

Desarrollo de un sistema para medir la temperatura de gases de escape en los cilindros del motor diésel Caterpillar 3516B para el diagnóstico de inyectores.

Jesús Guillermo Martínez Guerrero - Código 23551929368

Gilberto José Camelo Pertuz - Código 23551924187

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.

Tecnología en Mantenimiento Electromecánico Industrial

Universidad Antonio Nariño

Puerto Colombia- Atlántico

jemartinez09@uan.edu.co / gcamelo74@uan.edu.co

Rafael Hurtado

rafahurtado@uan.edu.co

RESUMEN: El presente artículo busca brindar una alternativa para mejorar la evaluación y diagnóstico en reportes de baja potencia y altas temperaturas de gases de escape en los motores diésel 3516B de Caterpillar, mediante la medición de la temperatura en cada cilindro del motor, con termopares tipo K, una tarjeta Arduino MKR 1010 y la visualización de datos en una aplicación celular o en una laptop.

PALABRAS CLAVE: Temperatura, gases de escape, motor diésel, diagnóstico, inyector, termopar.

I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El motor Caterpillar 3516B es un motor diésel de 16 cilindros en V, pos enfriado y turbo cargado. Generan una gran potencia y una excelente eficiencia del combustible. Tienen unos costos de operación bajos para mantener la rentabilidad de los clientes. Se emplean en perforaciones, aplicaciones industriales y minería, con potencias entre 2.000-2.337 hp a 1.750 rpm [1].

EL motor diésel Caterpillar, con inyector unitario electrónico (EUI) Electronic Unit Injector, tiene un diseño de cuatro tiempos que utiliza largas y efectivas carreras de potencia para una combustión más completa del combustible y un rendimiento óptimo. Este motor está diseñado para obtener largas horas de servicio entre uno y otro reacondicionamiento programado y menores

costos de operación. El inyector unitario electrónico constituye un sistema de combustible de inyección directa a alta presión. [2]



Fig.1 Vista lateral izquierda del Motor diésel Caterpillar 3516B

Fuente: Autor

En la figura 1 se observa el motor diésel Caterpillar 3516B, su peso es de 12.000 (Kg) / 12 t.

Especificaciones del motor diésel Caterpillar 3516B.

Orden de encendido: (secuencia de inyección)
Rotación estándar CCW (Counterclockwise)
sentido contrario a las manecillas del reloj 1, 2, 5, 6, 3, 4, 9, 10, 15, 16, 11, 12, 13, 14, 7, 8.

Válvulas por cilindro: 4 / Cilindrada: 78,0 L (4.760 pulgadas cúbicas) / Calibre: 170 mm (6,7 pulg) Carrera: 215mm (8,5pulg) / Relación de compresión: 15,5:1 / Combustión: Inyección directa. Juego de las válvulas – Admisión: 0,50 mm (0,020 pulg) Escape :1,00 mm (0,040 pulg) [3].

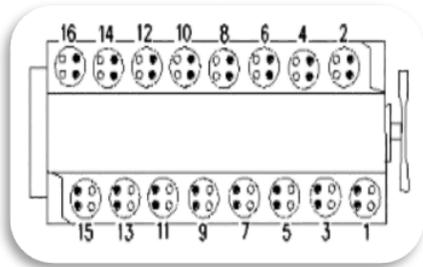


Fig. 2 Vista superior del motor Caterpillar 3516B.
Fuente: Manual Caterpillar RSNR 2210-Diseño del motor.

En la figura 2 se observa la identificación de los cilindros del motor diésel Caterpillar 3516B.

Caterpillar monitorea la temperatura los gases de escape de ambos bancos, izquierdo y derecho por medio de dos termopares tipo K [4], que envían los datos al Sistema de Administración de Información Vital, (VIMS) en la cabina del operador. Por medio de una pantalla los operadores y el personal de mantenimiento pueden observar la temperatura actual en los múltiples o galerías de escape del motor. [5]

Estas temperaturas también pueden ser visualizadas desde un laptop con el software del (VIMS) sistema de administración de información vital y el (ET) Electronic Technician [6] es otro software de diagnóstico Caterpillar. Son instrumentos de gran ayuda para el monitoreo de sensores, parámetros, y diagnóstico de fallas en el equipo. El laptop se comunica con la maquina por medio de un adaptador comunicador y cables, como se observan en la figura 3. Con este sistema se puede evaluar una por una las bobinas de los inyectores, también se puede deshabilitar un inyector o varios durante el funcionamiento del motor, para detectar inyectores averiados.

Los reportes más comunes que se presentan en estos motores son por baja potencia y muchos de ellos son por altas temperaturas de gases de escape, ya sea por inyectores averiados, filtros de aire taponados o turbos cargadores frenados. Si la

temperatura de escape está por encima de 750 °C (1.382 °F) el ECM (Modulo de Control Electrónico del Motor) disminuirá la entrega de combustible para impedir las excesivas temperaturas de escape. El ECM disminuye la potencia un 2% por cada 15 segundos de intervalo que la temperatura de escape está por encima de 750 °C, llegando a una reducción de potencia máxima del 20 %.[7]



Fig. 3 Adaptador comunicador Caterpillar, cables de conexión y laptop.
Fuente: Autor

Los inyectores bomba de los motores 3500B son accionados mecánicamente y controlados electrónicamente. El combustible fluye por la galería de Culata, refrigerando la base de los inyectores y suministrando la cantidad necesaria para la inyección. Los inyectores son calibrados durante su fabricación, para una sincronización de inyección precisa y entrega de combustible. [8]

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Caterpillar en los camiones mineros 793 solo hace el monitoreo de las temperaturas en los bancos izquierdo y derecho pero no la temperatura individual de cada cilindro, al momento de presentar una alarma de alta temperatura de escape, el personal de mantenimiento tiene como referencia un delta de temperatura entre los dos bancos, por medio de la pantalla del módulo electrónico VIMS. [9] [10] Posteriormente realiza la evaluación de corte de inyección para deshabilitar cilindro por cilindro y de esta forma encontrar el inyector o inyectores que generan la falla que finalmente afecta la potencia del motor. Pero muchas veces al realizar esta evaluación la herramienta de diagnóstico no es precisa y no muestra la falla. Después de horas de evaluación la maquina es enviada nuevamente a trabajar, pero vuelve a ser reportada con el mismo síntoma. [11]

Un caso de lo anteriormente mencionado, donde el equipo M02206 es reportado por baja potencia, es evaluado con el corte de inyectores y se decide el cambio de dos inyectores, puesto #6 y #1 por poca entrega de combustible. El costo de cada inyector fue de 1750\$. Se entrega equipo disponible y posteriormente es reportado nuevamente por baja potencia, con un delta de temperatura entre los bancos de 95°F (35°C)



Fig.4 Pantalla de Vims, (Vital information management sistema) camión 793 Caterpillar.

Fuente: Autor

En la figura 4 se observa la pantalla del sistema de administración de información vital (VIMS) Muestra el delta de temperatura entre el banco izquierdo y derecho, que en este caso es de 23 °C.

Por lo tanto, ¿De qué manera evaluar una alarma de alta temperatura de gases de escape?

III. JUSTIFICACIÓN

Se ha tenido la oportunidad de evaluar y reparar los motores diésel Caterpillar 3516B y de acuerdo a esa experiencia se puede concluir que el desarrollo de este proyecto se hace muy necesario debido a la cantidad de reportes de baja potencia, donde la mayoría van relacionados con el aumento de temperaturas en los gases de escape, que afectan la disponibilidad en la flota de camiones Caterpillar 793.



Fig.5 Graficas "Top Five Problems 793"

Fuente: Departamento de planeación mina Drummond

Con el sistema para medir la temperatura de gases de escape se realizará un diagnóstico más preciso y rápido, ya que se mide la temperatura individual de cada cilindro en el motor y de esa forma se encontraría el inyector deficiente. En la actualidad no se tienen en cuenta estas temperaturas en la evaluación [12]

Hace unos años Caterpillar en sus motores mecánicos, utilizaba termopares tipo K [13], donde se podían ver las temperaturas de los puestos individualmente por medio de un multímetro y un multichannel (Multicanal). Con la llegada de los motores de inyección electrónica esta tecnología fue quedando obsoleta. Se quiere retomar el termopar y darle aplicación en los motores de inyección electrónica, junto a la tarjeta Arduino MKR 1010 [14] y la visualización de datos en una aplicación para celular.



Fig.6 Termopares tipo K

Fuente: Autor

En la figura 6 se observan los termopares utilizados en los motores diésel 3516B Caterpillar.

Para el personal de mantenimiento será un instrumento muy valioso, para poder analizar el comportamiento de las temperaturas de cada cilindro a plena carga.

Entre las ventajas que ofrece al proceso de evaluación y mantenimiento de los motores diésel Caterpillar 3516B este instrumento de medición servirá para:

- Mejorar los tiempos de evaluación en reportes de baja potencia donde exista un aumento del delta de temperatura de los gases de escape.
- Ahorrar costos innecesarios al cambiar inyectores por una mala evaluación.

IV. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema para medir la temperatura de gases de escape en los cilindros del motor diésel Caterpillar 3516B, por medio de un sistema de adquisición de datos arduino y termopares, para el diagnóstico de inyectores en modo falla para facilitar la operación de mantenimiento.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Explicar procedimiento de mantenimiento del motor 3516B Caterpillar a partir de los manuales y experiencias del personal técnico.
2. Desarrollar un instrumento de medición de temperatura y almacenamiento de datos usando termopares y tarjeta Arduino
3. Validar en campo el funcionamiento del instrumento de medición de temperaturas
4. Establecer procedimiento de intervención por parte del personal técnico en el mantenimiento de motores, utilizando el instrumento de medición de temperaturas.

V. ALCANCE

A partir de nuestra experiencia con los motores diésel 3516B Caterpillar es necesario indicar que al presentarse un reporte de baja potencia y alta temperatura de gases de escape no siempre será la causa raíz un inyector en mal estado, debemos estar muy atentos a los síntomas y al informe del operador de la máquina que finalmente es quien detecta la anomalía en la operación.

VI. METODOLOGIA

De acuerdo al proyecto seleccionado se estableció el siguiente procedimiento metodológico:

1- Adaptación experimental del mantenimiento de motores diésel 3516B Caterpillar.

En este apartado se busca explicar la forma en que los motores son intervenidos regularmente por el personal de mantenimiento.

Tareas generadas:

- 1.1 Análisis de parámetros de temperatura con el sistema de administración de información vital (VIMS)
- 1.2 Evaluación con el software de diagnóstico (ET) Electronic Technician.
- 1.3 Funcionamiento del sistema para medir las temperaturas de los gases de escape en los cilindros del motor diésel 3516B CAT.

2- Desarrollo del equipo de medición y almacenamiento de datos.

Tareas generadas:

- 2.1 Fabricación carcasa de tarjeta Arduino.
- 2.2 Fabricación de cableado.
- 2.3 Configuración de wifi a placa Arduino.
- 2.4 Conexiones eléctricas para las tarjetas.

3- Prueba en campo del equipo y sus resultados.

Tareas generadas:

- 3.1 Realización de instructivo para usar la herramienta.
- 3.2 Instalación del equipo de medición en el motor.
- 3.3 Realización de formato para el registro de datos.

4- Procedimiento de intervención de motores diésel 3516B Caterpillar.

Tareas generadas:

- 4.1 Interpretación de datos importados por el instrumento.

VII. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.

Se entregará un prototipo funcional del sistema para medir la temperatura de gases de escape en motores diésel 3516B Caterpillar.



Fig.7 Prototipo sistema para medir la temperatura de gases de escape en los cilindros del motor diésel Caterpillar 3516B para el diagnóstico de inyectores.

1- Adaptación experimental del mantenimiento de motores diésel 3516B Caterpillar.

1.1 En la figura 8 y 9 se observan los datos suministrados por el (VIMS) que son utilizados para interpretarlos y direccionar la evaluación.

DRUMMOND L.T.O.		ANÁLISIS DE INFORMACIÓN VIMS PLANNER		Ver 2.5 Vigencia: 14/06/19 Página 1 de 9	
No. Interno de Equipo	2245	Último SMU / Reporte	70292	HVC	
Número de Serie de Equipo	4GZ00127	Fecha de Elaboración de Reporte	29 Sept 2022		
Tiempo Total / (Horas Motor ECM)	11528	Combustible Total (gal)	312695		

Tendencias (500 Hrs)				
Parámetro	Unidades	Prom. Anterior	Prom. Actual	Especificación
Air Filt	In. H ₂ O	16.25	15.09	< 20
Boost Pres	PSI	25.04	25.74	28 ± 5
R/Lt Exh Temp	°F	17.05	12.99	ΔT < 45
Eqp Cool Temp	°F	180.00	182.04	178-212

Fig.8 Historial del equipo 2245 descargado del (VIMS) Sistema de administración de información vital.
Fuente: Departamento de planeación de Drummond



Fig.9 Centro de información del (VIMS) sistema de administración de información vital.
Fuente: Autor

1.2 En la figuras 10,11 y 12 se observan las diferentes pruebas que se realizan con el (ET) Electronic Technician.

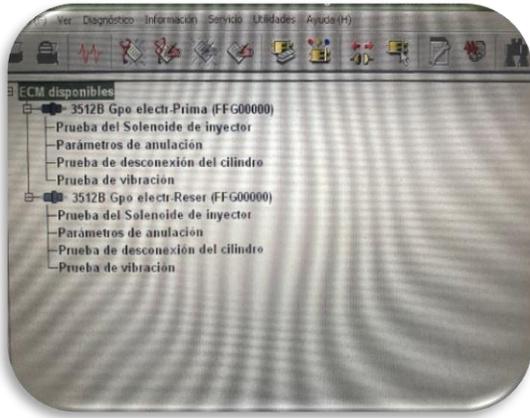


Fig.10 Software (ET) Electronic Technician, diagnóstico.
Fuente: Autor

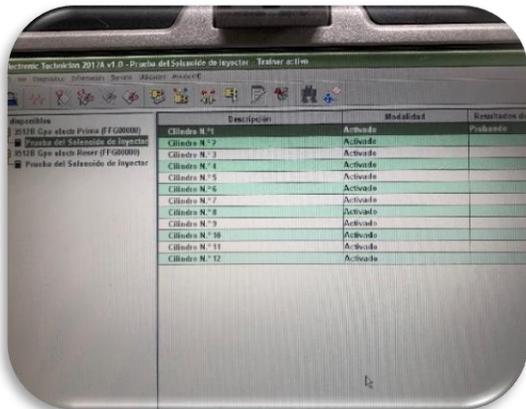


Fig.11 Prueba de bobina de inyectores.
Fuente: Autor

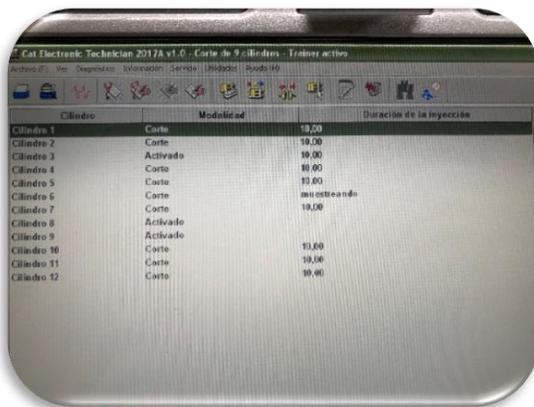


Fig.12 Prueba corte de inyectores.
Fuente: Autor

1.3 En la figura 13 se observa la secuencia de funcionamiento del sistema para medir las temperaturas de gases de escape en los cilindros del motor diésel 3516B Caterpillar. Inicia con el calentamiento de los dos materiales del termopar Níquel-Cromo/Aluminio-Cromo los cuales generan un diferencial de voltaje, en este caso mili voltios que llegan a la tarjeta MAX6675 donde hace la conversión de una señal analógica a digital. Posteriormente la señal digital llega al Arduino MKR 1010 donde es enviada vía WiFi a la nube Arduino y visualizada por medio de una aplicación celular o laptop para su posterior análisis de datos y toma de decisiones.

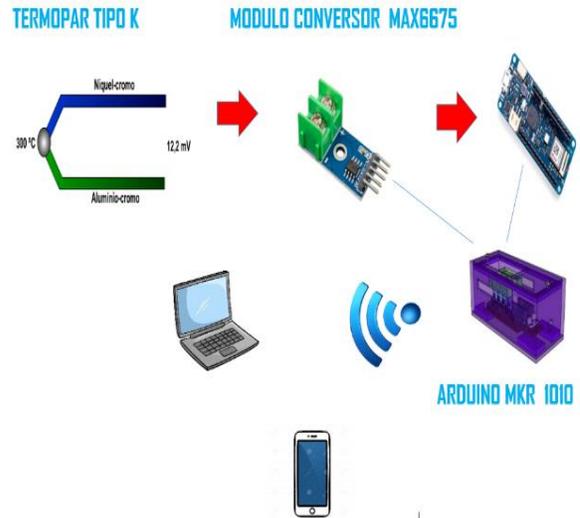


Fig.13 Esquema de funcionamiento del dispositivo de medición
Fuente: Autor

2- Desarrollo del equipo de medición y almacenamiento de datos.

2.1 Figuras 14,15,16,17 y 18. Se fabricó una carcasa para el Arduino MKR 1010 [13] y los para los ocho módulos conversores MAX 6675 [15]. La carcasa está hecha en acrílico de color azul, con ventanas que facilitan la conexión de los termopares.

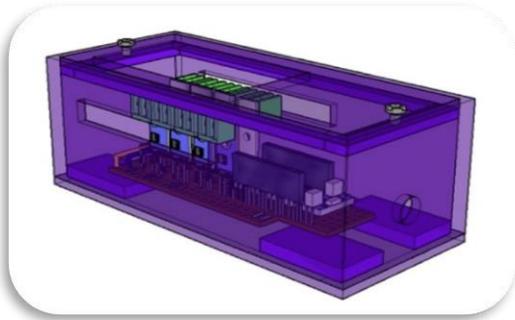


Fig.14 Carcasa de tarjetas, vista isométrica en 3D.
Fuente: Autor- Sketchup.

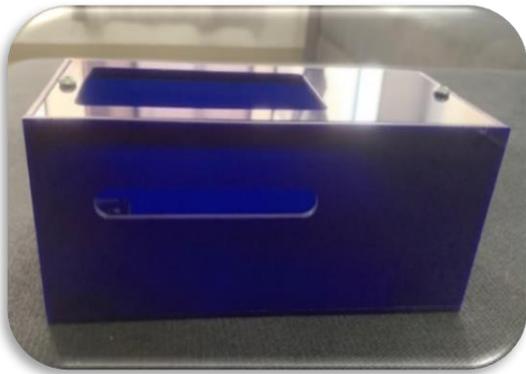


Fig. 15 Carcasa de tarjetas.
Fuente: Autor

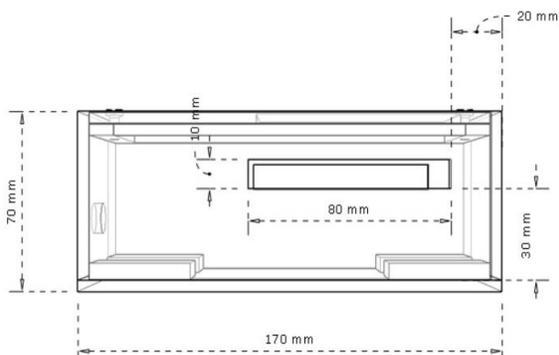


Fig.16 Medidas vista lateral de carcasa.
Fuente: Autor- LayOut.

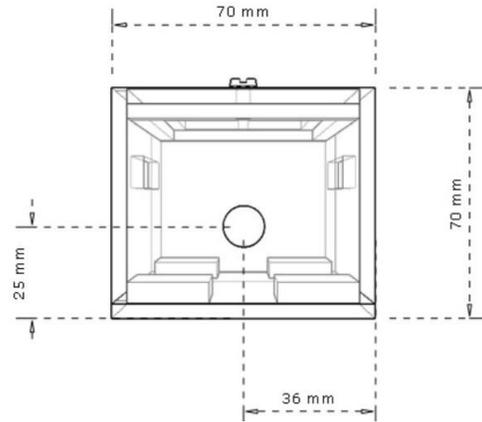


Fig.17 Vista frontal de carcasa.
Fuente: Autor-LayOut



Fig.18 Ensamble de Carcasa y tarjetas.
Fuente: Autor

2.2 En la figura 19 se observa el cableado por donde se envía la señal en mili voltios desde los termopares a los conversores MAX 6675.



Fig.19 Fabricación de cableado para Arduino.
Fuente: Autor

Para el armado del cableado se utilizó un cable telefonico de Cobre suave,utilizado por su alta conductividad electrica,buenas propiedades mecanicas y resistencia a la corrosión.Aislamiento en polietilino (PE).Ideal para para la transmisión de datos a alta velocidad y posee gran resistencia a la abrasión.

Cable para datos UTP, 23 (AWG) American Wire Gauge – Calibre de alambre estadounidense. +/- 0.5733 (mm) / 0.0226 (in). Resistencia electrica en cobre 20.36 Ohmios/1000ft. [16] [17] [18]

Tabla 1

ESPECIFICACIONES DE CABLES CONOCIENDO EL NUMERO AWG

AWG	Diámetro (in)	Resistencia eléctrica en cobre (Ω/1000 ft)
22	0.0253	16.14
23	0.0226	20.36
24	0.0215	25.67

2.3 En la figura 20 se observa el sitio web de Arduino donde se configura el puerto WiFi donde queremos que se conecte el dispositivo.

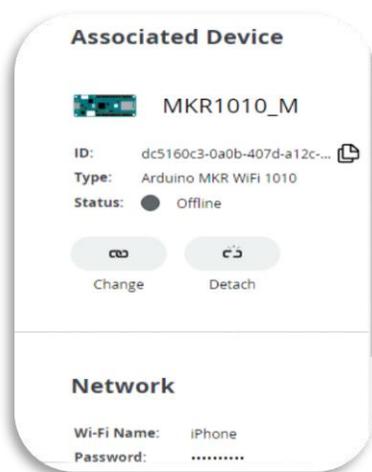


Fig.20 Configuración de WiFi a placa Ardui
Fuente: <https://create.arduino.cc>

En la figura 21,22,23 y 24 se observan las configuraciones de las variables (ocho termopares) y la configuración de las librerías.

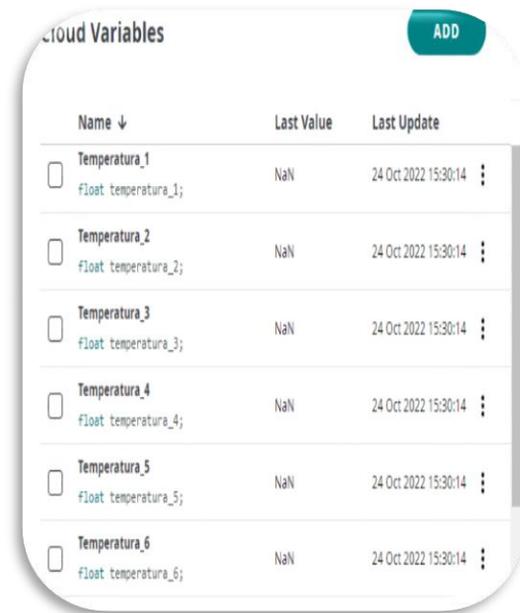


Fig. 21 Configuración de variables (Temperaturas)
Fuente: <https://create.arduino.cc>

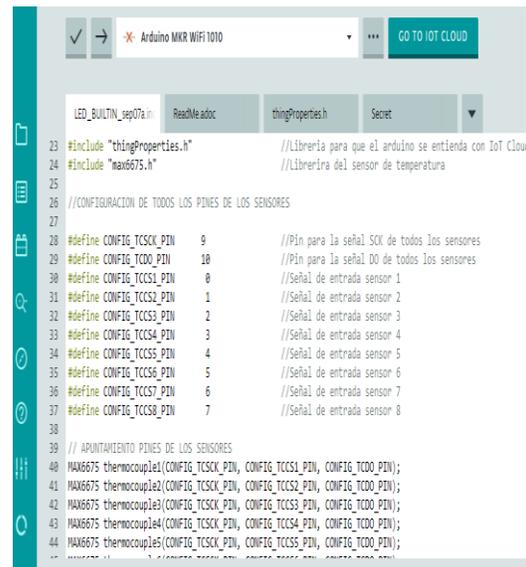


Fig. 22 Librerías
Fuente: <https://create.arduino.cc>

```

✓ → Arduino MKR WIFI 1010
GO TO IOT CLOUD

LED_BUILTIN_sep07a.ino  ReadMe.adoc  thingProperties.h  Secret

1 /*
2 Sketch generated by the Arduino IoT Cloud Thing "Untitled 2"
3 https://create.arduino.cc/cloud/things/8241d874-c975-43de-bacc-c785b464fe43
4
5 Arduino IoT Cloud Variables description
6
7 The following variables are automatically generated and updated when changes are made to the Thing
8
9 float temperatura_1;
10 float temperatura_2;
11 float temperatura_3;
12 float temperatura_4;
13 float temperatura_5;
14 float temperatura_6;
15 float temperatura_7;
16 float temperatura_8;
17
18 Variables which are marked as READ/WRITE in the Cloud Thing will also have functions
19 which are called when their values are changed from the Dashboard.
20 These functions are generated with the Thing and added at the end of this sketch.
21 */
22

```

Fig. 23 Librerías.
Fuente: <https://create.arduino.cc>

```

✓ → Arduino MKR WIFI 1010

LED_BUILTIN_sep07a.ino  ReadMe.adoc  thingProperties.h  Secret

49
50 void setup() {
51 // Inicia la comunicacion Serial
52 Serial.begin(9600);
53 // Retardo para el monitor serial
54 delay(1500);
55
56 // Inicia la libreria IoT Cloud
57 initProperties();
58
59 // Conecta el Arduino al IoT Cloud
60 ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection);
61
62
63 /*
64 The following function allows you to obtain more information
65 related to the state of network and IoT Cloud connection and errors
66 the higher number the more granular information you'll get.
67 The default is 0 (only errors).
68 Maximum is 4
69 */
70 setDebugMessageLevel(2);
71 ArduinoCloud.printDebugInfo();

```

Fig.24 Librerías
Fuente: <https://create.arduino.cc>

2.4 En la figura 25 se observa el esquemático del sistema para medir las temperaturas de los gases de escape del motor diésel 3516B Caterpillar. Consta de ocho termopares tipo K, ocho conversores MAX6675 y el Arduino MKR 1010.

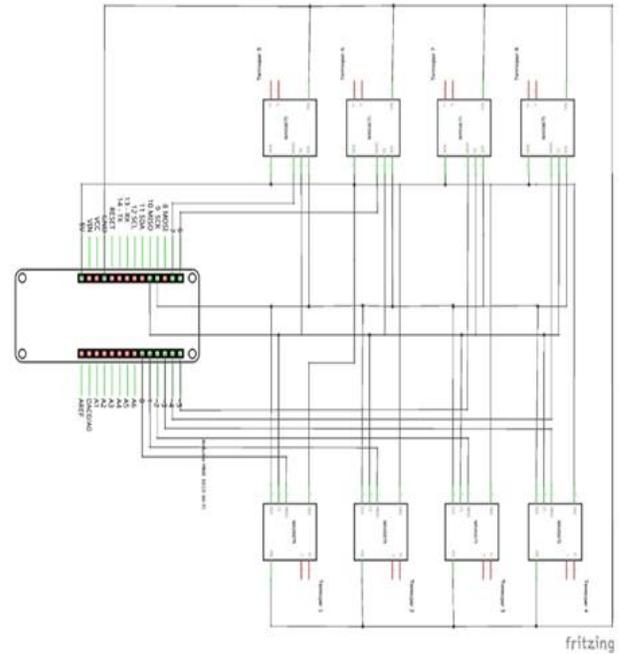


Fig.25 Esquemático Sistema de monitoreo.
Fuente: Autor-Fritzing.

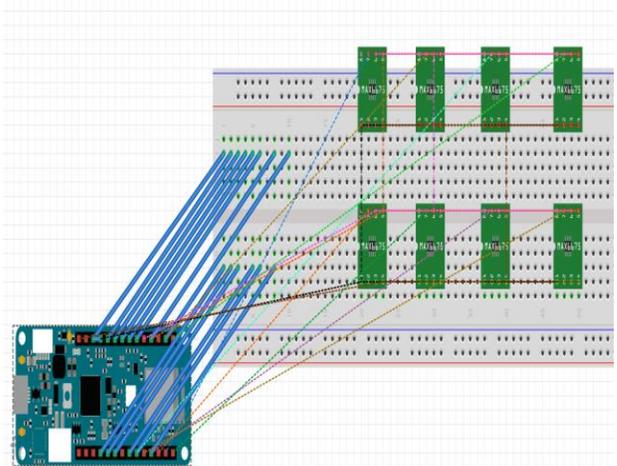


Fig.26 Protoboard Sistema de monitoreo.
Fuente: Autor- Fritzing.

3- Prueba en campo del equipo y sus resultados.

3.1 En la figura 27 se observa un instructivo para el uso del instrumento de medición.

Instructivo para medir la temperatura de gases de escape en los cilindros del motor diésel Caterpillar 3516B para el diagnóstico de inyectores.

- 1- Realizar lavado del motor 3516.
- 2- Limpiar conectores de termocuplas.
Utilizar limpiador eléctrico.
- 3- Instalar soporte de carcasa de Arduino.
Utilizar Rachet y dado 9/16.
- 4- Conectar arnés a termocuplas y a caja Arduino.
- 5- Conectar wifi al Arduino.
- 6- Dar encendido al equipo.
- 7- Realizar prueba de carga al motor (Calado) registrar datos en formato.

Se debe realizar la prueba a plena carga, monitoreando la temperatura del convertidor, si presenta alarma de temperatura del Convertidor, hacer una pausa y volver a realizar calado para tomar datos faltantes.

NOTA: Si detecta un inyector con una diferencia superior a 84 °C (150 °F) cambiar.

Fig. 27 Instructivo de evaluación.

Fuente: Autor



Fig.28 Instalación de soporte para carcasa de arduino.

Fuente: Autor

En la figura 28 se observa la instalación del soporte

para la carcasa del Arduino.

En la figura 29 y 30 se observa el punto exacto en la culata donde va instalado el termopar tipo K, para medir los gases de escape. También se puede observar el conector donde se coloca el cableado del Arduino.



Fig.29 Galería de escape en culata donde va instalada el termopar.

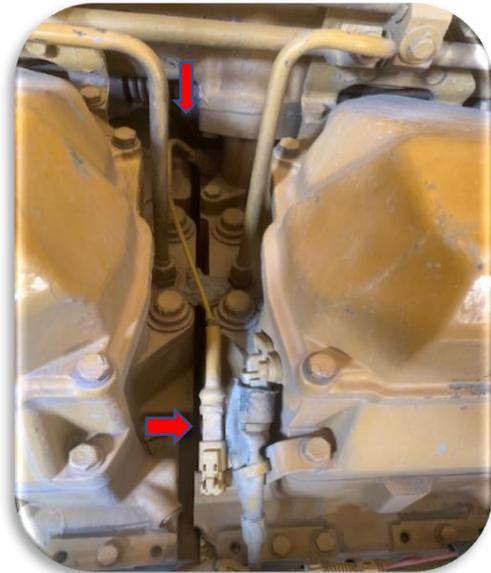


Fig. 30 Instalación de termopares en galería de escape.

Fuente: Autor

3.2 En la figura 31 se observa el instrumento de medición instalado y conectado en el motor diesel 3516B Caterpillar.

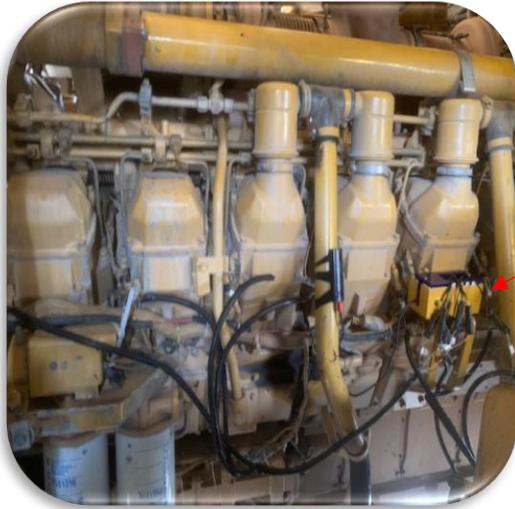


Fig. 31 Equipo de medición instalado en motor 3515B.
Fuente: Autor

3.3 La figura 32 muestra un formato que fue realizado para la consignación de las temperaturas durante la prueba. Número del equipo, nombre de los técnicos evaluadores, orden de trabajo y especificaciones. Los datos consignados en el formato corresponden al equipo M02245, el cual en el reporte de planeación al descargar la información del VIMS no presenta problemas de temperatura. Información confirmada en la prueba realizada con nuestro sistema de medición. Los valores tomados no muestran cilindros con una diferencia mayor a 85°C (150°F) y el delta de temperatura entre el banco izquierdo y el banco derecho está dentro de lo especificado < 35°.

Cilindro	°T con motor caliente
1	430°C
2	430°C
3	425°C
4	425°C
5	430°C
6	430°C
7	425°C
8	430°C
9	450°C
10	450°C
11	430°C
12	430°C
13	400°C
14	450°C
15	430°C
16	450°C

Una diferencia de 84°C (150°F) indica que existe un problema con dicho cilindro.

Observaciones: Motor con buena potencia al calor 1650 RPM.
3516B, 3516B y 3516B 1650 RPM

Fig. 32 Formato de prueba equipo M02245.
Fuente: Autor

4- Procedimiento de intervención de motores diésel 3516B Caterpillar.

4.1 En la tabla 2 se observan las especificaciones que se deben tener en cuenta durante la evaluación del motor diésel 3516B Caterpillar.

TABLA 2. ESPECIFICACIONES CATERPILLAR.

-	Cable rojo
+	Cable Amarillo
Resistencia entre los terminales de la termopar: < 10 ohmios	
Prueba de inyectores con motor a plena carga	
Diferencia de temperatura < 84°C (150°F)	

FUENTE:

<https://sis2.cat.com/#/detail?keyword=multicanal&serialNumber=aty&infoType=32&serviceMediaNumber=NSHS0537&serviceIdSystemControlNumber=i04631453&tab=service>

En el análisis de datos registrados es importante tener de referencia las especificaciones, para poder determinar si existe una falla con un inyector. Como se indica en la tabla 2 cualquier inyector que tenga una diferencia mayor a 84°C (150°F) presenta falla. En este equipo los 16 inyectores mantuvieron valores similares y dentro de lo especificado.

PRUEBA #1- CAMIÓN 2245



Fig.33 Visualización de la temperatura en cilindro #5

Fuente: App Arduino

En la primera prueba realizada al camión 2245 se observan las temperaturas de gases de escape en los 16 cilindros del motor mantuvieron una buena diferencia entre sí. En la gráfica 33 muestra el valor registrado por el cilindro #5 con el motor a plena carga, 430°C. Ninguno presentó una diferencia mayor a 84 °C. Este resultado coincide con la información descargada por el personal de planeación, donde el equipo 2245 tenía una diferencia entre el banco izquierdo y el derecho de 12°, figura 8.

PRUEBA #2 – CAMIÓN 2357

En la figura 34 tenemos 4 cilindros del banco derecho con graficas muy similares, con los siguientes valores:

- Cilindro 1: 430 °C
- Cilindro 3: 420 °C
- Cilindro 5: 420 °C
- Cilindro 7: 430 °C



Fig.34 Graficas de prueba #2 en el camión 2357 banco derecho.

Fuente: App Arduino.

En la figura 35 tenemos 3 cilindros con gráficas y valores similares, que son los siguientes:

- Cilindro 9: 430 °C
- Cilindro 11: 440 °C
- Cilindro 15: 430 °C

Y en el cilindro 13 muestra una temperatura más baja comparada con el resto de cilindros.

Cilindro 13: 120°C

Se recomienda cambiar inyector 13 y realizar nuevamente la prueba.

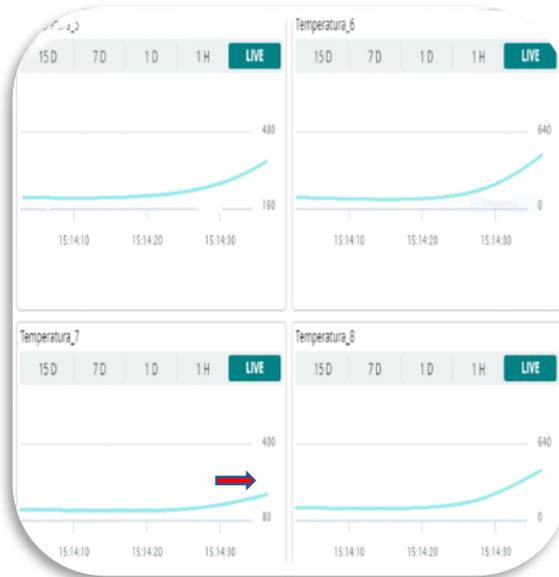


Fig.35 Graficas de prueba #2 en el equipo M0235 banco derecho.
Fuente: App Arduino.



Fig. 36 Inyector 13 en mal estado, cambiado.
Fuente: Autor.

En la figura 36 se observa el inyector #13 desmontado por baja temperatura de trabajo con respecto a la media del resto de inyectores.

En la figura 37 se observa el formato de registro de datos del camión 2357, donde claramente se evidencia el poco rendimiento que tiene el inyector #13, el cual fue cambiado.

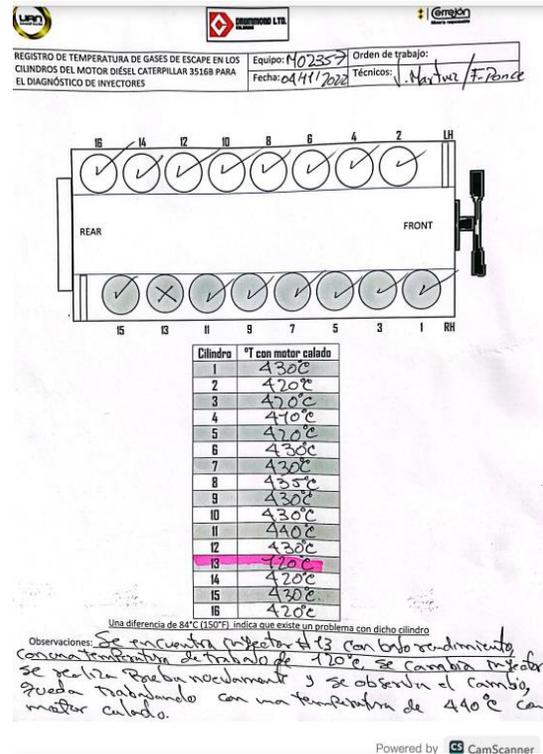


Fig.37 Formato de prueba equipo M02357.
Fuente: Autor



Fig.38 Graficas prueba #2, camión 2357 banco derecho, después de cambiar inyector #13 en mal estado.
Fuente: App Arduino

Se realiza cambio del inyector 13, verificamos su funcionamiento con el sistema de monitoreo y se encuentra en parámetros aceptables, con una temperatura de 440 °C y una potencia motor de 1610 RPM a plena carga.

Con esta prueba podemos concluir que el sistema para medir la temperatura de gases de escape en los cilindros del motor diésel Caterpillar 3516B para el diagnóstico de inyectores es muy efectivo.

VII CONCLUSIONES

- El sistema de monitoreo para medir la temperatura de gases de escape en los cilindros del motor diésel 3516B Caterpillar es un instrumento efectivo para el diagnóstico de modo de falla de los inyectores.
- Con el instrumento de medición se obtiene eficacia en la evaluación y reparación de los motores diésel 3516B Caterpillar permitiendo identificar la raíz de la falla rápidamente.
- Es un instrumento versátil, ya que puede ser utilizado en cualquier flota adaptando los termopares a diferentes galerías de escape.

VIII Referencias

- [1] Godoy, C. (2018). *Análisis de emisiones de gases de escape en un motor con inyección ups usando biodiésel b5 a base de aceite de higuera*. Cuenca.
- [2] Rosales, J. (2019). *Evaluación de desempeño en motores 3516b*. Arequipa.
- [3] Salas, M. (2017). *Monitoreo de condición en motores diesel de gran número de cilindros*. Concepción.
- [4] [Online] Available: <https://docplayer.es/21356078-Ansi-c96-1-codigo-de-tipos-y-especificaciones-termopar-rango-de-limite-de-error-1-constantan-co.html>
- [5] Gamboa, F (2017). *Implementación de la Performance en el Control de Pesos de los Camiones Caterpillar 777F Aplicando Software VIMS. En la Unidad Minera La Arena S.A. Trujillo*.
- [6] [On line] Available: <https://mecanicosvirtuales.com/et-caterpillar-2018/>.
- [7] Sovero, M. (2014). *Mejoramiento del mantenimiento correctivo en motores diesel caterpillar reduciendo el tiempo de inoperatividad mediante el uso del Diagnosticador Electrónico ET, en Talleres Ferreyros.Lima*.
- [8] Hernandez, J (2016). *Descripción y funcionamiento del motor marino Caterpillar 3618.Santa Cruz de Tenerife*.
- [9] [On line] Available: <https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10549350>
- [10] Pedraza, C. Gonzalez, J. Martínez, J. Higuera, O. Hernández, J .(2020) *Metodología para el monitoreo y análisis del sistema de transmisión de camiones mineros como una herramienta decisoria para su mantenimiento. Barranquilla*.
- [11] Julca, L (2016). *Mejoramiento del sistema de tratamiento combustible d-2 en los motores Caterpillar modelo c4.4 dit para reducir costos de mantenimiento de inyectores y aumentar disponibilidad de la unidad Cat 420f – mina Tintaya.Trujillo*.
- [12] Minnesota measurement instruments (2018) *Thermometer*.
- [Online] Available: <http://www.meter-depot.com/brands/Nicety.html>
- [13] Álzate, E. Montes, J. Silva, C. (2007) *Medición de temperatura: Sensores termoeléctricos.Pereira*.
- [14] [On line] Available: <https://antonio2709839759912.wordpress.com/2021/11/29/arduino-mkr-wifi-1010/>
- [15] Calvo, Isidro, et al. "Scalable IoT Architecture for Monitoring IEQ Conditions In Public and Private Buildings." *Energies* (19961073), vol. 15, no. 6, 15 Mar. 2022, pp. 2270 - 2292.
- [16] L. Lotto. A. Murari, "Single wire transmission from HV environments of temperature measurements obtained with a smart sensor," Elsevier, Padova, 2009.
- [17] [Online] Available: <https://www.centelsa.com/product>.
- [18] [Online] Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Calibre_de_alambre_estadounidense