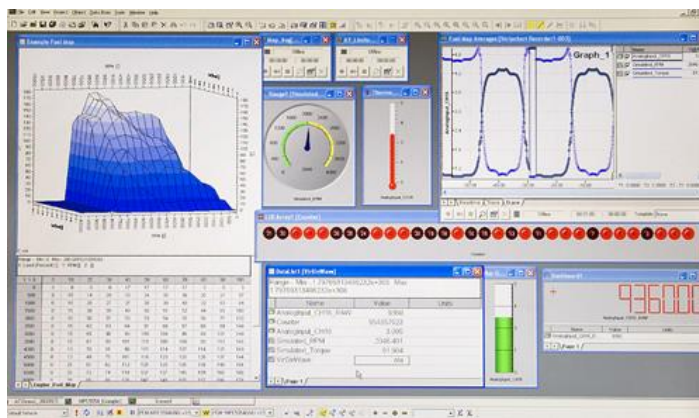


Figura 2 Captura de pantalla de la herramienta de calibración. Mostrando mapas y curvas (variables de calibración) que es necesario ajustar para optimizar la operación del motor. (Accurate Technologies Inc., 2015)

Durante el desarrollo de un vehículo, el ingeniero de calibración ajusta y cambia muchos parámetros en el módulo de control del motor para caracterizar el motor y optimizar su operación. En un tren motriz actual, esta tarea puede tomarle a un equipo meses o incluso años para completar. Consideremos un módulo de control con 14,000 variables que será utilizado en 10 variantes de vehículos. Cada vehículo necesita una calibración diferente para diferenciarlo en el mercado y cada vehículo necesita ser calibrado para emisiones, desempeño, consumo de combustible, manejabilidad y diagnóstico a bordo. Cada una de las tareas mencionadas implica un trabajo considerable y todas tienen interacción entre ellas, por esto, lo más común es que cada calibración sea desarrollada por grupos grandes de ingenieros, en donde cada uno tiene un conocimiento especializado de cómo funciona alguna función en específico y cómo calibrarla. Este complejo ambiente crea grandes cantidades de datos (calibración y mediciones) que necesitan ser analizados, validados y combinados para crear la versión final de la calibración que debe ser aprobada por el jefe del proyecto. Esta es la calibración con la que serán programados los módulos una vez que el auto entre en producción.

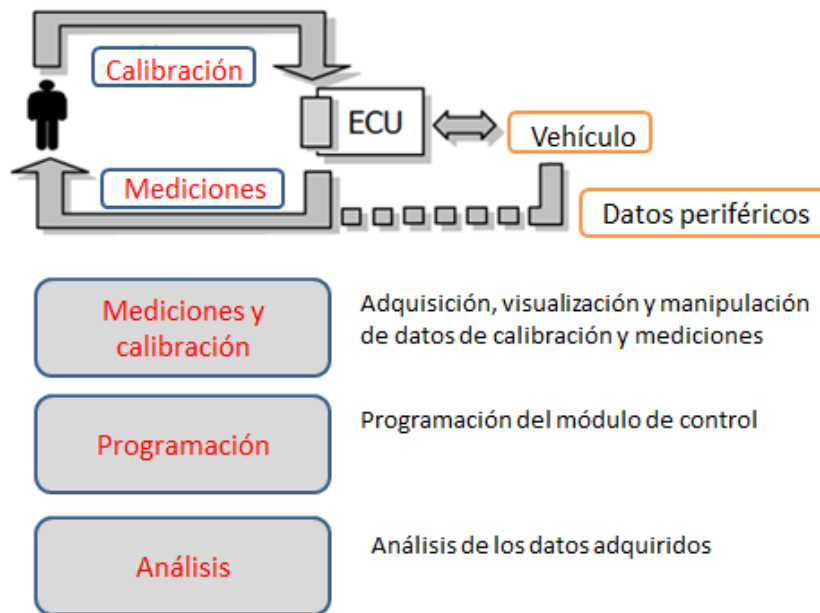


Figura 3 Ciclo de proceso de la calibración: definir valores iniciales, hacer ajustes, realizar mediciones, analizar los datos, y ajustar nuevamente.

4.2 El módulo de control

El módulo de control que se utiliza en el proceso de desarrollo no es el mismo que se utilizará en un auto de producción. El que se usa durante el desarrollo de la calibración cuenta con una interfaz capaz de permitir la modificación de la calibración en tiempo real.

Hay dos tecnologías que son las más utilizadas para comunicarse con el módulo de control. La primera es una interfaz basada en la red de CAN que tiene un controlador de software conocido como CCP (CAN calibration protocol), en este caso el módulo de control necesita memoria adicional, en comparación con un módulo de producción, para asegurar que se pueden manejar las variables de la calibración. La otra opción es equipar al módulo de control con un emulador. Éste es un dispositivo que se instala dentro del módulo de control y tiene acceso directo a lectura y escritura de datos en el bus de datos del micro controlador. También tiene memoria adicional y capacidad de procesamiento para manejar directamente la comunicación con la computadora en la que está corriendo la herramienta de calibración. En general, el emulador tiene un desempeño superior a la solución por CAN, pero su implementación es más compleja y costosa.

4.3 El software de control

Una vez que se tiene una conexión física con el módulo de control es necesario el software que contiene la lógica de control. Para esto se requieren dos partes de información: la calibración del módulo que se guarda en un archivo HEX y la información de cómo leer el archivo HEX, esto es un archivo A2L.

El archivo HEX es un archivo en binario así que se requiere de información adicional, el archivo A2L, para saber que parte de la memoria dentro del micro controlador es usada para que valor y para convertir los valores binarios a valores que pueda leer el usuario. Estos archivos HEX y A2L son estándar y se entregan con cada módulo de desarrollo permitiéndole al ingeniero calibrar el módulo.

La siguiente figura muestra las partes necesarias para crear un archivo de calibración.

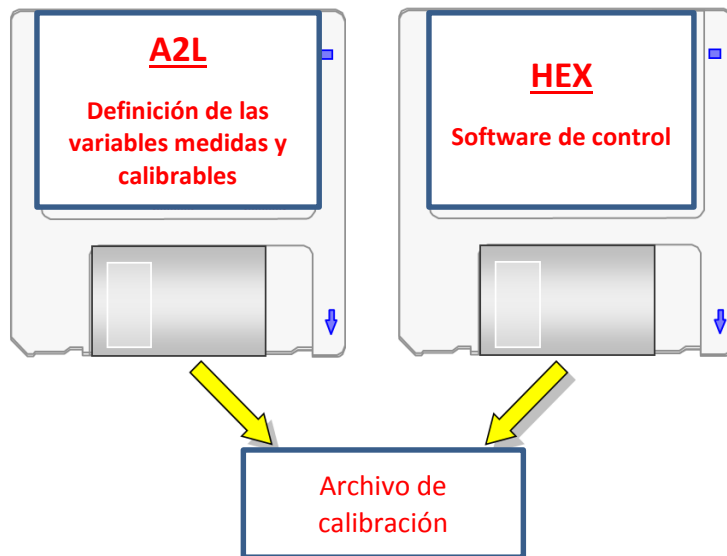


Figura 4 Un archivo de calibración completo requiere de un archivo A2L y un archivo HEX

5. Investigación de problemas de campo en autos del segmento B

Esta fue la primera actividad que se realizó dentro de la empresa. El departamento de servicio y el departamento de calidad recibieron quejas de algunos clientes cuyos autos presentaban fallas. La falla se presentaba en autos del segmento B y consistía en la caída de velocidad del motor, seguida de una oscilación continua cuando se accionaba el aire acondicionado inmediatamente después de un arranque en frío. En los casos más graves el motor se apagaba. En la siguiente figura se muestran las oscilaciones en la velocidad del motor que sucedían cuando se accionaba el aire acondicionado.

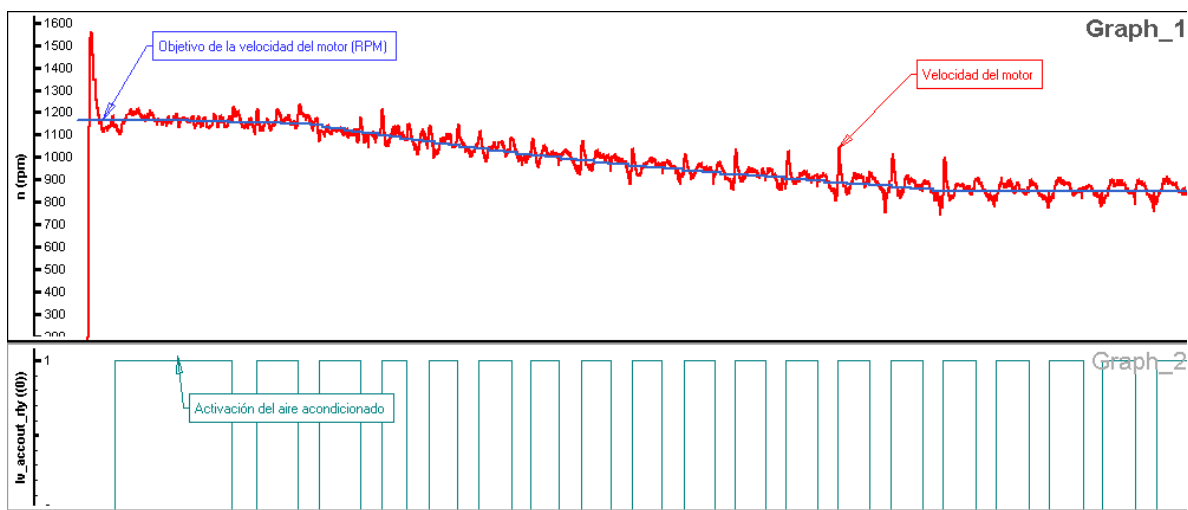


Figura 5 Oscilación en la velocidad del motor tras un arranque en frío.

Los reportes de falla tenían en común la ubicación geográfica del país en donde se estaban originando. Dado que esta zona tiene como característica una alta temperatura y una alta humedad, la práctica de encender el aire acondicionado inmediatamente después del arranque es algo que se da con frecuencia.

Una de las condiciones que propició que se involucrara el equipo de calibración de tren motriz era que no se presentaban códigos de falla (DTC) en la computadora del motor, éstos generalmente ayudan al personal de servicio a dar un diagnóstico de la falla que se está presentando y debido a su ausencia se requería de las herramientas con las que cuenta el equipo de calibración para intentar el diagnóstico.

Se realizaron pruebas a autos que se encontraban en el centro de ingeniería y en los patios de distribución de la Ciudad de México, sin embargo la falla no se presentaba en esta localidad. Esto

hizo necesario un viaje para realizar adquisición de datos directamente en los vehículos afectados también sirvió para determinar algunas posibles causas raíces con las cuales empezar la investigación. Algunas de las dos principales posibles causas raíz propuestas fueron:

- Condiciones del medio ambiente: las condiciones de temperatura, humedad y presión atmosférica que imperan en la región donde se estaba reportando la falla.
- Mala calidad del combustible: es sabido que PEMEX distribuye diferentes calidades de combustible en diferentes regiones del país y era posible que en esta región en particular el combustible fuera de muy baja calidad.

La investigación requirió la colaboración con el centro de ingeniería de Ford de la región Asia-Pacífico ya que fue ahí en donde se desarrolló la calibración original.

En total se realizaron dos viajes a la región afectada. El primero fue básicamente para realizar adquisición de datos en los vehículos afectados. Esta información sería procesada después por los equipos de calibración de Ford de México y de Ford Asia-Pacífico para determinar la causa raíz del problema.

Para el segundo viaje a la región afectada ya se habían analizado los datos tomados en el primer viaje y se habían propuesto algunas posibles soluciones. También se llegó a la conclusión de que se necesitaban datos más completos por lo que para esta segunda ocasión se instrumentó un catalizador con una sonda para medir el factor *lambda*¹.

La sonda *lambda* permitió hacer un análisis de la combustión en el momento en el que ocurría la falla. En el instante en el que embragaba el compresor del aire acondicionado, el módulo de control del motor comandaba un enriquecimiento de la mezcla aire-combustible para contrarrestar el efecto en la velocidad del motor del torque demandado por el compresor. Esto era el comportamiento esperado, sin embargo, las ganancias del controlador de la mezcla eran demasiado grandes, enriqueciendo demasiado cuando se presentaba la caída de velocidad y luego se empobrecía también con una ganancia muy alta en un intento por alcanzar la relación estequiométrica, este ciclado en la mezcla aire-combustible era lo que provocaba la inestabilidad. Esta condición se veía exacerbada por la mala calidad del combustible de la zona.

¹ El factor lambda designa la relación aire-combustible de la mezcla que entra al cilindro del motor comparada con la proporción de la mezcla en la estequiometría.

La solución consistió en un ajuste de las ganancias del controlador de la mezcla. Esto requirió una validación para evaluar el impacto en las emisiones y en la manejabilidad del vehículo. También se evaluaron diversas tolerancias en componentes del motor que en su momento fueron señalados, por otros equipos, como como posibles contribuyentes a la falla.

Una vez terminada la validación, se implementó la solución y no se volvieron a presentar casos de esta falla en campo.

* * *

6. Desarrollo y validación de la calibración para un cambio de inyectores y cuerpo de aceleración en el motor de un camión ligero

Una acción de reducción de costos motivó un cambio de proveedor de los inyectores y el cuerpo de aceleración electrónico (ETB por sus siglas en inglés) en el motor V8 de un camión ligero. Aunque la caracterización de los nuevos componentes fue proporcionada por el nuevo proveedor, era necesaria una validación para asegurar que el cambio no tendría impacto en las diferentes características de la calibración del motor como la relación aire-combustible, las emisiones, la manejabilidad y la lógica de protección del catalizador.

6.1 Emisiones de escape

La primera prueba que se realizó fue para verificar que el cambio de componentes no tendría impacto en las emisiones de gases contaminantes. Para esto la norma oficial mexicana correspondiente (NOM-076-SEMARNAT-2012) define los niveles máximos de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes de vehículos nuevos que usan gasolina como combustible y el método de prueba para evaluarlos. Para este caso se requiere el ciclo FTP75 que consiste en tres fases, en las cuales se simula la operación del motor bajo condiciones de manejo urbano. Las fases son la de arranque en frío, la transitoria y la última, de arranque en caliente (SEMARNAT, 2012).

	Estándar	HCNM g/km	CO g/km	NOx g/km	HCEv g/prueba
A	de 3,857 a 4,536 kg	0.285	3.418	0.807	3.0
	de 4,537 a 6,356 kg	0.372	4.350	1.243	3.0
B	de 3,857 a 4,536 kg	0.121	3.977	0.124	1.75
	de 4,537 a 6,356 kg	0.142	4.536	0.248	2.30

Figura 6 Límites máximos permisibles de emisión de vehículos automotores completos con peso bruto vehicular² mayor de 3,857 y hasta 6,356 kilogramos (SEMARNAT, 2012)

Después de realizar las pruebas se comprobó que los valores de las emisiones de gases contaminantes eran los mismos que con los que se homologó el vehículo en un principio ante las

² El peso bruto vehicular es el peso del vehículo expresado en kilogramos sumado al de su máxima capacidad de carga de acuerdo a las especificaciones del fabricante y al de su tanque de combustible lleno (SEMARNAT, 2012).

autoridades mexicanas, por lo que aún con los cambios se estaba cumpliendo con la Norma Oficial Mexicana correspondiente y no se necesitaban cambios adicionales en la calibración para emisiones.

6.2 Lógica de protección al catalizador

El catalizador o convertidor catalítico es el componente del escape encargado de transformar los gases tóxicos producto de la combustión en gases inocuos. Por las regulaciones internacionales vigentes es necesario el uso de catalizadores de tres vías que, mediante reacciones de oxidación y reducción convierten los hidrocarburos no quemados, los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono en bióxido de carbono y agua. Este tipo de catalizadores generalmente encuentra su máxima eficiencia entre los 300 y 870 C. Si la temperatura se encuentra por debajo de este rango la eficiencia de conversión de gases es muy baja y si lo supera, el catalizador podría sufrir daños permanentes.

Para evitar el daño al catalizador por alta temperatura, el módulo de control del motor comanda un enriquecimiento en la mezcla aire-combustible cuando la temperatura en el catalizador alcanza un cierto valor calibrado, lo cual reduce la temperatura de los gases de escape y permite controlar la temperatura en los componentes del sistema.

Con el cambio de inyectores en el motor, era necesario verificar que éstos fueran capaces de enriquecer la mezcla aire-combustible al mismo ritmo y al mismo nivel que los inyectores anteriores. Para esto se realizaron pruebas a nivel del mar, sometiendo al motor a ciclos de manejo que involucraban altas cargas y velocidades de motor. Las pruebas realizadas demostraron que los nuevos inyectores eran capaces de proveer un enriquecimiento de la mezcla tal, que permitiera controlar la temperatura en los componentes del sistema de escape, especialmente en el catalizador.

6.3 Relación aire combustible

Una de las verificaciones más críticas que había que realizar era la de la caracterización de los nuevos inyectores y cuerpo de aceleración. Esto mediante el estudio del comportamiento de la relación aire-combustible.

Como ya se explicó en el capítulo anterior, el factor *lambda* es la forma normalizada de la relación aire combustible (AFR por sus siglas en inglés).

$$\lambda = \frac{AFR_{instantaneo}}{AFR_{estequiometrico}}$$

Ecuación 1 Definición del factor lambda

La manera de verificar la correcta caracterización de los inyectores consiste en fijar el control de entrega de combustible en lazo abierto, comandar un valor de *lambda* conocido y realizar un mapeo en todas las condiciones del motor en estado estacionario. También se requiere borrar la memoria del módulo de control que guarda las correcciones de combustible que se realizan para compensar por la variabilidad y el desgaste de los componentes.

Para poder cubrir todo el rango de operación del motor fue necesario realizar las pruebas en una locación a nivel del mar, éstas se realizaron utilizando un dinamómetro de arrastre que mediante el uso de un freno eléctrico permite controlar ya sea la velocidad del vehículo o la carga de arrastre.

La prueba se realizó poblando un mapa de velocidad del motor contra carga de aire en los cilindros. La carga de aire se mide con la variable normalizada *load* que representa la comparación entre la máxima carga que podría existir en un cilindro en condiciones ideales de temperatura y presión atmosférica. Se tiene que tener en cuenta que debido a las condiciones medioambientales en las que se realizó la prueba (altas temperaturas y humedad en el aire) no se pudieron alcanzar los valores máximos de carga de aire. En las figuras siguientes se muestran los resultados del primer mapeo realizado. Al tratarse de un motor V8 se muestran los resultados para cada uno de los bancos.



Figura 7 Resultados en porcentaje de error de lambda medida contra comandada para ambos bancos del motor. Izquierda: banco 1. Derecha: banco 2.

El error máximo permitido para esta validación establecido por Ford Motor Company es +/-5% del valor de *lambda* medido contra el comandado. Como se puede observar, el error resultó mayor a ese límite en una cantidad importante de puntos. Tras una revisión más profunda de los datos obtenidos se determinó que la causa de los errores era el valor calibrado de AFR nominal que no coincidía con el de la gasolina proveída por PEMEX. Es importante mencionar que se habían realizado este tipo de pruebas con anterioridad utilizando los inyectores del proveedor anterior en el laboratorio de emisiones a la altitud de la Ciudad de México y se había encontrado la misma tendencia en cuanto al error observado. Por esta razón se determinó que se necesitaban cambios en la calibración para reducir el error a niveles aceptables.

Para encontrar el valor correcto de AFR nominal se corrieron varios ciclos de manejo con la lógica de corrección de combustible encendida. Durante estos ciclos de manejo, se hicieron grabaciones de la corrección de combustible que realizó el módulo de control hasta que se alcanzó un valor estable. Finalmente se modificó el valor del AFR nominal en la misma proporción en que el módulo de control corrigió la cantidad de combustible entregado.

Con esta modificación en la calibración se volvieron a correr los mapeos, tratándose de realizar las pruebas en las mismas condiciones en las que se realizaron la primera vez. Los resultados se muestran en la figura a continuación.



Figura 8 Resultados en porcentaje de error de lambda medida contra comandada para ambos bancos del motor después de la corrección de AFR nominal. Izquierda: banco 1. Derecha: banco 2.

El porcentaje de error se redujo considerablemente con el cambio en el AFR nominal. En un análisis posterior de los datos obtenidos durante el mapeo se encontró que los puntos que habían quedado fuera de la especificación de +/- 5% de error eran aquellos en los cuales la variación de la temperatura ambiente había sido mayor. Tomando en cuenta esto último y el hecho de que la mayoría de estos puntos sólo estuvo marginalmente fuera de especificación e consideró que el nuevo valor de AFR nominal era suficientemente bueno para incluirse en una nueva calibración para esta aplicación.

6.4 Adaptación de la calibración a un sistema que utiliza GNC como combustible

Una aplicación de este motor se vende en el mercado como un sistema *bi-fuel*, es decir ofrece la posibilidad de utilizar tanto gasolina convencional como gas natural comprimido (GNC) como combustible.

El GNC se obtiene comprimiendo gas natural a menos del 1% del volumen que ocuparía a presión atmosférica. El GNC está compuesto principalmente por metano (CH_4) y se puede obtener de yacimientos petroleros, se puede recolectar de rellenos sanitarios e incluso de plantas de tratamiento de aguas residuales en donde se le conoce como biogás.

El motor de gasolina convencional requiere de la adición de algunos componentes para poder trabajar con GNC. Principalmente requiere de un sistema de combustible adicional, dedicado al

sistema GNC, compuesto por tanques para GNC, líneas de combustible y reguladores de presión, inyectores y un módulo de control dedicado.

Al módulo de control para el sistema GNC se le conoce como AFCM por sus siglas en inglés. Este módulo se encarga de traducir los pulsos de inyección que el módulo de control del motor comanda a los inyectores de gasolina, para alcanzar un determinado valor de λ , a pulsos de inyección de los inyectores de GNC para obtener el mismo valor de λ .

El proveedor del AFCM suministra un software que permite ajustar los pulsos de los inyectores de GNC a sus equivalentes en pulsos de inyección de gasolina.

Una vez hechos los ajustes a los pulsos de inyección de GNC se corrió un mapeo en el laboratorio de emisiones para verificar el correcto comportamiento del AFR.

Los resultados se muestran a continuación.

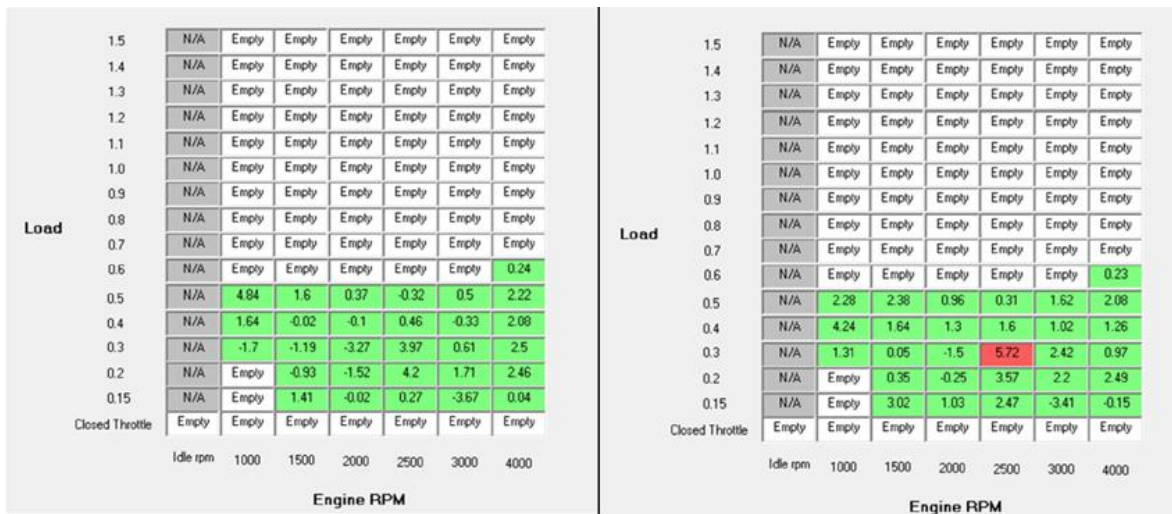


Figura 9 Resultados en porcentaje de error, de lambda medida contra comandada para ambos bancos del motor utilizando GNC como combustible. Izquierda: banco 1. Derecha: banco 2.

Los resultados obtenidos en el mapeo muestran que prácticamente todos los puntos de operación del motor probados están dentro de especificación.

Con estos resultados se pudo proceder a la liberación oficial de la nueva calibración para que la planta empezara a producir unidades con los nuevos inyectores y cuerpo de aceleración.

7. Desarrollo de la calibración para la aplicación manual del motor de un camión ligero (nuevo desarrollo)

El proyecto al cual se le dedicó más tiempo durante el periodo comprendido dentro de este reporte.

Después de participar en otros proyectos se me asignó el rol de calibrador líder en el desarrollo de una nueva aplicación para el motor V8 6.2L. Esta nueva aplicación sería la variante con transmisión manual de una línea de vehículos. La variante automática, por su lado, estaría a cargo del equipo de calibración de Ford Norteamérica.

A continuación se presentará un breve resumen de las actividades desarrolladas dentro de este proyecto.



Figura 10 Motor V8 de 6.2L montado en un banco.

7.1 Definición del plan trabajo y primeras actividades

Las actividades en este proyecto comenzaron mucho antes de tener prototipos en los cuales trabajar, por lo que las primeras acciones se enfocaron en planear la carga de trabajo que se iba a tener una vez que se tuvieran prototipos. Para esto se revisó cuáles eran los entregables requeridos para cada revisión de ingeniería marcada en el plan de desarrollo del producto de Ford Motor Company. Se definió cuáles eran los recursos necesarios y el tiempo aproximado que llevaría calibrar cada una de las características del motor. Cabe destacar que el desarrollo de esta aplicación se centraría en las características del tren motriz que eran diferentes de la variante automática, el resto de la calibración se tomaría de esa variante.

La calibración de un motor comienza con el trabajo de mapeo en un dinamómetro de banco o de motor. Esta fase no está a cargo del equipo de calibración sino del equipo de motores, así que, una parte del trabajo en esta primera etapa fue mantener reuniones de manera recurrente con el equipo encargado del mapeo ya que el resultado de su trabajo sería la calibración base que nosotros usaríamos en nuestro desarrollo.

Otra actividad en la que se trabajó durante esta etapa fue en la planeación del contenido de los primeros prototipos a construirse. Una de las decisiones fundamentales que había que tomar era qué catalizador se utilizaría con este nuevo motor. Existía la posibilidad de utilizar un catalizador de una aplicación anterior del motor o de aumentar el contenido de metales preciosos. La opción de aumentar el contenido de metales facilitaría el cumplimiento de las normas de emisiones pero aumentaría considerablemente el costo de la pieza. Por lo que era necesario evaluar si el catalizador de la aplicación anterior sería capaz de cumplir con las normas de emisiones que estarían vigentes para la duración de este nuevo programa. Para esto se realizaron pruebas de emisiones con la aplicación anterior del motor, haciendo cambios en la calibración para buscar cumplir con los estándares que estarían vigentes para la nueva aplicación. Los resultados de las pruebas mostraron que con una buena calibración el catalizador proveniente de la aplicación anterior tenía la capacidad de cumplir los estándares por lo que se decidió que los prototipos se construirían con esas partes.

7.2 Soporte a la construcción de prototipos

Para la primera construcción de prototipos se contaba sólo con la calibración base del motor proveída por el equipo de mapeo en dinamómetro. A esta calibración se le tenían que hacer algunos cambios para adaptarla a los componentes específicos contenidos en el motor con transmisión manual.

Era importante asegurar que la calibración que se utilizaría en la construcción de prototipos sería capaz de arrancar el motor y mantener un ralentí estable. Para poder probar esto, se hicieron cambios para evitar que se requiriera la señal del clutch oprimido para arrancar el motor y se probó la calibración en un prototipo con transmisión automática que ya había sido construido. El

motor arrancó y se mantuvo estable. Esto nos daba la confianza de que la calibración tenía la madurez suficiente para soportar la construcción de prototipos.

Una vez que se construyó el primer prototipo con transmisión manual surgieron algunos detalles menores que se fueron corrigiendo con cambios en la calibración hasta tener una calibración con el nivel de madurez requerido para esta etapa del desarrollo. Un ejemplo de estos detalles fue que cuando se probó el primer prototipo construido el odómetro no avanzaba ni se marcaba la velocidad del vehículo en el panel de instrumentos. Esto fue que debido a que en la aplicación automática la velocidad del vehículo se calcula a partir de la señal de un sensor de velocidad en la flecha de salida del motor, en el manual no existe este sensor, la velocidad en el manual se calcula a partir de la señal de un sensor de velocidad en la rueda que pertenece al sistema de ABS y que llega al módulo de control del motor a través de la red de CAN. En el momento de la construcción el módulo de control estaba calibrado para buscar la velocidad en la flecha de salida, así que se tuvo que cambiar para que la buscara en la red de CAN proveniente del módulo de ABS.

7.3 Trabajo de calibración en vehículo

Hasta este punto, prácticamente todo el trabajo había sido de escritorio. Una vez que el prototipo estuvo terminado y fue enviado al centro de pruebas en México, se pudo empezar con el trabajo de calibración en vehículo.

Las primeras actividades consistieron en corregir algunos errores en la calibración que todavía existían por estar utilizando la calibración base de la aplicación automática. Una vez resueltos estos errores se procedió a realizar la división del trabajo entre los diferentes miembros del equipo. Las características que me fueron asignadas fueron las emisiones y el modelo de temperatura en el sistema de escape.

7.3.1 Emisiones

La parte más importante de la calibración de emisiones tiene lugar más adelante en el proceso de desarrollo. En esta etapa inicial del desarrollo sólo era necesario envejecer un juego de catalizadores que más adelante serán utilizados para realizar pruebas de emisiones de acuerdo

con el estándar de durabilidad establecido en las normas de emisiones vigentes y aplicables al programa.

El envejecimiento de los catalizadores está a cargo del equipo de tratamiento de gases de escape y se realiza montando el catalizador en un motor que corre en un dinamómetro de banco. El combustible que se utiliza durante la prueba está mezclado con químicos que ‘envenenan’ el catalizador y aceleran el deterioro que sufre con el uso normal hasta que cumple la vida útil marcada por el estándar de durabilidad correspondiente (80,000 km, 160,000 km, etc.). Con el fin de determinar el ciclo de dinamómetro para envejecer un catalizador, el equipo de tratamiento de gases de escape necesita conocer el comportamiento térmico característico del catalizador. Éste se determina con la información obtenida de un ciclo de dinamómetro de chasis conocido como SRC³.

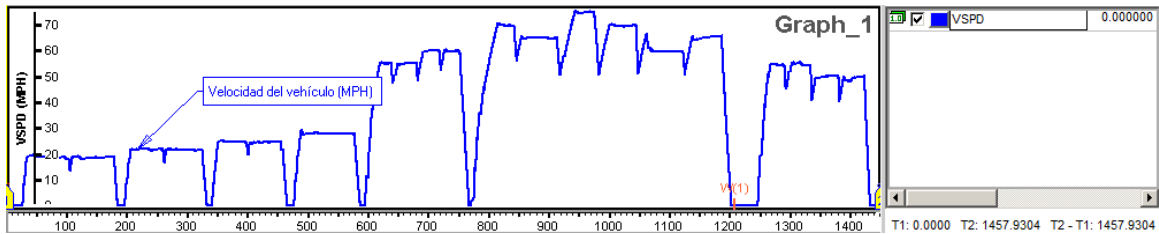


Figura 11 Perfil de velocidad del ciclo SRC.

Durante el ciclo se deben medir las temperaturas en tres puntos clave del catalizador: en la brida que conecta el múltiple de escape con el motor, antes de la pared anterior del sustrato del catalizador y en el sustrato del catalizador, por lo que se instrumentó de acuerdo a la siguiente figura.

³ Standard road cycle

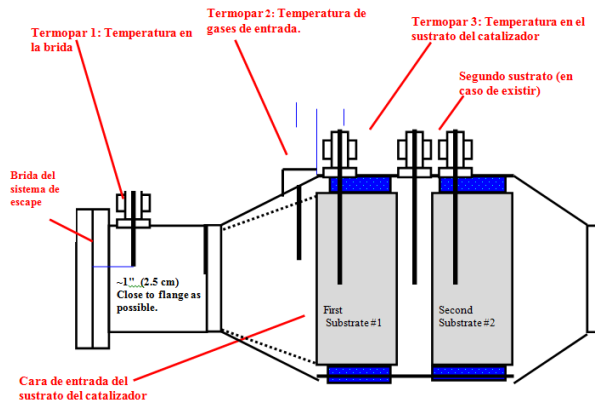


Figura 12 Diagrama de instrumentación para obtener las temperaturas del catalizador en el ciclo SRC.

Con la instrumentación instalada se corrió el ciclo SRC, que requiere que el vehículo haya estado en reposo al menos ocho horas para que el tren motriz se encuentre a la temperatura del laboratorio al momento de comenzar la prueba.

En la siguiente gráfica se muestran los perfiles de temperatura obtenidos en los tres puntos del sistema de escape.

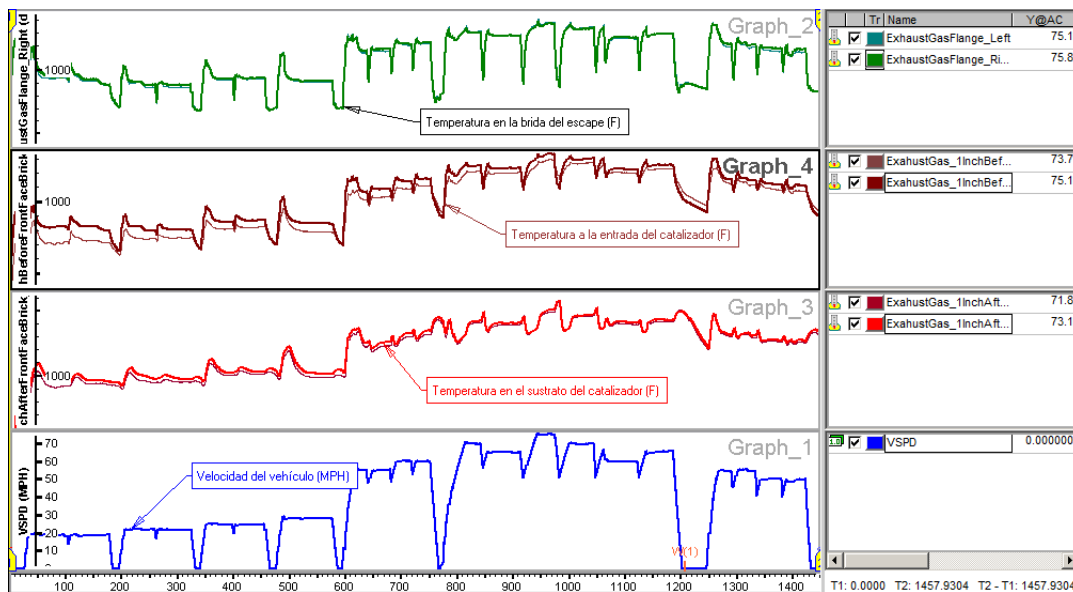


Figura 13 Perfil de temperatura para los 3 puntos instrumentados en el múltiple de escape.

La información obtenida en el ciclo SRC se envió al equipo de tratamiento de gases de escape para la determinación del ciclo de envejecimiento para los catalizadores y la regulación en cuestión. Se enviaron los catalizadores y una vez que hayan terminado su proceso de envejecimiento se podrá continuar con la calibración para emisiones.

7.3.2 Modelo de temperatura en el múltiple de escape

En general, los vehículos de producción no cuentan con sensores que permitan medir cual es la temperatura en los diferentes componentes del múltiple de escape, sin embargo, es importante que el módulo de control del motor conozca estas temperaturas para poder proteger a los componentes en caso de que se superen ciertos límites y así evitar posibles daños. También es importante conocer las temperaturas del múltiple de escape para asegurar que el catalizador siempre esté trabajando en su rango de máxima eficiencia.

La manera de conocer las temperaturas del múltiple de escape sin hacer uso de sensores es mediante un modelo que permita hacer estimaciones basadas en otras variables que si se están midiendo en el motor.

Para calibrar este modelo de estimación es necesario instrumentar el catalizador de la misma manera en la que se mostró en la figura 12 de la sección anterior ya que estas temperaturas son las principales que calcula el módulo de control.

La calibración de este modelo inicia con un mapeo en estado estacionario de la temperatura en la brida que conecta al motor con el múltiple de escape. El mapeo se realiza en un dinamómetro de chasis el cual fija una velocidad mientras que la carga de aire se varía mediante la posición del cuerpo de aceleración.

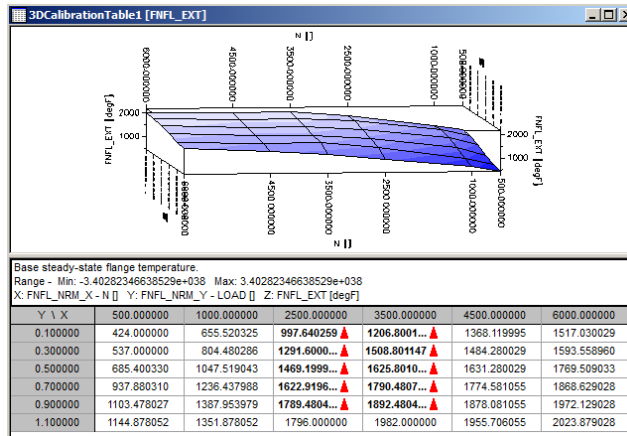


Figura 14 Mapa de carga vs velocidad de motor en el que se registran los valores de temperatura en estado estacionario de la brida.

Interpolando los valores registrados en la tabla anterior se obtiene una temperatura de la brida en estado estacionario. Ésta se filtra mediante constantes de tiempo que permiten modelar el sistema con un comportamiento dinámico de primer orden. Finalmente la temperatura

resultante del modelo de primer orden se modifica para reflejar los efectos del valor de λ , el avance de chispa, la temperatura del anticongelante, la temperatura ambiente y la posición de los árboles de levas. La estimación de la temperatura en la brida sólo será precisa en la medida en que se ajusten correctamente las constantes de tiempo y los modificadores por las demás variables del motor.

Para calcular las dos temperaturas restantes del modelo se tradujo el código C de la estrategia de control a un modelo de Simulink en Matlab. Esto permitió realizar iteraciones virtuales sin necesidad de correr múltiples ciclos de dinamómetro para probar los cambios realizados a la calibración, lo cual permitió ahorrar tiempo y recursos.

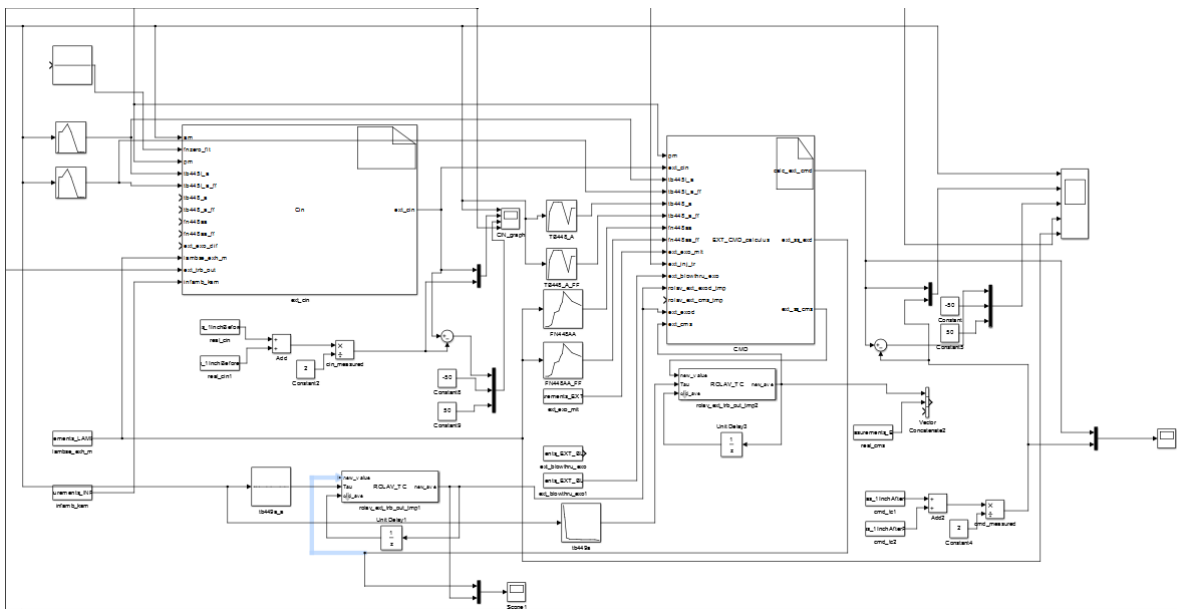


Figura 15 Modelo en Simulink utilizado para calcular la temperatura de los gases de escape a la entrada y en el sustrato del catalizador

La segunda temperatura que estima el modelo es la de los gases a la entrada al sustrato del catalizador. Ésta se calcula simplemente como una pérdida de calor de los gases en el trayecto de la brida al catalizador como función del flujo másico de aire en cada instante. Esta se calibra comparando las temperaturas medidas en la brida y en la entrada al catalizador para cada flujo másico de aire.

La última temperatura a calcular es la del sustrato del catalizador. Éste es un ladrillo cerámico compuesto por pequeñas celdas, tratado superficialmente con un baño de metales preciosos y es el responsable de realizar la conversión de los gases nocivos en gases inocuos.

El cálculo de ésta temperatura es el más crítico ya que de él depende la lógica de protección al catalizador que evita que el baño de metales preciosos o el sustrato sufran daños por temperatura.

Para obtener la temperatura en el sustrato, se filtra la temperatura de entrada para modelar la capacidad del sustrato de almacenar calor, otra vez como un sistema dinámico de primer orden. Posteriormente se le agrega el efecto exotérmico de la reacción del catalizador, esta reacción se modela en función del flujo másico de aire, y finalmente se modifica de acuerdo a la composición de la mezcla aire-combustible.

Una vez que se tuvo una calibración que mostrara un buen grado de correlación entre las temperaturas medidas y las estimadas se realizó un viaje a Acapulco para hacer la validación del modelo y comprobar la robustez del mismo. Se escogió Acapulco porque el ascenso de Acapulco a Chilpancingo somete al motor a un grado de exigencia importante en el que se alcanzan altas cargas y velocidades de motor durante periodos prolongados de tiempo, lo cual representa el escenario perfecto para probar cuan precisa y robusta es la calibración del modelo.

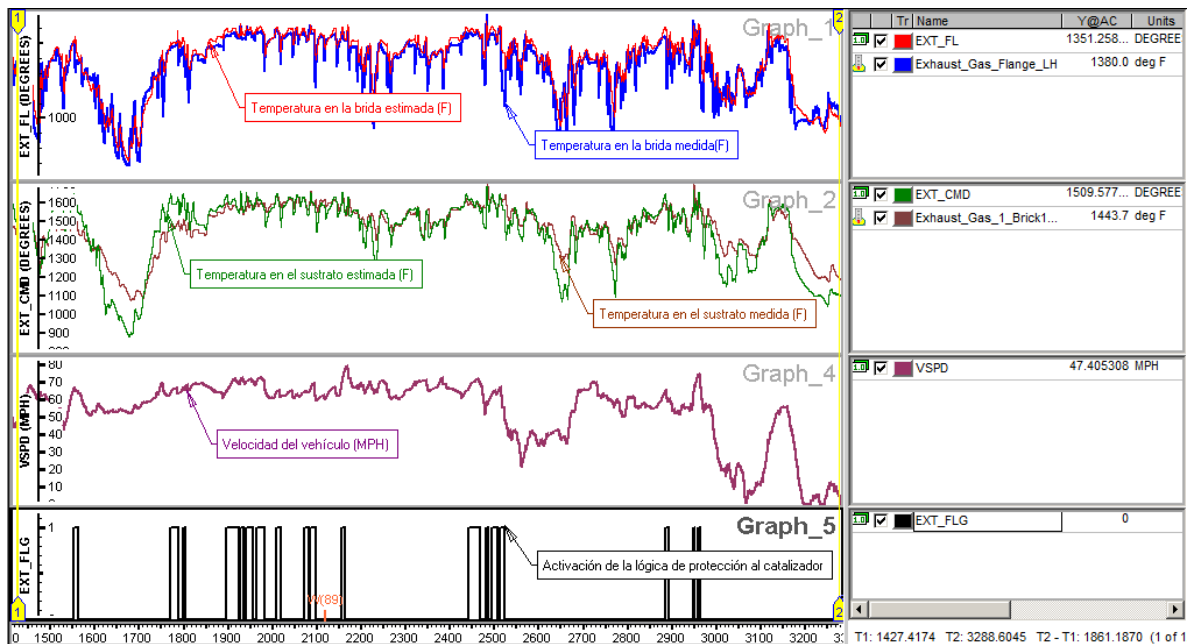


Figura 16 Comportamiento de las temperaturas de la brida y el sustrato del catalizador durante el ascenso de Acapulco a Chilpancingo. Se muestran también los momentos en los que se activa la lógica de protección al catalizador.

Con esta validación se dio el visto bueno para incorporar los cambios realizados a la calibración del modelo a la calibración base. En la gráfica anterior se puede observar el comportamiento de

las temperaturas estimadas y también la correcta activación de la lógica de protección al catalizador que enriquece la mezcla aire-combustible lo cual enfría los componentes del escape.

8. Evaluación del impacto en la calibración de un cambio de material del sensor de temperatura en la cabeza para el motor 6.2L

En este proyecto se evaluó el impacto que podría tener en la calibración un cambio en el material del sensor de temperatura de la cabeza del motor. Esto debido a que existe una importante interacción entre la temperatura medida por el sensor CHT y la temperatura inferida por el módulo de control del anticongelante del motor (ECT por sus siglas en inglés) así como con la lógica de refrigeración a prueba de fallos (FSC por sus siglas en inglés).

El objetivo era validar la transparencia del cambio de material en el sensor para la calibración bajo una amplia variedad de condiciones y temperaturas.

8.1 Razón del cambio

Una acción de reducción de costos provocó un cambio en el material del sensor CHT (temperatura de la cabeza del motor) de latón a aluminio para el motor V8 de 6.2L. Se requería de una evaluación para determinar si este cambio implicaría una actualización en la calibración del motor.

8.2 Interacción entre CHT y ECT

El sensor CHT es un termistor montado en la cabeza del motor cerca del tren de válvulas. Esta ubicación proporciona una relación precisa con la temperatura del motor durante un evento de pérdida de anticongelante.

El valor leído por el sensor CHT es la principal entrada al modelo de inferencia de ECT, un valor correcto de ECT en la calibración es importante por dos principales razones:

- Todo el mapeo del motor se realiza como una función de la temperatura del anticongelante por lo que un correcto valor de ECT es esencial para que los valores obtenidos durante el mapeo sean válidos.
- La demanda de combustible del motor ha demostrado correlacionar mejor con el valor de ECT que con CHT. En realidad, la demanda de combustible es una función de diferentes temperaturas en el motor, como la temperatura en los puertos de inyección, las válvulas de admisión, la cámara de combustión etc. Ninguno de estos valores correlaciona

perfectamente con la demanda de combustible pero el ECT sigue mejor las tendencias que el CHT.

8.2.1 Resumen de la calibración del modelo de inferencia de ECT

La calibración del modelo de inferencia de ECT consta de cuatro partes:

- i. Una medida en estado estacionario de la diferencia entre la lectura del sensor CHT y la temperatura del anticongelante medida mediante un termopar.
- ii. Un ajuste a la temperatura en estado estacionario como función de CHT.
- iii. Constantes de tiempo con las cuales se filtra la señal para darle las características de un sistema dinámico de primer orden al cálculo en estado estacionario. Esto modela la capacidad para almacenar calor del anticongelante.
- iv. Modificaciones para operación en frío del motor. Después del arranque del motor, transcurre una cierta cantidad de tiempo hasta que CHT y ECT alcanzan su diferencia de estado estacionario que no puede ser modelada mediante el filtro con constantes de tiempo.

8.3 Interacción entre CHT y la lógica de refrigeración a prueba de fallos.

Una falla en el sistema de enfriamiento del motor tal como un nivel bajo de anticongelante o la pérdida de éste podría causar daño significativo al motor antes de que el usuario se dé cuenta de que existe un problema. El sistema refrigeración a prueba de fallos (FSC por sus siglas en inglés) alerta al usuario de que existe un problema con el sistema de enfriamiento, protege al motor y provee de capacidad limitada al motor para que se pueda llegar a un centro de servicio.

El sistema FSC reduce la cantidad de calor generada por el motor mediante la desactivación de inyectores.

Antes de desactivar los inyectores, la estrategia de control alerta al usuario de que hay un problema moviendo el indicador de temperatura al nivel máximo y activando alarmas visuales y auditivas.

La estrategia provee control de la temperatura del motor cuando la temperatura de la cabeza excede ciertos límites calibrables. Todas las temperaturas para la lógica de FSC corresponden a valores del sensor CHT.

8.3.1 Descripción de la estrategia de control

Los siguientes pasos describen como opera la estrategia de FSC:

- i. **Alerta temprana:** cuando el valor de CHT excede el valor calibrado de alerta temprana, el indicador de temperatura en el panel de instrumentos se fija en su máximo valor. Se activa un primer código de falla para diagnóstico (DTC por sus siglas en inglés).
- ii. **Activación del sistema:** Cuando el valor de CHT excede el valor calibrado de activación de la lógica, la estrategia comanda el número de inyectores que deben desactivarse. Asimismo se activa el indicador de fallo en el motor y se activa un segundo DTC.
- iii. **Retraso por WOT:** cuando el cuerpo de aceleración del motor se encuentra totalmente abierto por una demanda del usuario, es decir, el pedal del acelerador está presionado hasta el fondo (a esta condición se le conoce como WOT) y el valor de CHT excede el valor calibrado de activación de FSC, todos los inyectores se mantienen activos por una cantidad de tiempo calibrable, con el fin de permitirle al usuario completar una maniobra de rebase.
- iv. **Todos los inyectores en espera:** cuando el motor está en ralentí, todos los inyectores pueden mantenerse activos para evitar detonaciones por chispa y que el motor se detenga.
- v. **Temperatura máxima excedida:** cuando el valor del CHT excede la temperatura máxima calibrada en el controlador, se puede desactivar otro inyector.
- vi. **Se mantiene la temperatura por encima del máximo:** la estrategia puede continuar desactivando inyectores hasta que se alcance máximo número de inyectores apagados que todavía permitirían mantener el motor encendido.
- vii. **Vehículo deshabilitado:** cuando el valor de CHT excede la temperatura crítica calibrada, se comandará el apagado de todos los inyectores.

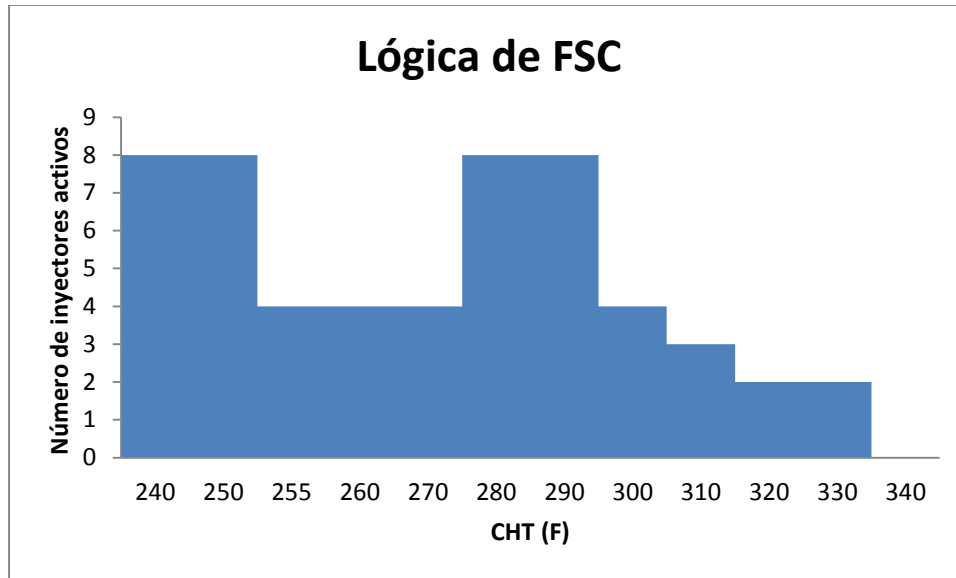


Figura 17 Número de inyectores deseados vs CHT [F]

8.4 Equipo e instrumentación utilizados

- Termopares ubicados en puntos estratégicos de temperatura del motor.
- ETAS-INCA para hacer la adquisición de datos tanto del PCM como de la instrumentación instalada.

8.5 Pruebas realizadas

8.5.1 Simulación de manejo en camino

Se utilizó una combinación de ciclos FTP75 y US06 en un dinamómetro de chasis para simular manejo en camino. Durante la etapa US06 del ciclo, el motor es sometido a altas cargas y velocidades lo que aumenta rápidamente su temperatura.

Se hizo una comparación A contra B para ambos sensores de CHT y ECT inferido así como un cálculo de error de ECT medido contra inferido.

En la siguiente figura se muestran las señales inferidas de ECT para ambos sensores así como el perfil de velocidades del ciclo FTP75.

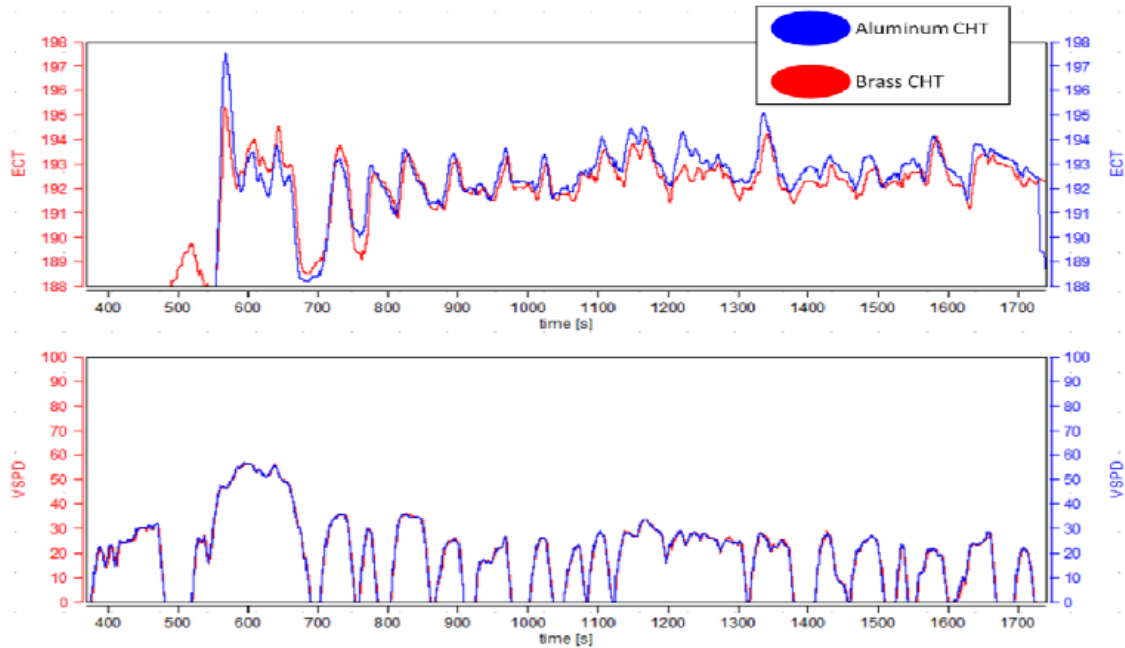


Figura 18 Arriba: ECT inferido [F]. Abajo: Perfil de velocidad ciclo FTP75 [mph]

En la figura se muestra el comportamiento del ECT inferido para ambos sensores en el ciclo US06:

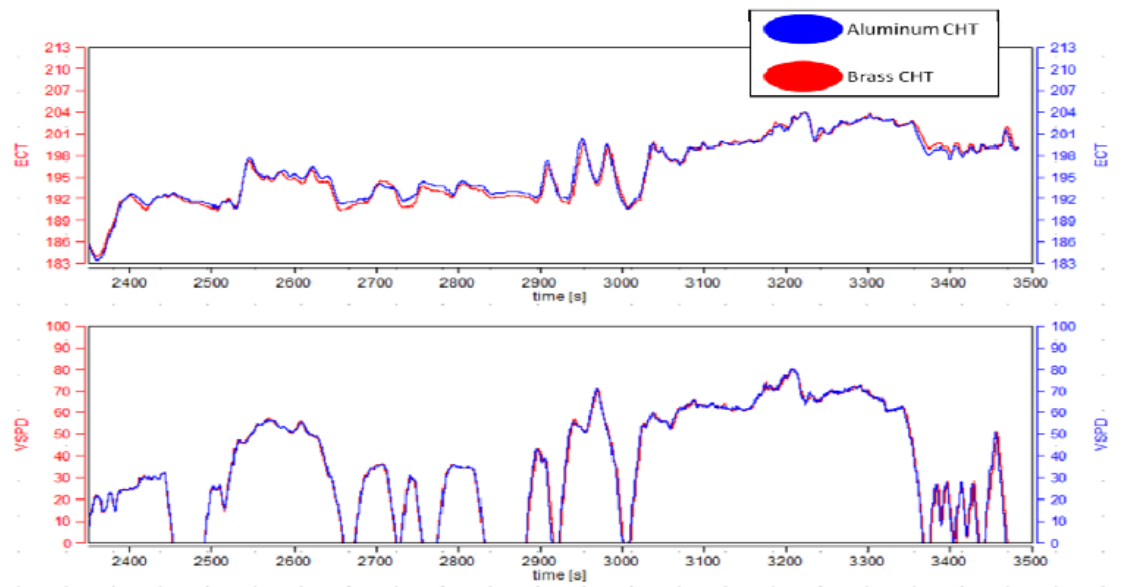


Figura 19 ECT inferido [F]. Abajo: Perfil de velocidad ciclo US06 [mph]

A continuación se muestra para ambos ciclos la comparación entre la temperatura del anticongelante medida por un termopar ubicado en la posición en donde se tendría un sensor de ECT y el valor de ECT inferido por el módulo de control, el caso más crítico es el del ciclo US06.

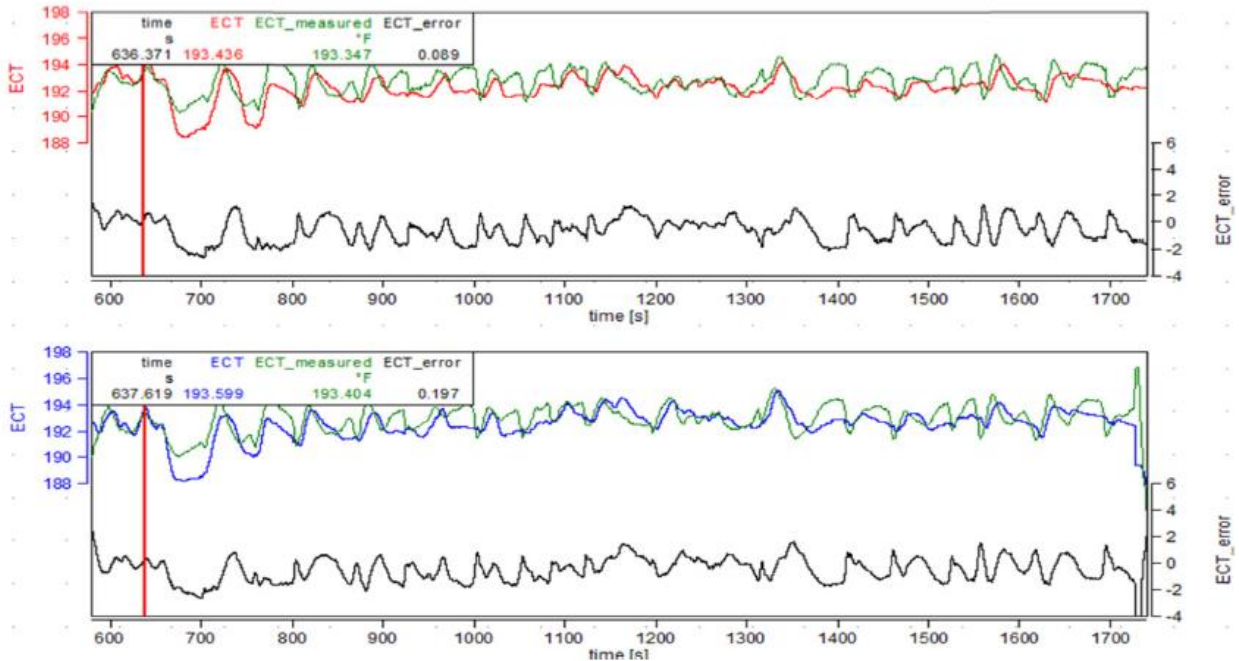


Figura 20 Comparación entre ECT medido e inferido y cálculo de error para el ciclo FTP75 (arriba: latón, abajo: Al)

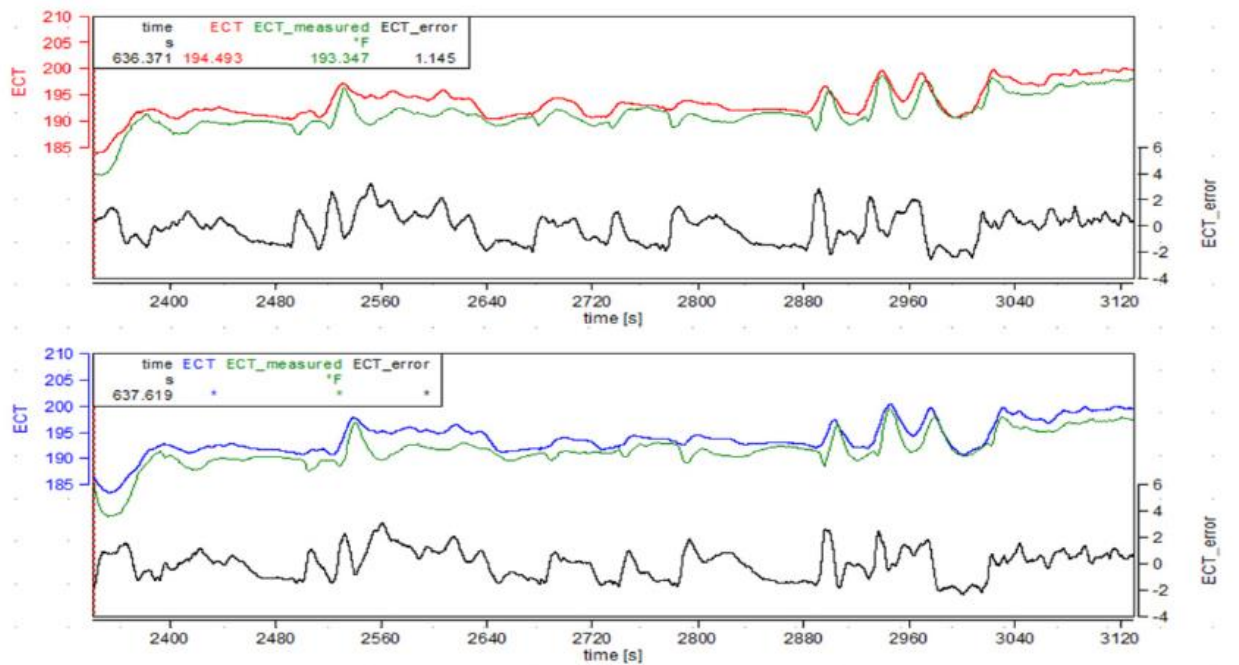


Figura 21 Comparación entre ECT medido e inferido y cálculo de error para el ciclo US06 (arriba: latón, abajo: Al)

Se concluye a partir de los resultados obtenidos que aun cuando la calibración del modelo de ECT se puede mejorar (dependiendo en la capacidad del modelo), ambos sensores exhiben un comportamiento similar. El máximo error relativo entre el valor inferido de ECT y el medido para el nuevo sensor de aluminio es de +/- 4 F lo cual es consistente con el sensor de latón.

8.5.2 Arranque del motor en frío

Como ya se mencionó, la temperatura de la cabeza del motor se utiliza para inferir la temperatura del anticongelante y esta temperatura se usa para calcular la demanda de combustible del motor. Durante un arranque en frío la temperatura del refrigerante tiene un gran impacto en el desempeño del motor y puede causar que éste no arranque o se apague.

Para probar el comportamiento del nuevo sensor CHT de aluminio se realizaron arranques en frío dentro de una cámara ambiental a 0 F (-18 C). En esta prueba se analizan el desempeño del motor en arranque, el flujo másico de combustible demandado y las temperaturas de los componentes. La parte más crítica analizada en esta prueba es el perfil inicial de velocidad del motor en el arranque y el cálculo de la temperatura del anticongelante, sin embargo, también se analizaron el perfil de velocidad del motor durante el calentamiento y los perfiles de temperaturas.

En la siguiente figura se muestra el perfil de velocidad del motor durante el arranque para ambos sensores:

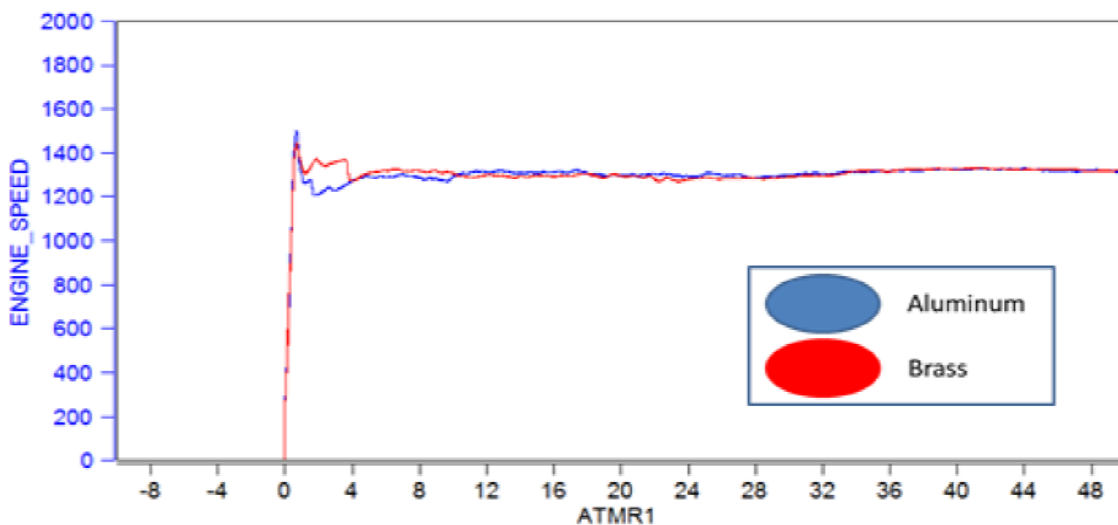


Figura 22 Perfil de velocidad del motor durante el arranque a 0F

Uno de los requerimientos corporativos más importantes es que el sobrepaso al arranque no supere las 1800 RPM, dado que esto se cumple para ambos sensores se puede inferir que el cálculo de ECT se está realizando de manera correcta.

Se revisa a continuación el comportamiento tanto de CHT como de ECT inferido para ambos sensores.

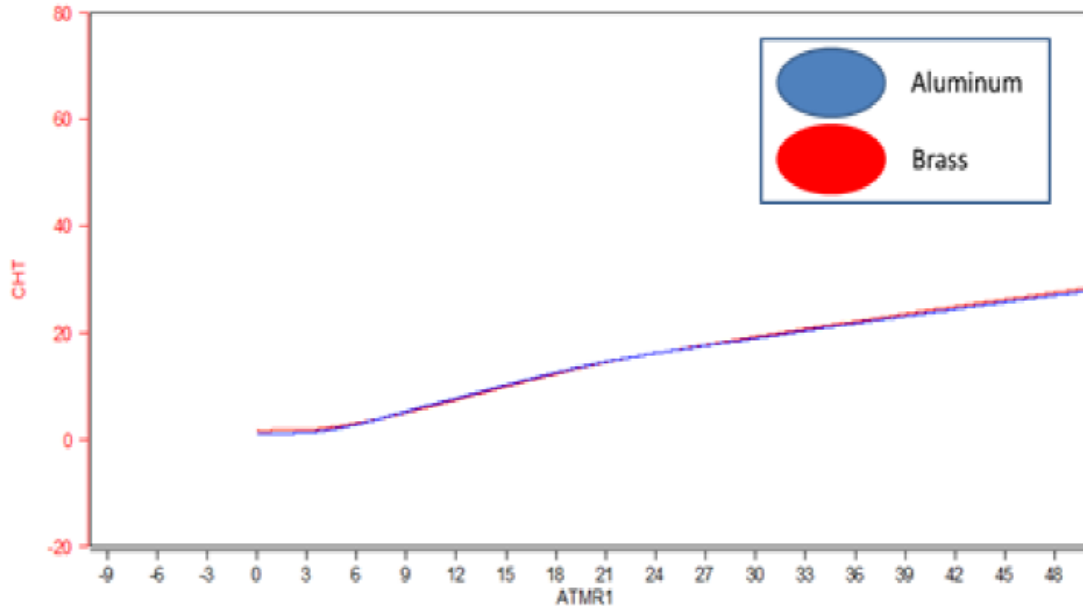


Figura 23 Valor de CHT para ambos sensores en arranque a 0 F

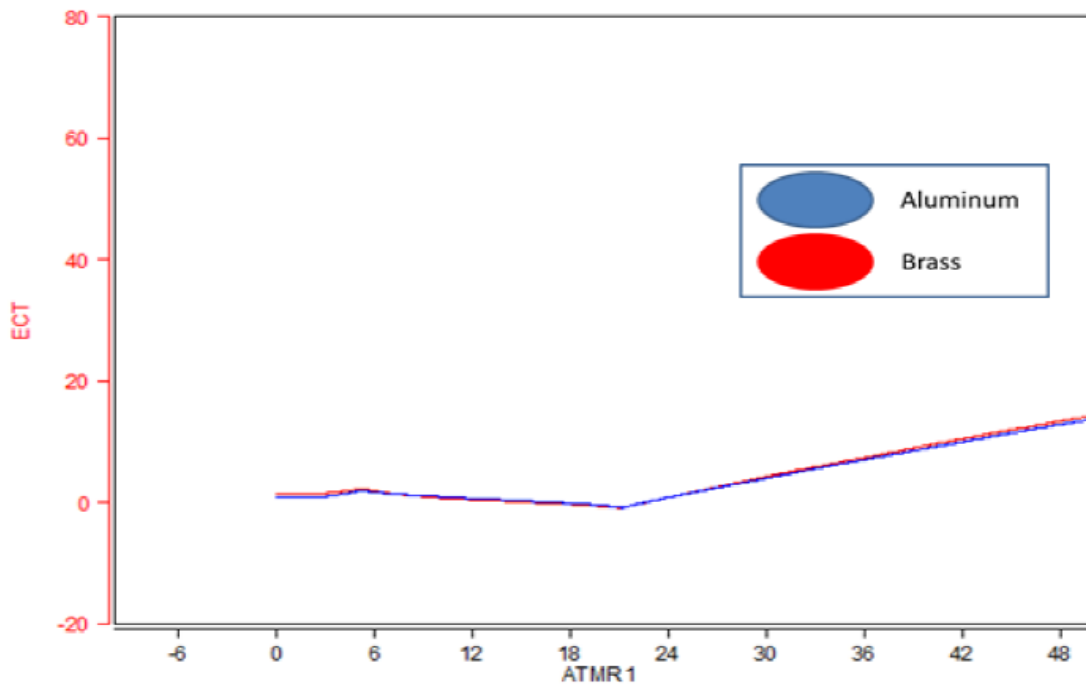


Figura 24 Valor de ECT [F] inferido para ambos sensores

Ahora se grafica el perfil de temperaturas para evaluar el comportamiento de ambos sensores durante el calentamiento del motor, esto es en un rango de 0 a 200 F.

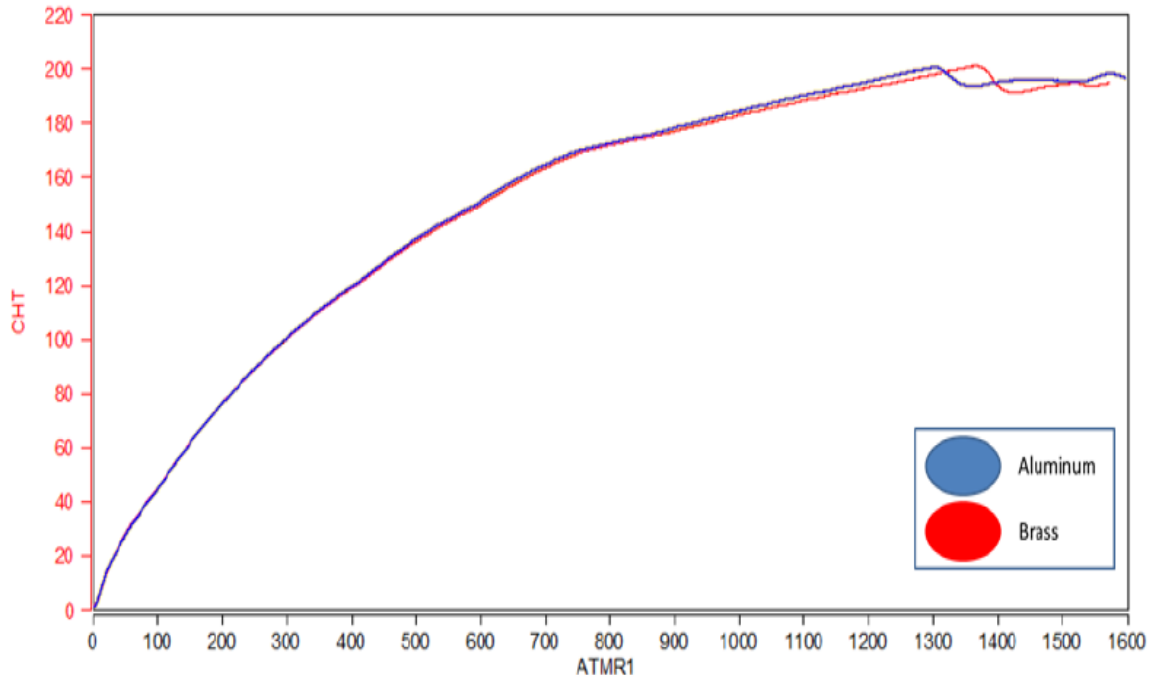


Figura 25 Valor de CHT [F] durante el calentamiento del motor

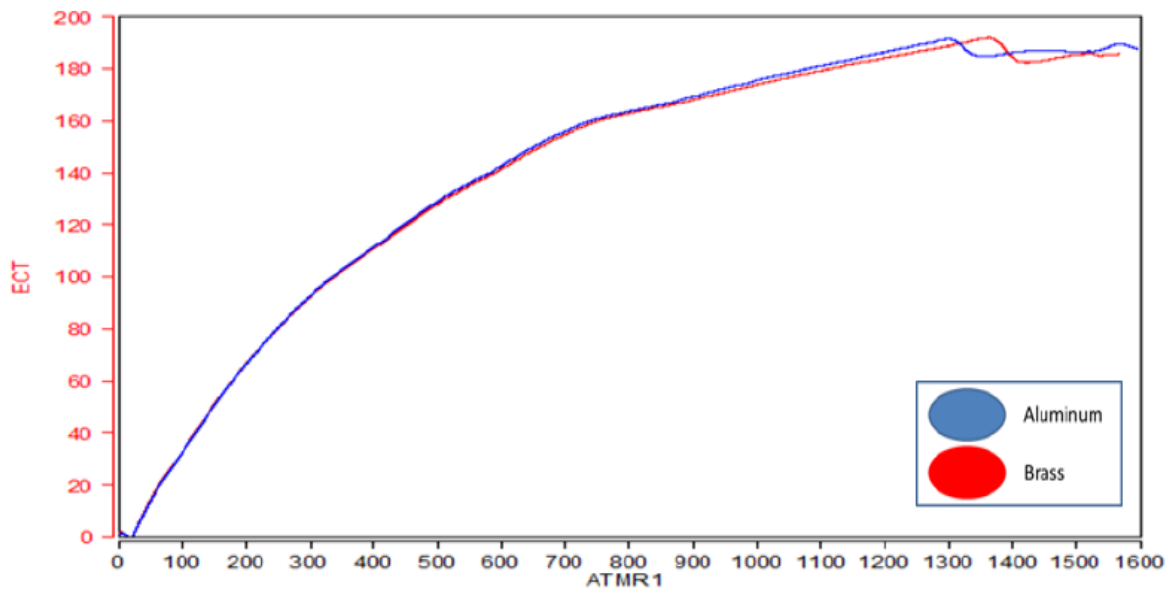


Figura 26 Valor de ECT inferido durante el calentamiento de 0 a 200 F

Finalmente se muestra en la siguiente figura el perfil de velocidad del motor en ralenti durante el calentamiento de 0 a 200 F.

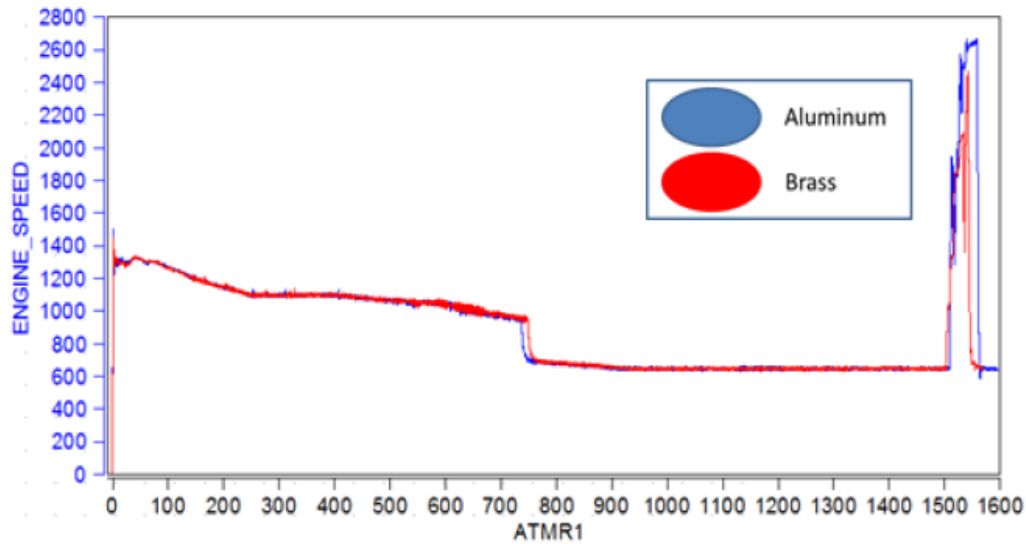


Figura 27 Perfil de velocidad del motor [RPM] en ralentí durante el calentamiento

Se puede observar que la velocidad del motor en ralentí alcanza el valor base calibrado prácticamente en el mismo tiempo para ambos sensores. Dado que la forma de este perfil de velocidad depende principalmente de ECT podemos concluir que ambos sensores están teniendo el mismo desempeño. Los resultados indican que el cambio de sensores no afectará el desempeño del motor durante los arranques y que los sensores tienen un comportamiento similar en el rango de temperaturas de 0 a 200F.

8.5.3 FSC (refrigeración a prueba de fallos)

El sensor CHT es crítico para monitorear la temperatura del motor cuando ésta alcanza valores demasiado altos. Esta señal se usa para aplicar diferentes estrategias de manejo de efectos de modos de falla (FMEM por sus siglas en inglés) a la operación del motor para enfriarlo y así evitar cualquier daño.

La siguiente prueba se realizó para verificar que ambos sensores se desempeñan de la misma manera bajo cambios más agresivos de temperatura y para comprobar la correcta activación de los modos FMEM.

La prueba consistió en arrancar el vehículo y permitirle al motor alcanzar una temperatura estable (190 F) y en ese momento drenar el anticongelante del motor. Se dejó que la temperatura se elevara con el motor en ralentí y una vez alcanzada la temperatura crítica se accionó el acelerador para comprobar la correcta desactivación de los inyectores.

A continuación se muestra el comportamiento de las señales de CHT y ECT inferido y se resalta la región de la gráfica en la que se dio la pérdida de anticongelante.

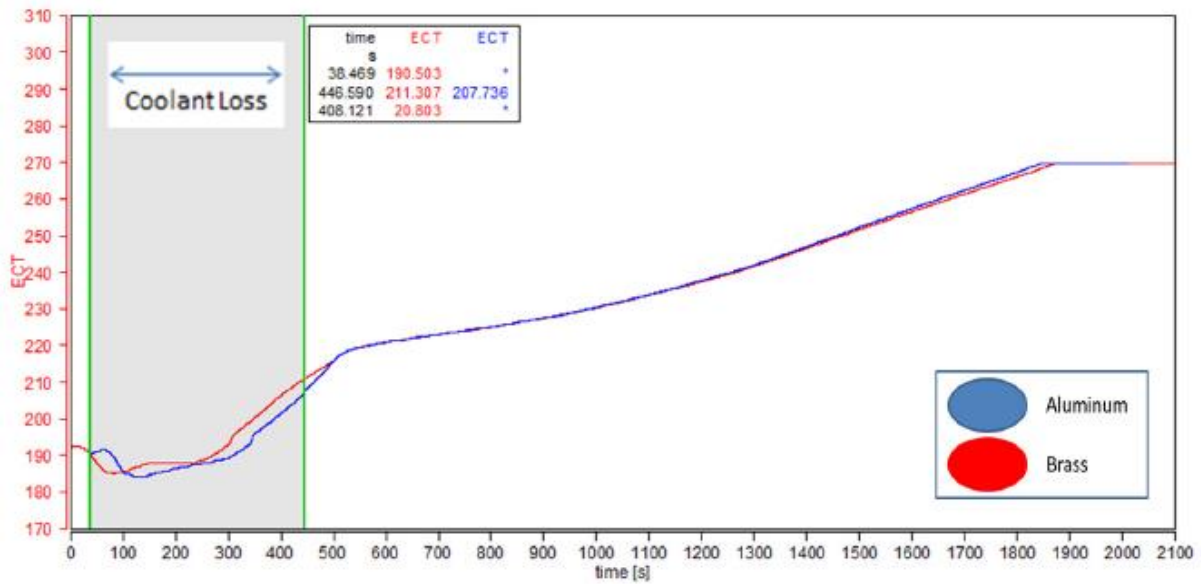
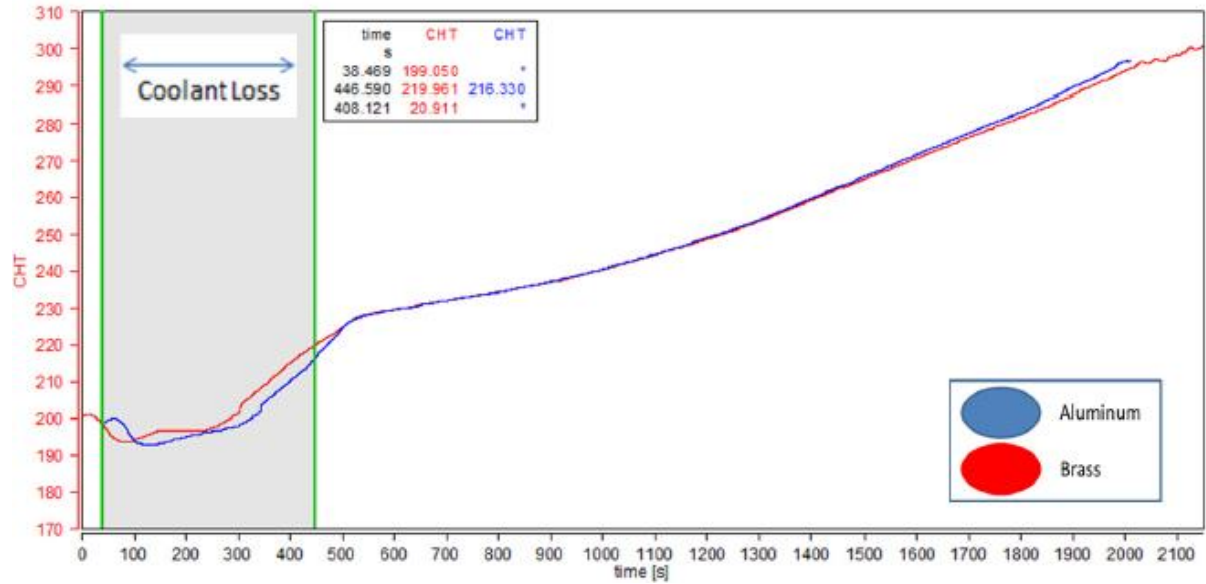


Figura 28 CHT y ECT inferido [F] durante y después de la pérdida de anticongelante.

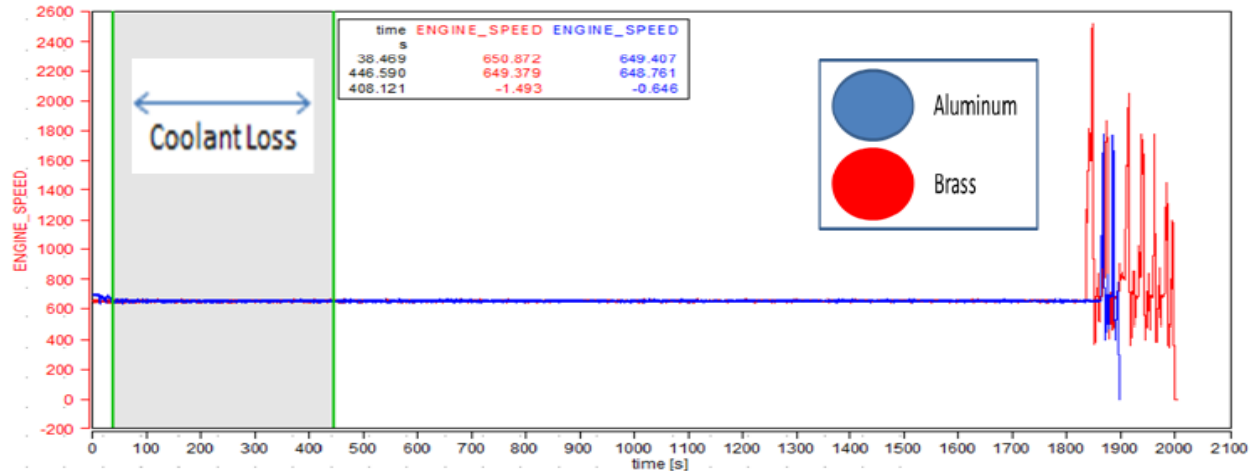


Figura 29 Velocidad del motor [RPM] durante las pruebas de ambos sensores

Se observa en las gráficas que tanto la señal de CHT como la señal de ECT inferido son consistentes para ambos sensores, el aumento de temperatura es medido igual por el sensor de latón que por el sensor de aluminio.

La velocidad del motor se mantiene constante hasta el final de la prueba cuando se acciona el acelerador.

Los modos de falla y DTC esperados en estas pruebas se explican a continuación:

- P1285 – Etapa I de exceso de temperatura; se activa cuando $CHT > CHTIL_MAX$.
- P1299 – Etapa II de exceso de temperatura; se activa cuando $CHT > CHT_CRIT_SH_A$.
- FSC – Estrategia de enfriamiento basada en la señal de CHT. El objetivo es proteger al motor en caso de un falla del sistema de enfriamiento y proveer de capacidad limitada para llegar a una estación de servicio:
 - COOL_FLG_PRE – bandera que se levanta para indicar que la temperatura máxima se está alcanzando.
 - COOL_FLG – bandera que indica que se han alcanzado las condiciones de exceso de temperatura.

En las figuras siguientes se muestran las temperaturas a las cuales se activan los modos de falla y los DTC correspondientes para cada uno de los sensores.

Sensor de latón

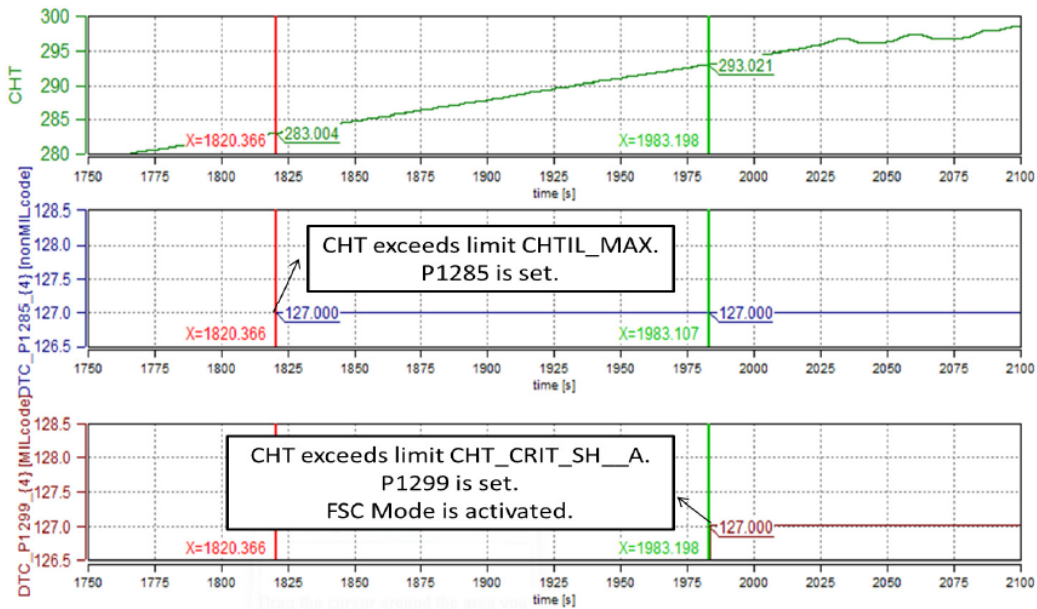


Figura 30 Temperaturas de activación de los códigos P1285, P1299 y de la bandera COOL_FLG_PRE.

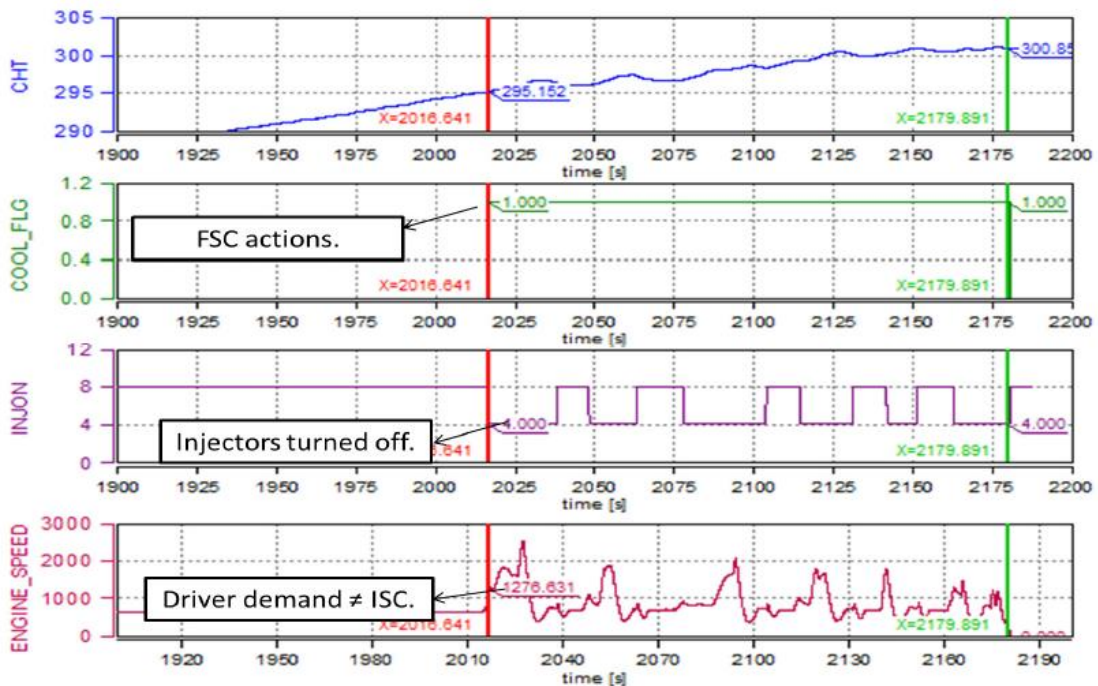


Figura 31 Se muestra la temperatura de activación de COOL_FLG y desactivación de inyectores cuando la demanda de torque es diferente a ralentí.

Sensor de aluminio

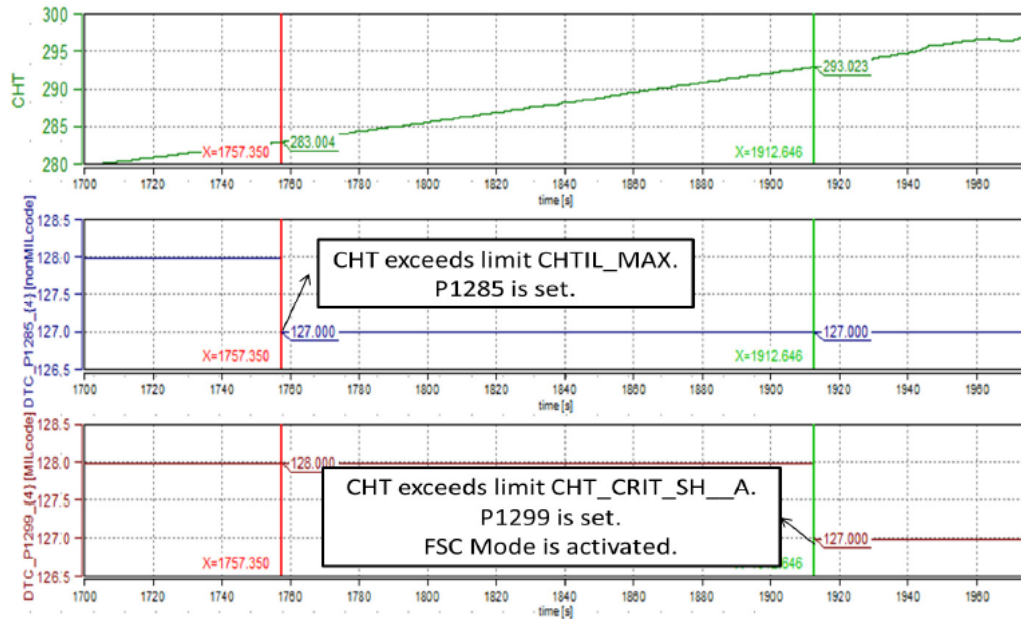


Figura 32 Temperaturas de activación de los códigos P1285, P1299 y de la bandera COOL_FLG_PRE.

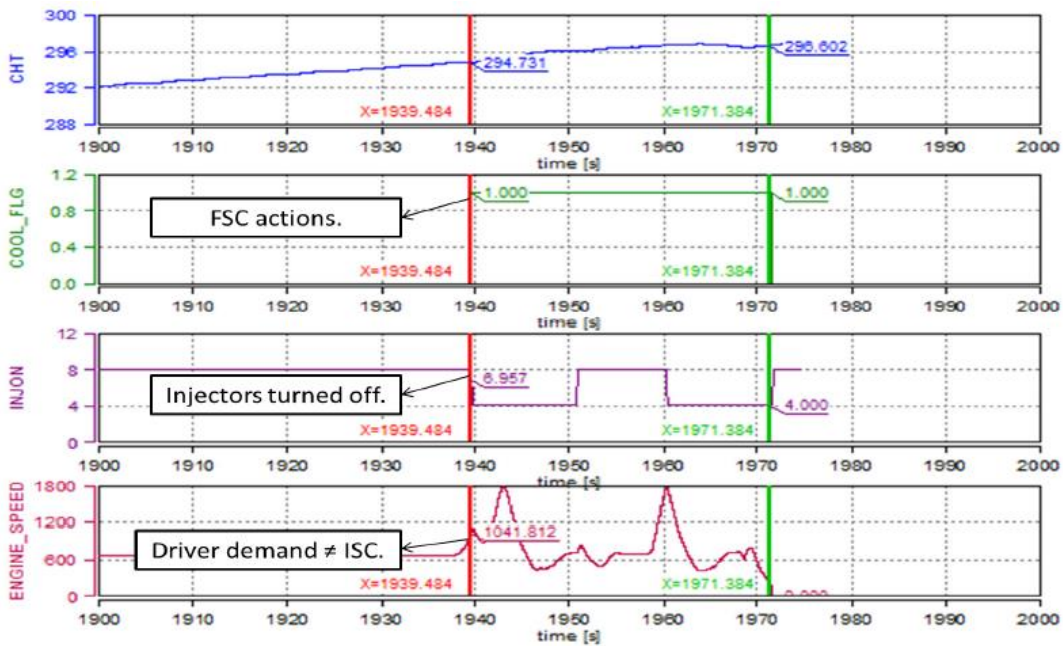


Figura 33 Se muestra la temperatura de activación de COOL_FLG y desactivación de inyectores cuando la demanda de torque es diferente a ralentí.

Condition	CHT (Brass) [°F]	CHT (Aluminum) [°F]
P1285	283.004	283.035
COOL_FLG_PRE	293.003	293.032
P1299	293.003	293.032
COOL_FLG	295.152	294.732

Figura 34 Temperaturas a las cuales se activaron los códigos y modos de falla para ambos sensores.

Se observa que con ambos sensores se activan los códigos y modos de falla correspondientes y se disparan las acciones de mitigación para controlar el aumento de temperatura hasta que el motor se apaga.

La intención de estas pruebas fue cubrir el rango más amplio de condiciones de operación del motor posible.

Las pruebas realizadas muestran que el nuevo sensor tiene el mismo comportamiento, respuesta y desempeño general que el sensor al cual reemplaza.

Para el caso específico del modelo de ECT, si bien la calibración del modelo podría mejorarse, ambos sensores muestran el mismo comportamiento y dado que no se han presentado problemas en campo relacionados a esto, no se considera introducir cambios por el momento.

En resumen, los resultados mostraron que el cambio en el material del sensor será transparente y que no requerirá cambios en la calibración.

* * *

9. Conclusiones

9.1 Acerca del trabajo en Ford Motor Company

Durante este periodo trabajando en el área de calibración y controles de tren motriz en Ford Motor Company he tenido la oportunidad de aplicar constantemente los conocimientos que he adquirí a lo largo de los años de estudio den la Facultad de Ingeniería de la UNAM y complementarlos con los conocimientos provenientes de la empresa, de la industria y del trabajo en equipo con ingenieros de diferentes grados de experiencia.

He aprendido a usar las herramientas de calibración y a realizar las pruebas y análisis correspondientes para poder generar entregables que cumplan con los requerimientos de la empresa. Aun cuando el área de calibración se divide en una gran cantidad de sub-áreas que a su vez están cambiando y evolucionando constantemente, por lo que es difícil realmente tener conocimientos profundos de todas, durante este tiempo he tenido la oportunidad de desarrollar prácticas de ingeniería que me han permitido encarar los problemas de ingeniería de manera eficiente para poder entregar los resultados esperados.

La experiencia de trabajar con ingenieros de diferentes partes del mundo ha sido una de las más enriquecedoras para mi formación como profesionista, ya que me ha proporcionado una visión de cómo enfrentan a los problemas y plantean las soluciones ingenieros con diferente cultura y pasado técnico.

En resumen, el centro de ingeniería de Ford Motor Company me ha ofrecido la oportunidad de desarrollar mi profesión practicando la ingeniería a un alto nivel, haciendo un gran uso de los conocimientos adquiridos en la Universidad y todo esto con el fin de colaborar al desarrollo de productos de los cuales el cliente espera el máximo grado de calidad y experiencia tecnológica.

9.2 Acerca de mi formación universitaria

La Facultad de Ingeniería de la UNAM me proporcionó la formación integral que un profesional de la ingeniería mecánica requiere para desempeñarse de manera exitosa en el mundo laboral. Una de las grandes fortalezas de la FI es la mezcla que tienen la mayoría de sus profesores de

experiencia académica, experiencia en la industria y experiencia en la investigación. Esto me dio una amplia visión de lo que sería el ejercicio de la profesión.

El nivel de conocimientos técnicos que se obtienen en la Facultad de Ingeniería de la UNAM es de lo más alto y completo que se puede encontrar entre las instituciones de educación del país y todos los complementos culturales y deportivos disponibles en la Universidad contribuyen a formar profesionistas íntegros que suman a su gran formación técnica un gran sentido de ética y responsabilidad social.

Una de las actividades que mejor complemento mi formación en las aulas fue mi participación en el proyecto Fórmula SAE en el cual se desarrolla un prototipo de auto de competencia tipo fórmula. En este proyecto tuve la responsabilidad de diseñar los sistemas de dirección y suspensión durante mis dos años de participación. Durante el tercer año tuve la oportunidad de compartir los conocimientos y experiencia que había adquirido con los integrantes que se iban uniendo al proyecto.

Algunas de las áreas de mi formación en las que más impactó mi participación en Fórmula SAE fueron: en la capacidad de trabajar en equipo, en el sentido de responsabilidad y compromiso para entregar resultados y en el desarrollo de buenas prácticas de ingeniería. En resumen, este proyecto resultó ser el complemento práctico ideal a la formación y conocimientos teóricos obtenidos en las aulas, por lo que creo que la Facultad debe incentivar más la participación de sus estudiantes en este tipo de proyectos extracurriculares.

Si bien los conocimientos con los que cuentan los egresados de la FI de la UNAM son excelentes, a veces tenemos dificultades para expresarlos y para demostrar que tenemos la mejor preparación. Esta es una de las áreas de oportunidad más grandes que tenemos los egresados de esta Facultad.

La otra gran área de oportunidad es el dominio del idioma inglés, he tenido la oportunidad de ver excelentes ingenieros egresados de la FI que pierden oportunidades por tener carencias en esta área.

Para concluir deseo expresar mi agradecimiento a la Universidad por la formación que me dio y quiero reiterar mi compromiso para colaborar en la manera que pueda a la formación de cada vez mejores Universitarios.

Glosario

1. AFCM – alternative fuel control module
2. AFR – air-fuel ratio
3. CHT – cylinder head temperature
4. DTC – diagnostic trouble code
5. ECT – engine coolant temperature
6. ETB – electronic throttle body
7. FMEM – failure mode effect management
8. FSC – failsafe cooling
9. PCM – powertrain control module
10. SRC – standard road cycle
11. WOT – wide open throttle

Bibliografía

- Accurate Technologies Inc. (26 de May de 2015). Obtenido de <https://www.accuratetechnologies.com/ECUCalibration>
- Ford de México. (28 de Abril de 2015). Obtenido de Ford de México: <http://www.ford.mx/acerca/compania>
- Ford Media. (1 de Junio de 2015). *The Ford Motor Company Mediacenter*. Obtenido de <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2013/10/07/ford-celebrates-100th-anniversary-of-the-moving-assembly-line-wi.html>
- Ford Motor Company. (29 de Abril de 2015). *Corporate Ford*. Obtenido de <http://corporate.ford.com/company/history.html>
- SEMARNAT. (2012). *NORMA Oficial Mexicana NOM-076-SEMARNAT-2012*. México, D.F.