



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

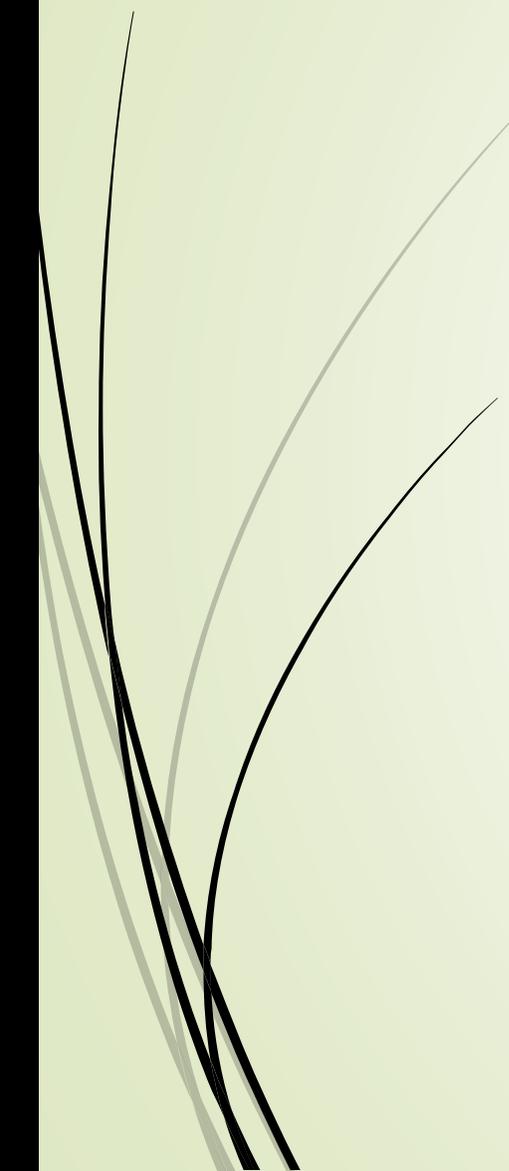
TEMA: ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LOS TIEMPOS DE INYECCIÓN Y OPACIDAD EN UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE RIEL COMÚN DIESEL CRDI DEL VEHÍCULO MAZDA BT-50, CUANDO SE GENERAN CÓDIGOS DE FALLAS DTC

**AUTORES: DAVID ALEJANDRO GARCÍA ESTRELLA
PAULINA MARCELA LOGROÑO KAROLYS**

DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO



CONTENIDO

- Antecedentes
 - Objetivos
 - Introducción
 - Equipos
 - Normativa
 - Protocolo de pruebas
 - Análisis de resultados
 - Conclusiones
 - Recomendaciones
- 

ANTECEDENTES



- La contaminación ambiental como una de las mayores problemáticas a nivel mundial.
- En el campo de motores diesel se han desarrollado sistemas de inyección directa.
- Técnicos del Grupo Fiat se concentraron en desarrollar el principio del “Common-Rail”.
- La electrónica y cada uno de sus componentes son sensibles a variaciones que pueden generar fallas en el sistema CRDI.
- Entre los componentes de los gases contaminantes emitidos por una inadecuada combustión se encuentran las partículas (hollín).

OBJETIVOS

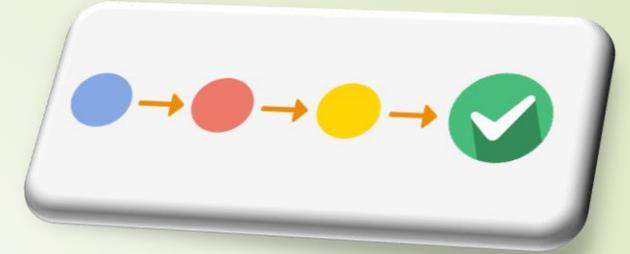


► Objetivo general

Analizar la incidencia de los tiempos de inyección y opacidad en un sistema de inyección de riel común diesel CRDI de la camioneta Mazda BT-50, cuando se generan códigos de fallas DTC, mediante el uso de equipo especializado de diagnóstico automotriz, para establecer un documento técnico de alta rigurosidad académica que sirva como referencia de consulta.

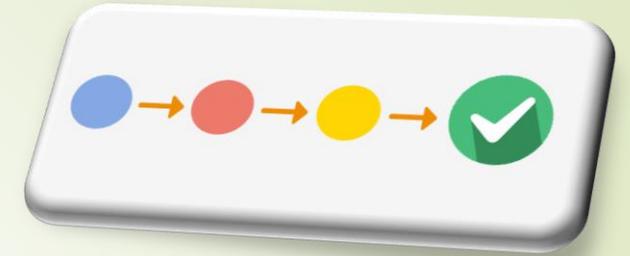


➔ Objetivos específicos



- Consultar información bibliográfica y datos técnicos que permitan un manejo adecuado de los equipos y el desarrollo del trabajo práctico.
- Desarrollar el protocolo de pruebas para la estimación de tiempos de activación de los inyectores y opacidad.
- Seleccionar los equipos de verificación y comprobación que disponen tecnología de punta para el desarrollo de la investigación.

➤ Objetivos específicos



- Generar los códigos de fallas DTC en el subsistema de control electrónico para obtener características referentes a tiempos de activación de los inyectores y opacidad.
- Tabular los datos obtenidos, para generar un registro de las variaciones en los tiempos de inyección, en los niveles de opacidad y su influencia en los datos de información de programa del sistema CRDI.

INTRODUCCIÓN

Sistema CRDI

La generación de presión y la inyección se realizan por separado. La presión de inyección la genera y regula una bomba de alta presión. La inyección se realiza mediante alta presión gracias a una rampa de inyección común para todos los inyectores electromagnéticos, llamada "Common Rail". El momento y el caudal de inyección se calculan en la unidad de control electrónica.





SENSORES

Sensores de temperatura

Sensor de temperatura del refrigerante del motor (ECT)

Sensor de temperatura del combustible (FTS)

Sensor de temperatura del aire de admisión – depurador (IAT1)

Sensor de temperatura del aire de admisión – turbo (IAT2)

Sensores de presión

Sensor de presión del aire de admisión (MAP)

Sensor de presión de riel (FRP)

Sensores de posición

Sensor de posición del pedal del acelerador (APP)

Sensores de flujo

Sensor de flujo de aire de admisión (MAF)

ACTUADORES

Inyectores

Válvula de control de caudal (SCV)

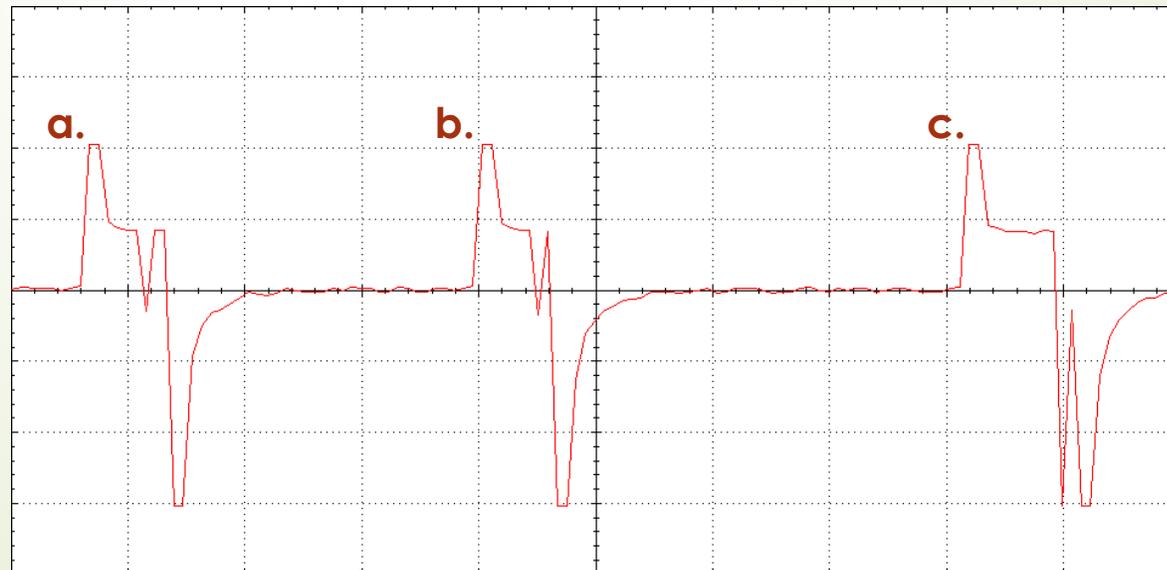
Válvula de control de turbo de geometría variable (VBC)

Inyecciones

a. Pre-inyección.- Se aporta al cilindro un pequeño caudal de combustible, que originan un acondicionamiento previo de la cámara de combustión.

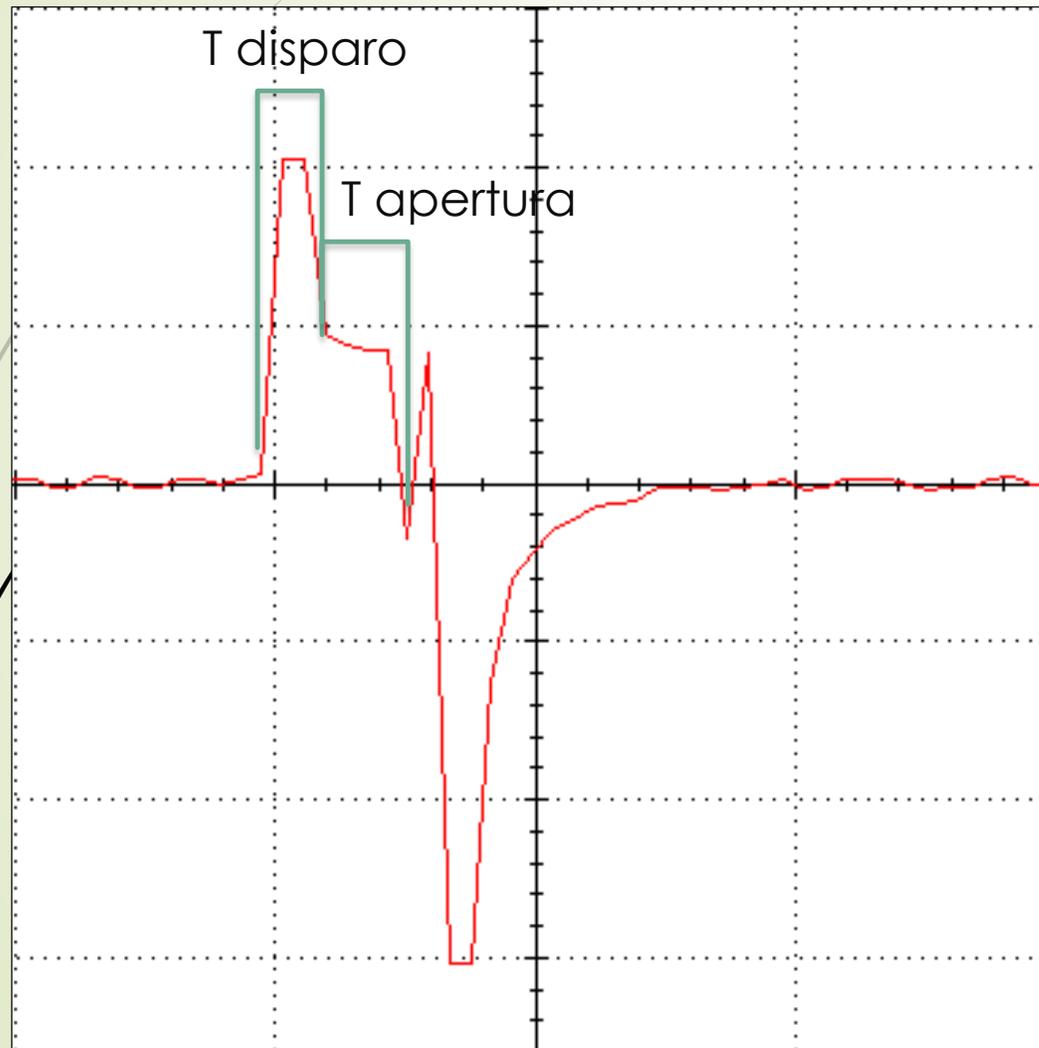
b. Inyección principal.- Con la inyección principal se aporta la energía necesaria para el trabajo realizado por el motor. Así mismo, es responsable de la generación del par motor.

c. Post-inyección.- Se introduce en los gases de escape una cantidad de combustible exactamente dosificada. Este combustible se evapora por el calor residual de los gases de escape (20-70% menos hollín).



10 V/div
500 us/div

Cotas de inyección



- Incorporada a la bomba de Alta Presión. (CP2 y CP3)
- El sensor de presión de gasoil está montado en la rampa
- Utiliza inyectores bobinados. Resistencia del inyector: 0,5-0,8 Ohm
- Tiempos de inyección muy cortos (0,2 - 0,3 ms)

Transmitancia (T)

- Es la fracción de luz, expresada en porcentaje (%), que al ser transmitida desde una fuente, a través de una trayectoria oscurecida por humo, llega al receptor del instrumento observador.

Opacidad (N)

- Fracción de luz transmitida por un humo, el cual impide alcanzar el detector del instrumento. La opacidad es representada como una magnitud derivada de la transmitancia.

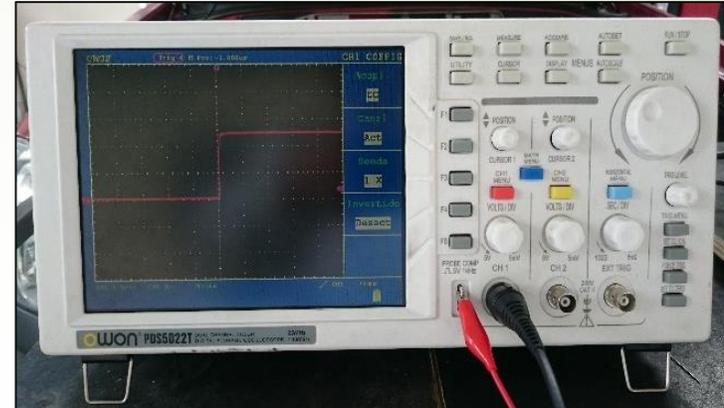
$$\bullet N = 100 - \tau (\%)$$

Coefficiente de absorción de luz

- Definido por la Ley de Beer-Lambert, suele ser expresado en m^{-1} .

$$\bullet K = -\frac{1}{L} \times \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right)$$

EQUIPOS



NORMATIVA

- ▶ **NTE INEN 2207:2002: GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE DIESEL.**

6.3. Requisitos máximos de opacidad de humos para fuentes móviles de diesel. Prueba de aceleración libre.

6.3.1 Toda fuente móvil con motor de diesel, en condición de aceleración libre, no podrá descargar al aire humos en cantidades superiores a las indicadas en la siguiente tabla:

Año modelo	% Opacidad
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60

La NTE INEN 2 207:2002, sin ningún cambio en su contenido fue DESREGULARIZADA, pasando de OBLIGATORIA a VOLUNTARIA, según Resolución No. 009-2010 de 2010-03-05, publicada en el Registro Oficial No. 152 del 2010-03-17.

- ▶ NTE INEN 2202:2013, GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA OPACIDAD DE EMISIONES DE ESCAPE DE MOTORES DE DIESEL MEDIANTE LA PRUEBA ESTÁTICA. MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE.

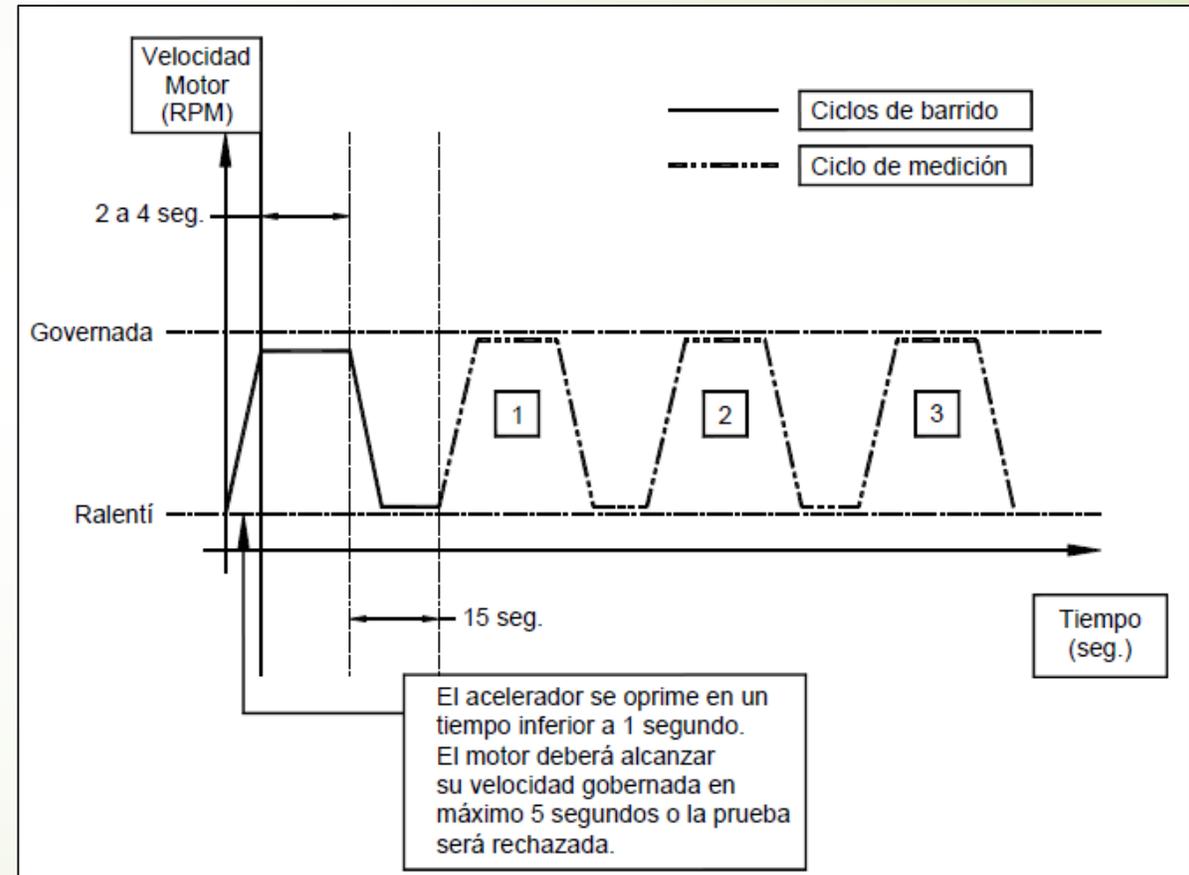
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Opacidad	N	50	%
Longitud de trayectoria óptica efectiva	L	0,40	m

$$K = -\left(\frac{1}{L}\right) \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right)$$

$$K = -\left(\frac{1}{0,4m}\right) \ln\left(1 - \frac{50}{100}\right)$$

$$K = 1,73m^{-1}$$

Esta norma sin ningún cambio en su contenido fue DESREGULARIZADA, pasando de OBLIGATORIA a VOLUNTARIA, según Resolución de Consejo Directivo de 1998-01-08

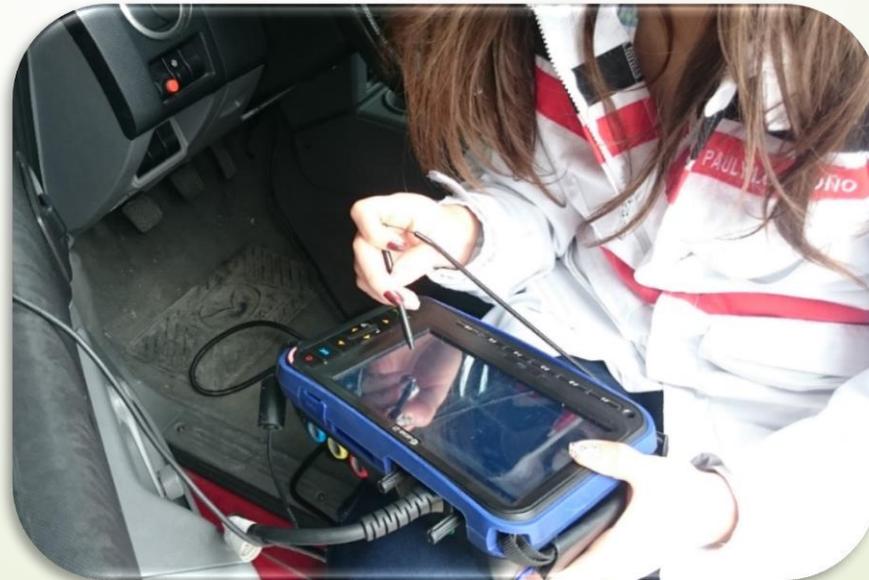


ANEXO A Ciclos de aceleración libre

PROTOCOLO DE PRUEBAS



PROTOCOLO DE PRUEBAS



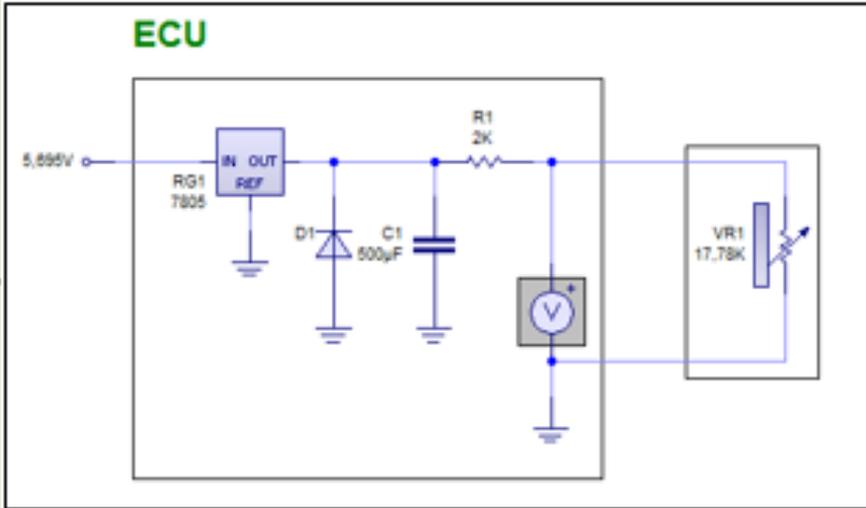
PROTOCOLO DE PRUEBAS



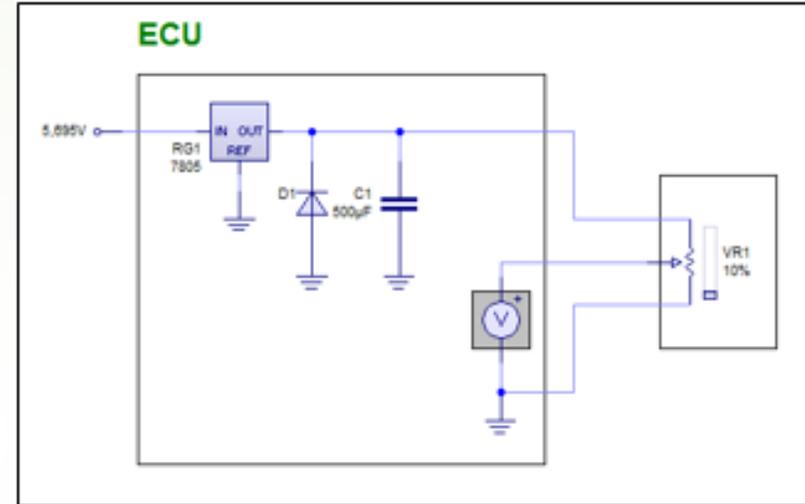
- Las pruebas deben realizarse con el motor en frío y en temperatura de funcionamiento normal

Condición	Rango de temperatura (°C)
Frío (baja temperatura)	35 – 55
Caliente (alta temperatura)	80 – 100

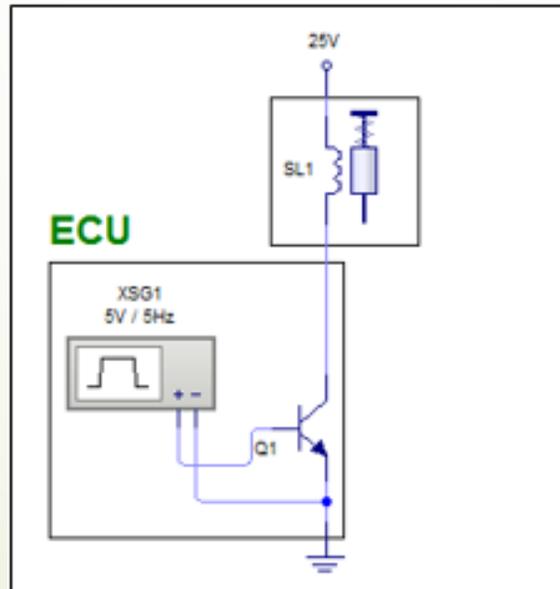
► Generación de DTC



Sensores de dos cables



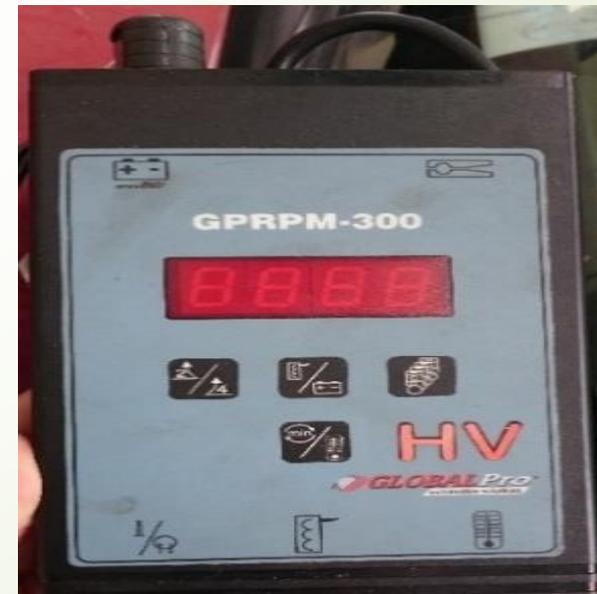
Sensores de tres cables



Actuadores

PROTOCOLO DE PRUEBAS

Análisis de Datos(Seleccionar el artículo)				
Nombre de artículo(1/10)		Valor	Unidad	
Accelerator pedal position sensor 1		0.61	V	▲
Engine coolant temperature		66	°C	▲▲
Engine coolant temperature		1.23	V	▲
Fuel temperature		56	°C	▲
Fuel rail pressure		0.00	MPa	
Intake air temperature		58	°C	▼
Intake air temperature		0.98	V	▼
Mass air flow		0.63	V	▼
Manifold absolute pressure sensor		1.24	V	▼
Engine speed		0	rpm	▼
Función	Normal	Gráfico	Registro	odos los artículo

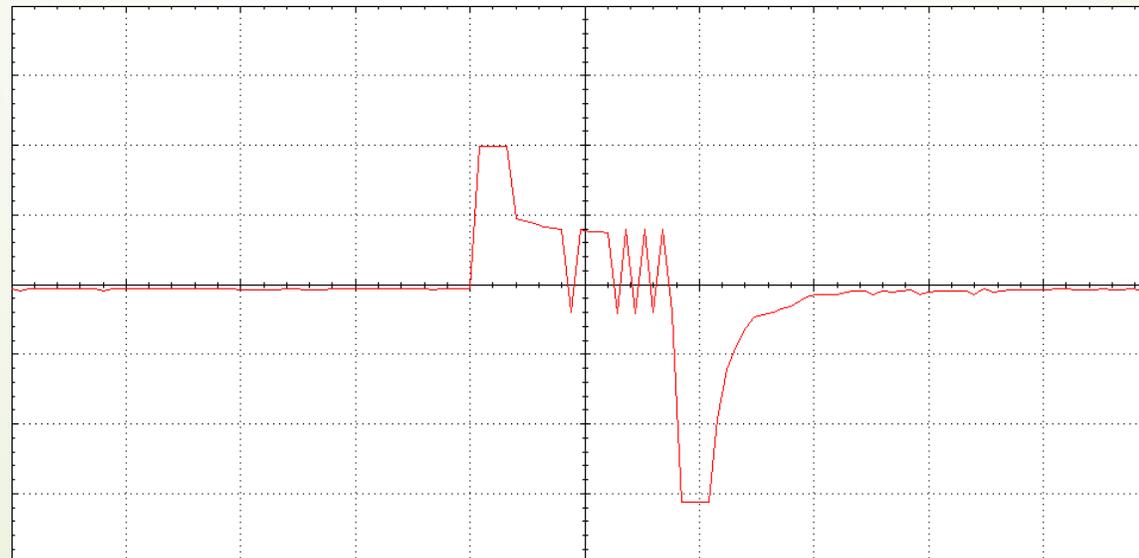


ANÁLISIS DE RESULTADOS



Análisis de pruebas en condiciones normales

CONDICIÓN	RANGO DE TEMPERTURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL		
				K (m ⁻¹)	N (%)	T. DISPARO	T. ABIERTO	TOTAL (mS)
CONDICIONES NORMALES	35-55	41,67	4675	0,46	16,90	112,33	112,33	0,225
	80-100	85	4867,67	0,55	19,72	100	158,33	0,258



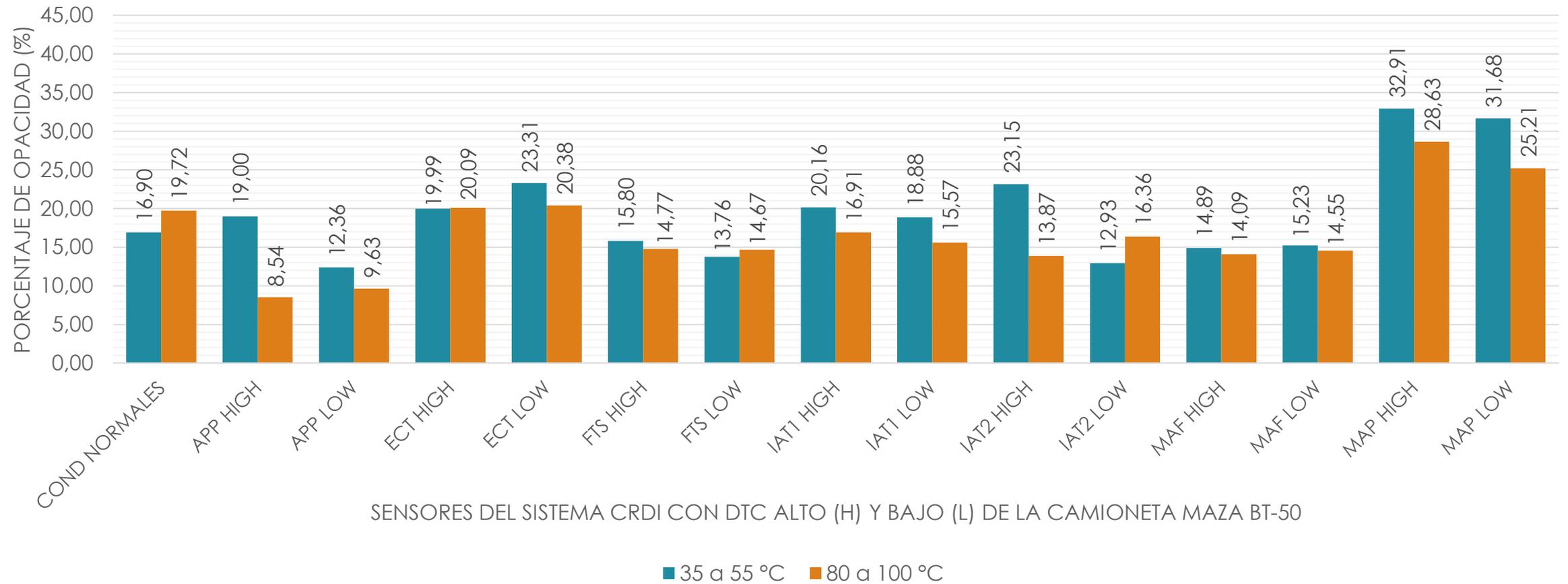
➤ 10 V/div
➤ 250 us/div

Análisis de pruebas en sensores

SENSOR	DTC	RANGO DE TEMPERTURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL		
					K (m ⁻¹)	N (%)	T. DISPARO	T. ABIERTO	TOTAL (mS)
APP	HIGH	35-55	46,67	3406,67	0,53	19,00	104	112,33	0,216
		80-100	83,67	3603,67	0,22	8,54	116,33	120,67	0,237
	LOW	35-55	47,33	3342,67	0,33	12,36	99,67	150	0,250
		80-100	83,67	3613	0,25	9,63	112,33	120,67	0,233
ECT	HIGH	35-55	41,33	4610,33	0,58	19,99	116,67	129	0,246
		80-100	88,67	4807	0,57	20,09	137,33	150	0,287
	LOW	35-55	45,33	4654	0,67	23,31	116,67	95,67	0,212
		80-100	87,67	4818,67	0,58	20,38	120,67	116,33	0,237
FRP	HIGH	35-55	49	166	-	-	-	-	-
		80-100	85	197	-	-	-	-	-
	LOW	35-55	48	170	-	-	-	-	-
		80-100	82	204	-	-	-	-	-
FTS	HIGH	35-55	47,33	4673,33	0,43	15,80	108	112,33	0,220
		80-100	84,33	4821	0,40	14,77	104	124,67	0,229
	LOW	35-55	47,67	4600	0,37	13,76	108	100	0,208
		80-100	83,67	4870,67	0,40	14,67	112,33	95,33	0,208
IAT1	HIGH	35-55	42	4678	0,56	20,16	112	137,33	0,249
		80-100	84,33	4812,33	0,46	16,91	104	128,67	0,233
	LOW	35-55	47,33	4680,33	0,52	18,88	120,67	129	0,250
		80-100	80,67	4842	0,42	15,57	120,67	137,33	0,258
IAT2	HIGH	35-55	38	4639,33	0,67	23,15	112,33	99,67	0,212
		80-100	81,67	4843	0,37	13,87	116,67	108	0,225
	LOW	35-55	38,33	4637,33	0,35	12,93	125	145,67	0,271
		80-100	84,33	4852	0,45	16,36	100	145,33	0,245
MAF	HIGH	35-55	48	4709,33	0,40	14,89	120,67	108	0,229
		80-100	84	4862	0,38	14,09	112,33	141,33	0,254
	LOW	35-55	46,67	4711	0,41	15,23	120,67	166,67	0,287
		80-100	85	4864,67	0,39	14,55	100	150	0,250
MAP	HIGH	35-55	46,5	2285,75	1,00	32,91	112,5	106,25	0,219
		80-100	82,33	2290,33	0,84	28,63	125	116,67	0,242
	LOW	35-55	44,25	2288,25	0,95	31,68	121,75	131	0,253
		80-100	81,67	2294	0,73	25,21	116,67	125	0,242

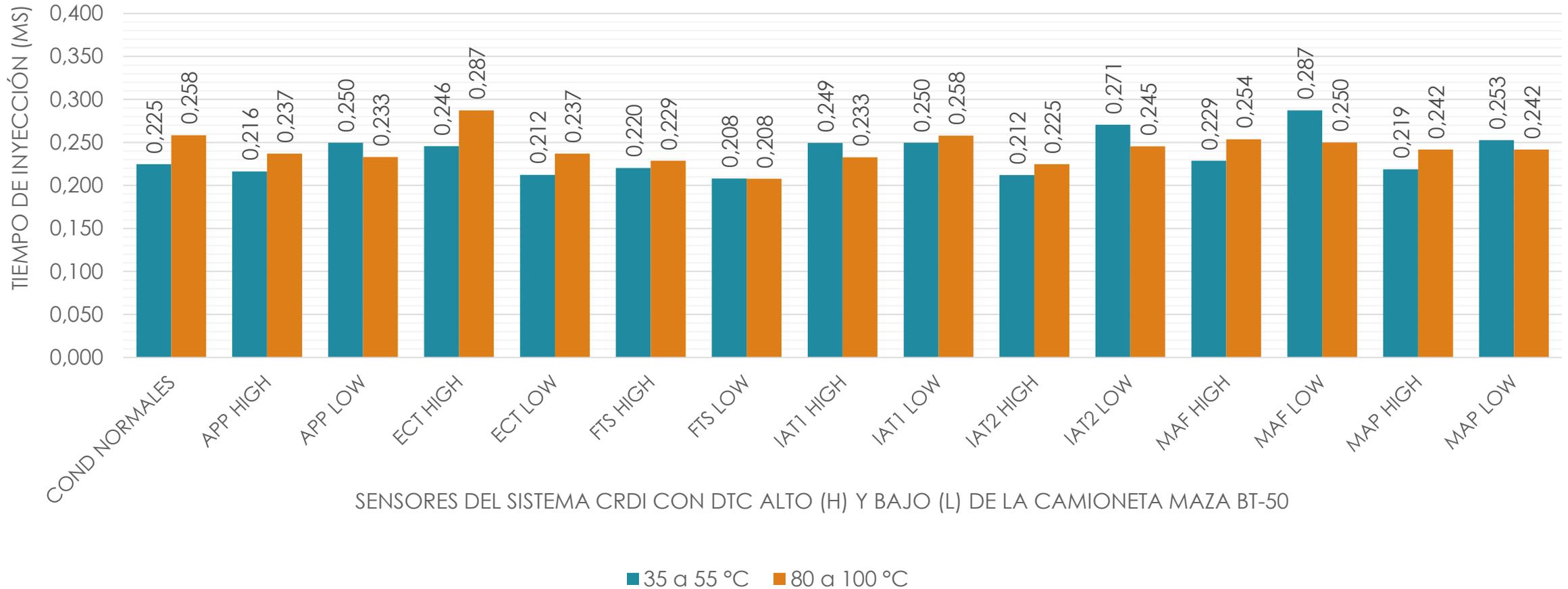


NIVELES DE OPACIDAD - PRUEBAS EN SENSORES

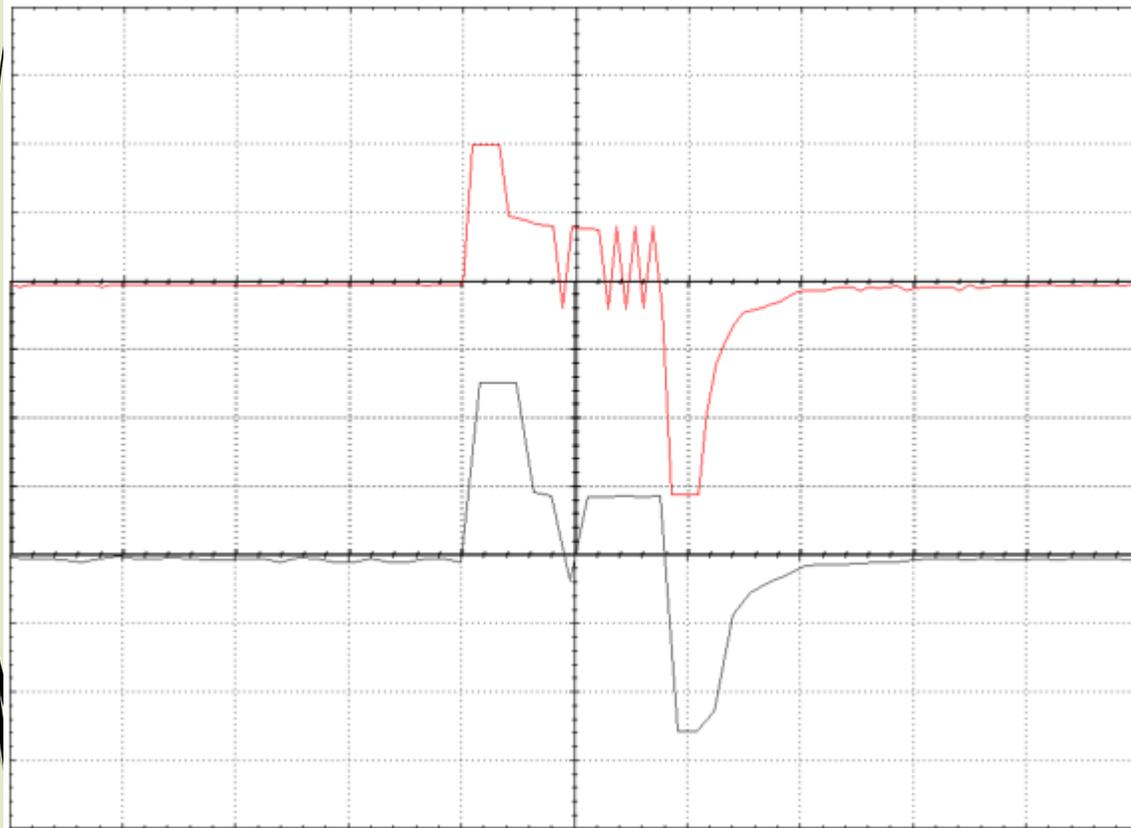




TIEMPOS DE INYECCIÓN - PRUEBAS EN SENSORES

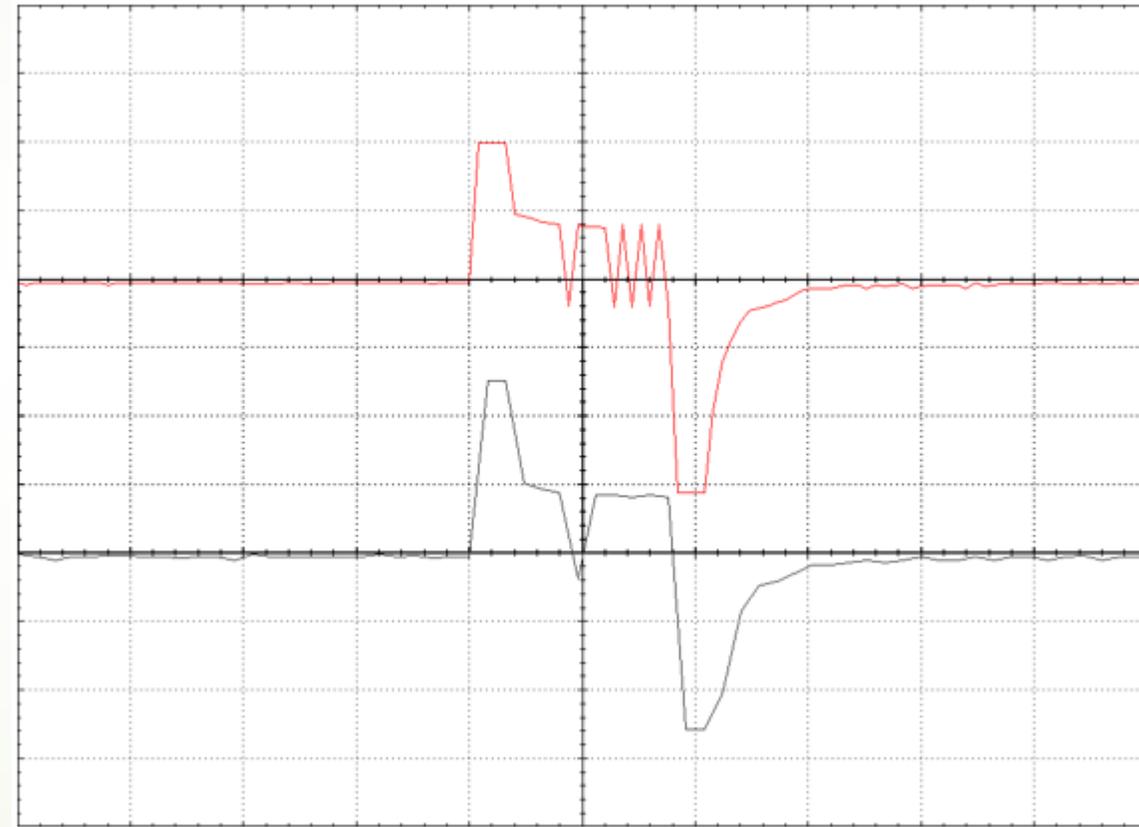


► ECT H (max caliente)



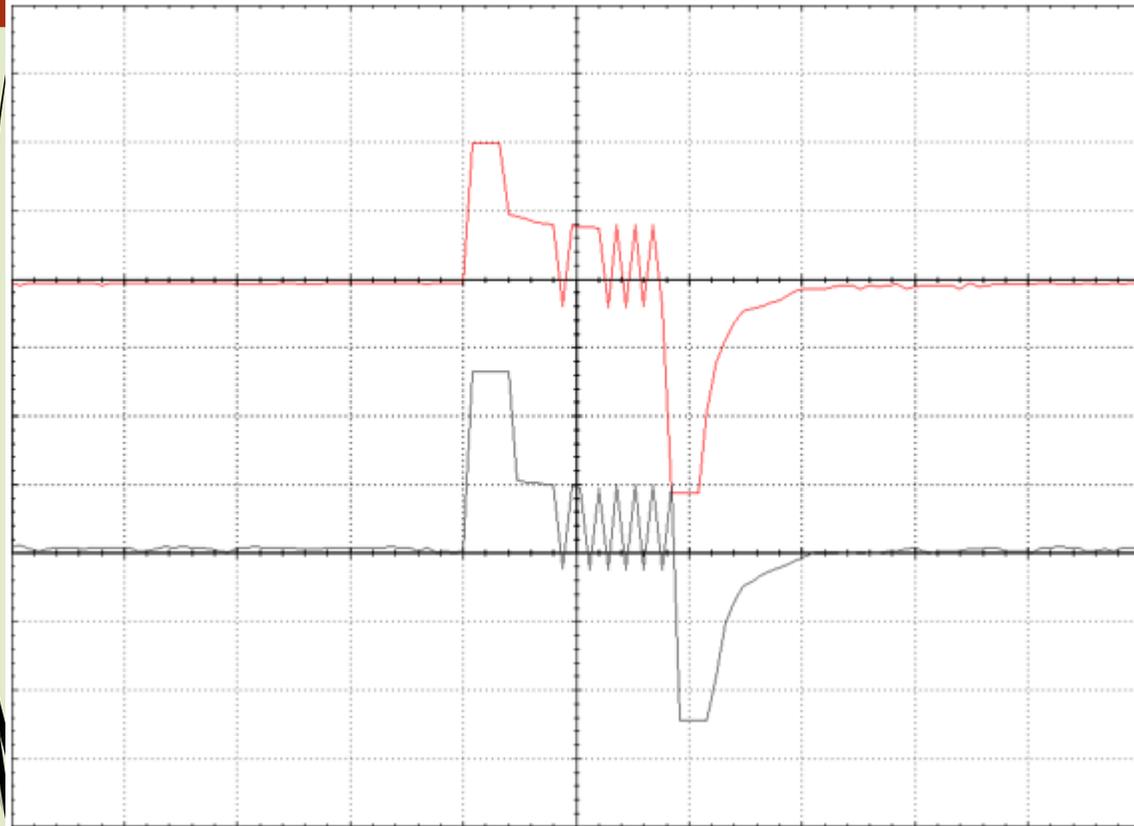
► 10 V/div
► 250 us/div

► ECT L



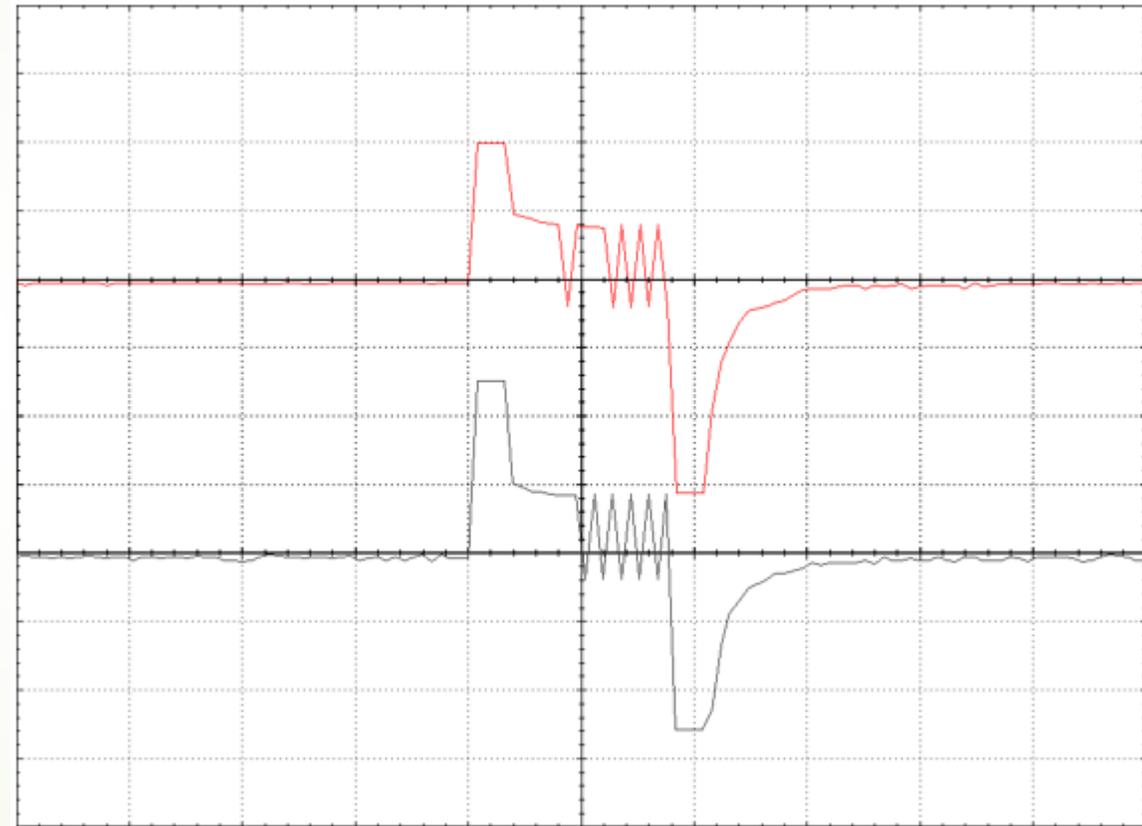
► 10 V/div
► 250 us/div

➤ FTS L (min)



➤ 10 V/div
➤ 250 us/div

➤ MAF L
(max frio)



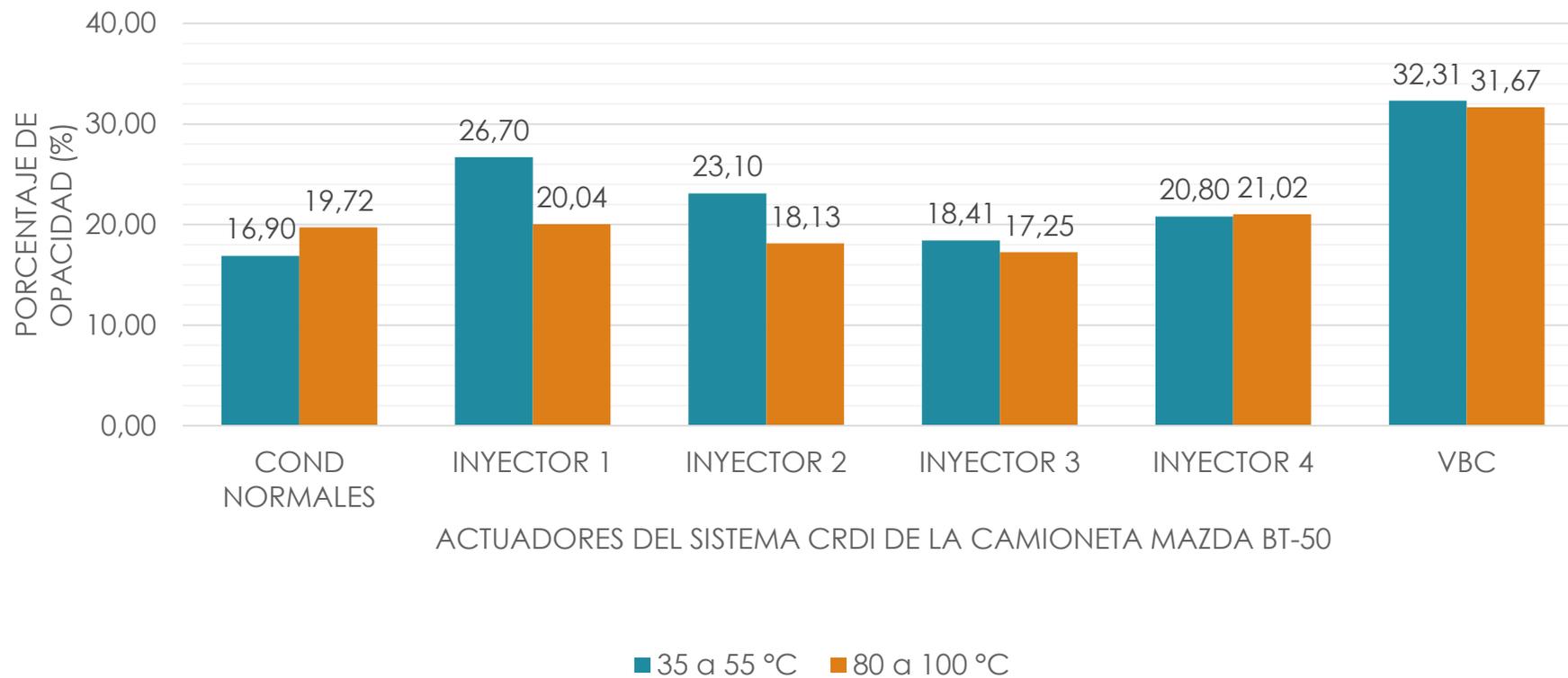
➤ 10 V/div
➤ 250 us/div

Análisis de pruebas en actuadores

ACTUADOR	RANGO DE TEMPERTURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL		
				K (m ⁻¹)	N (%)	T. DISPARO	T. ABIERTO	TOTAL (mS)
INYECTOR 1	35-55	47	4383,33	0,78	26,70	116,33	145,67	0,262
	80-100	86,67	4592,67	0,56	20,04	120,67	129	0,250
INYECTOR 2	35-55	51	4448	0,66	23,10	120,67	108	0,229
	80-100	86,33	4614,67	0,50	18,13	120,67	124,67	0,245
INYECTOR 3	35-55	48,33	4448,33	0,51	18,41	116,33	112,33	0,229
	80-100	85,67	4668	0,47	17,25	120,67	162	0,283
INYECTOR 4	35-55	51	4491,67	0,58	20,80	125	91,33	0,216
	80-100	86	4660	0,59	21,02	112	125	0,237
SCV	35-55	36	163	-	-	-	-	
	80-100	87	186	-	-	-	-	
VBC	35-55	41,5	2282,75	0,98	32,31	118,75	90,5	0,209
	80-100	86,5	2291,5	0,95	31,67	115,5	140,5	0,256

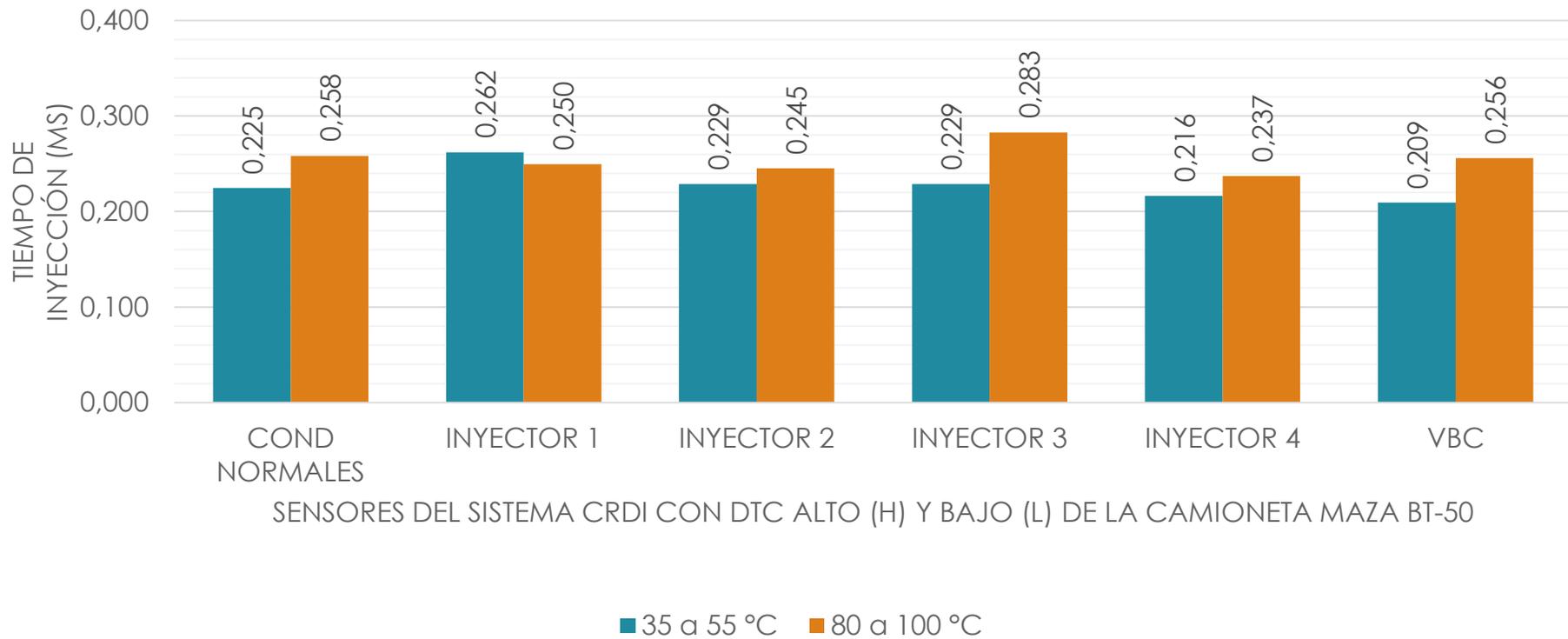


NIVELES DE OPACIDAD - PRUEBAS EN ACTUADORES

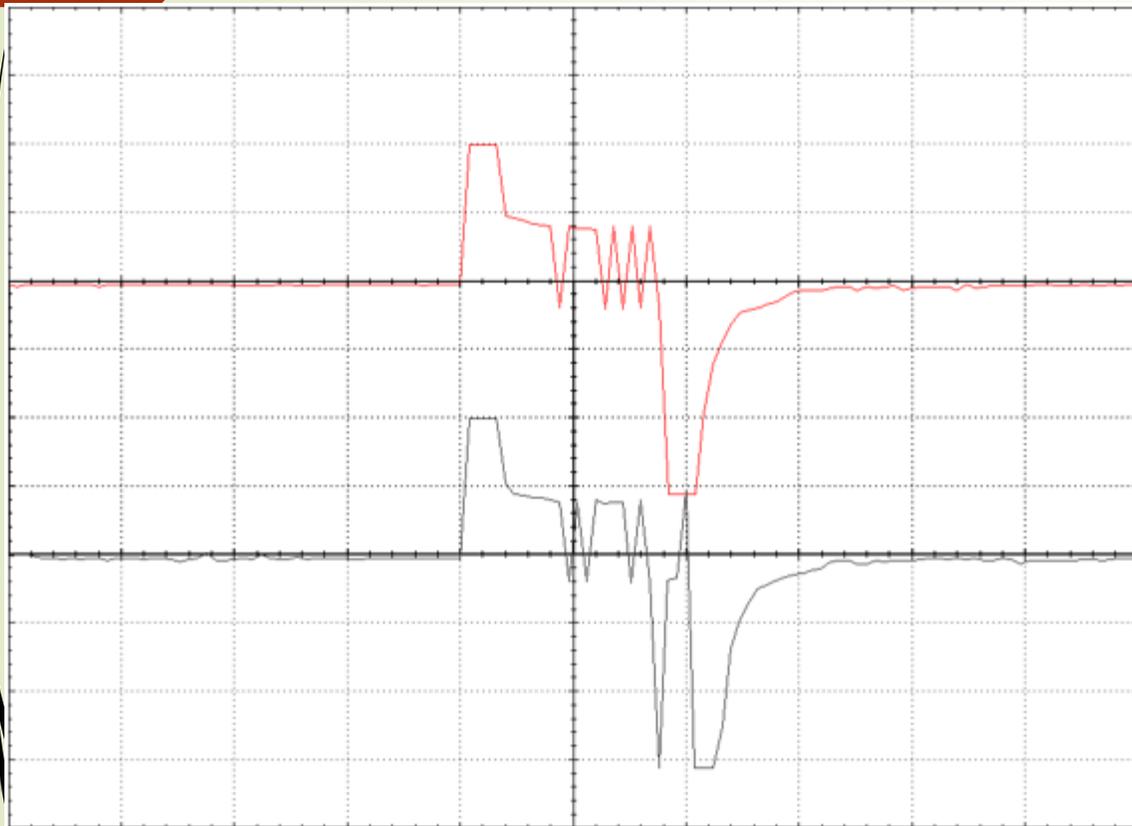




TIEMPOS DE INYECCIÓN - PRUEBAS EN ACTUADORES

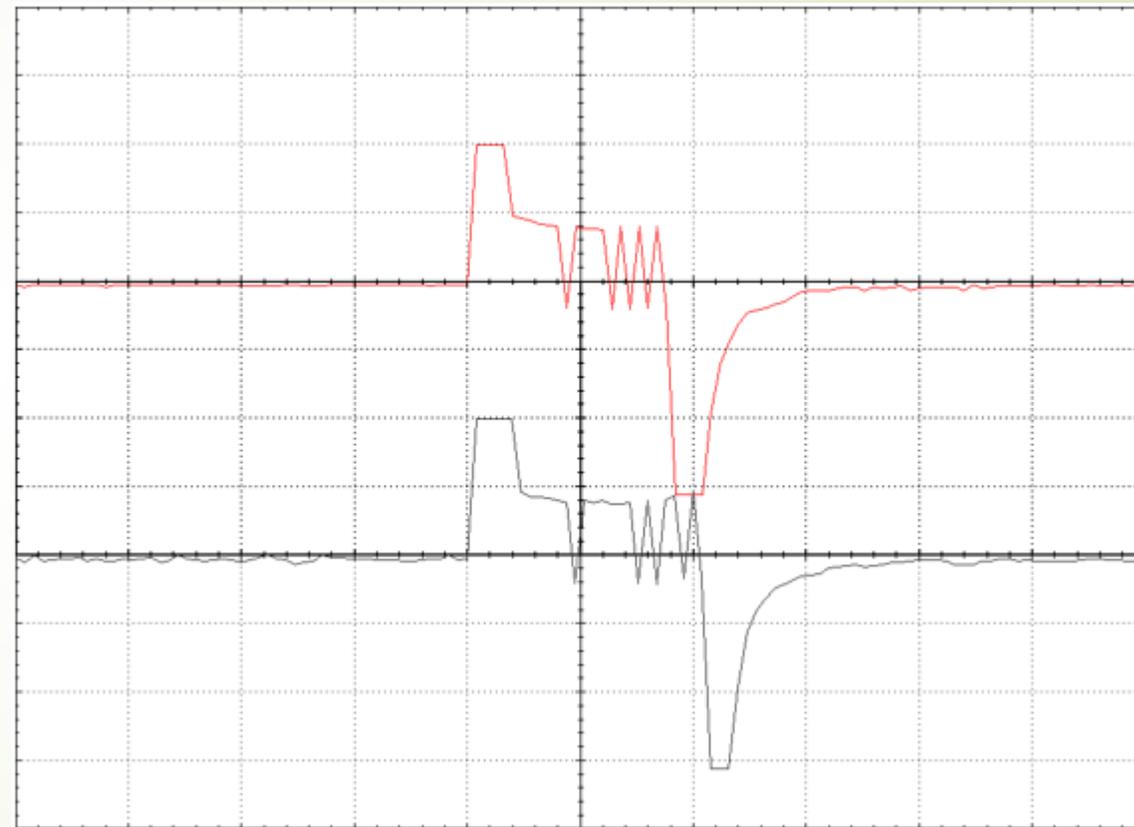


➤ INY 4



➤ 10 V/div
➤ 250 us/div

➤ INY 3



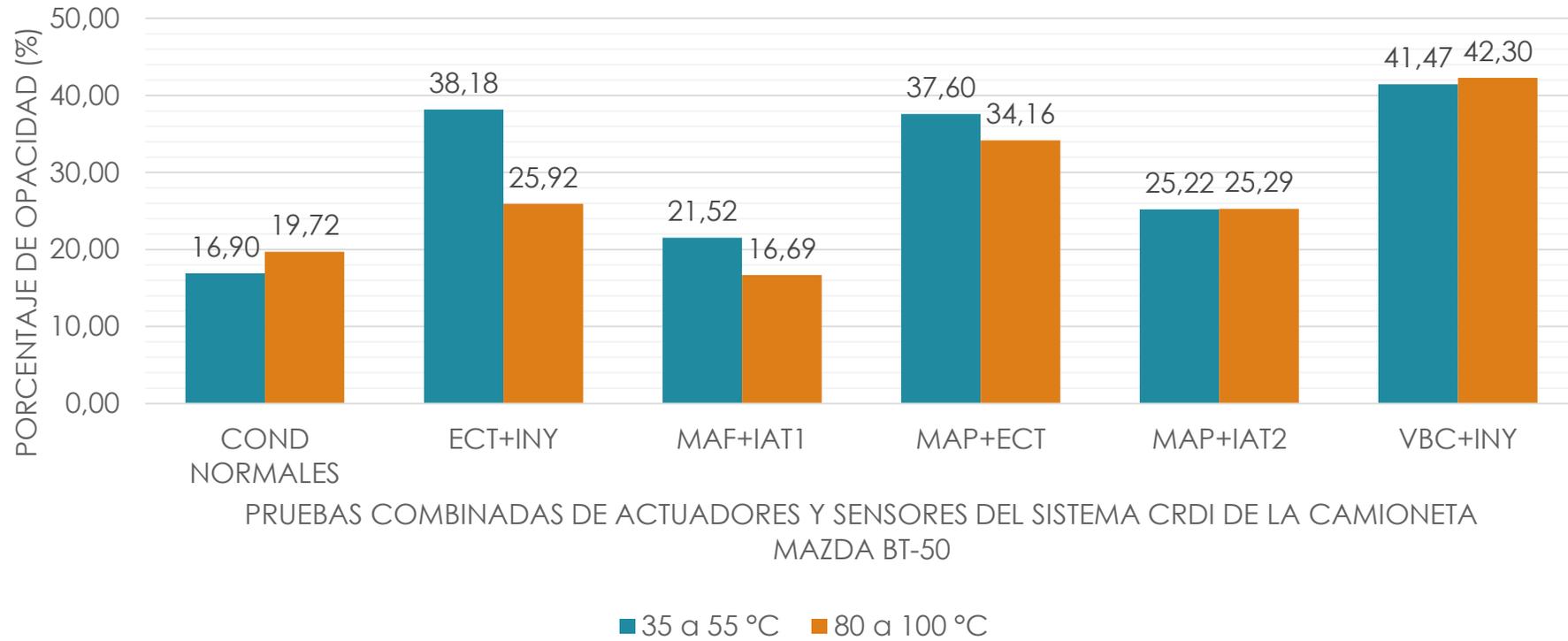
➤ 10 V/div
➤ 250 us/div

Análisis de pruebas combinadas

COMBINACIÓN	RANGO DE TEMPERTURA (°C)	TEMPERATURA (°C)	RPM	OPACIDAD		INYECCIÓN PRINCIPAL		
				K (m ⁻¹)	N (%)	T. DISPARO	T. ABIERTO	TOTAL (mS)
ECT+INY	35-55	50,25	4167,50	1,25	38,18	112,50	112,25	0,225
	80-100	89,75	4648,50	0,78	25,92	103,00	131,25	0,234
MAF+IAT1	35-55	47,33	4697,67	0,61	21,52	108,33	141,67	0,250
	80-100	85,33	4858,33	0,46	16,69	120,67	104,00	0,225
MAP+ECT	35-55	44	2274	1,19	37,60	112,50	112,50	0,225
	80-100	83,25	2292,25	1,05	34,16	112,00	143,25	0,255
MAP+IAT2	35-55	41,00	2282,33	0,73	25,22	112,33	120,67	0,233
	80-100	86,33	2292	0,73	25,29	108,33	116,67	0,225
VBC+INY	35-55	43,75	2275,25	1,34	41,47	109,25	103	0,212
	80-100	86,5	2276,25	1,39	42,30	128	128	0,256

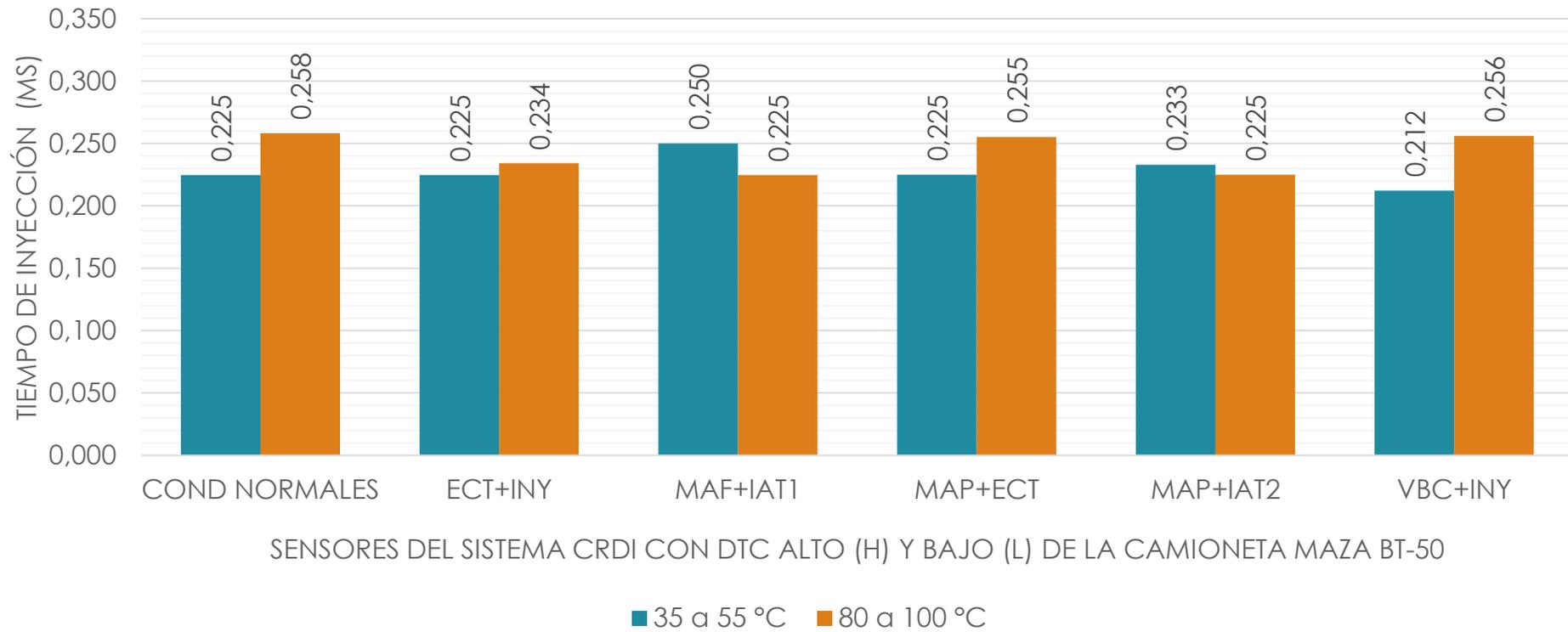


NIVELES DE OPACIDAD - PRUEBAS COMBINADAS

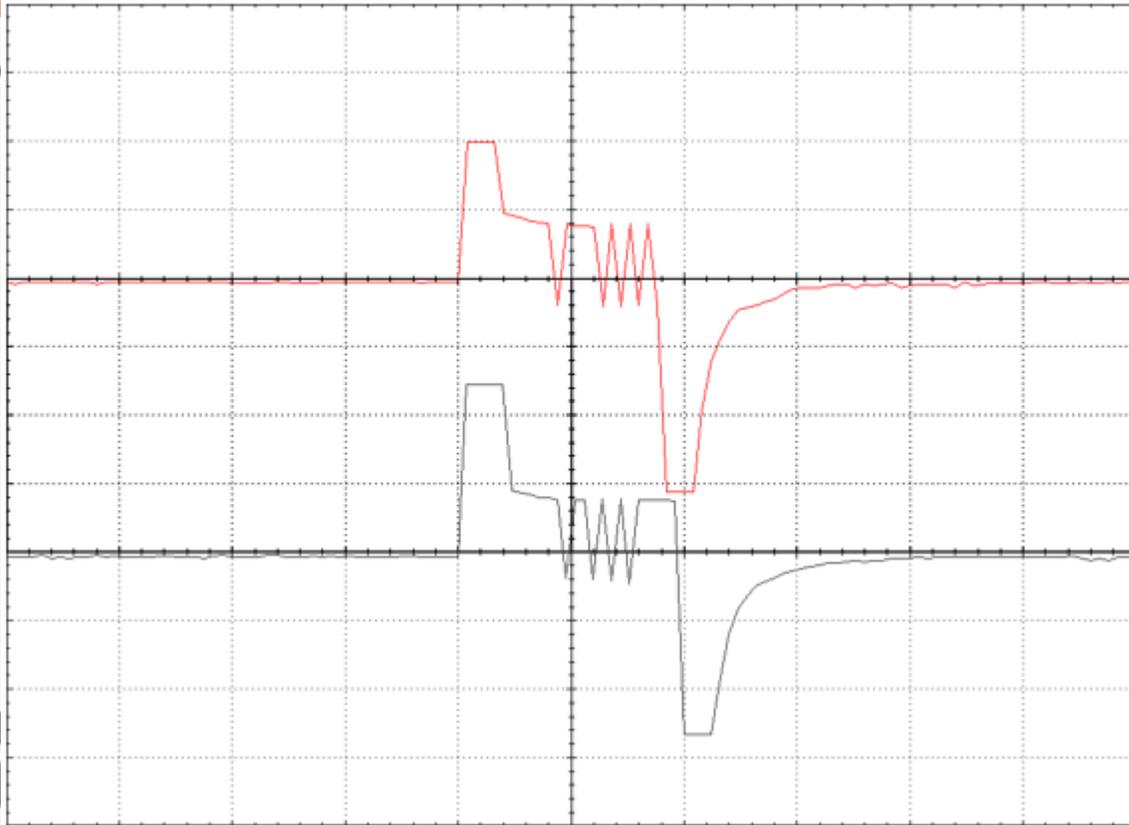




TIEMPOS DE INYECCIÓN - PRUEBAS COMBINADAS

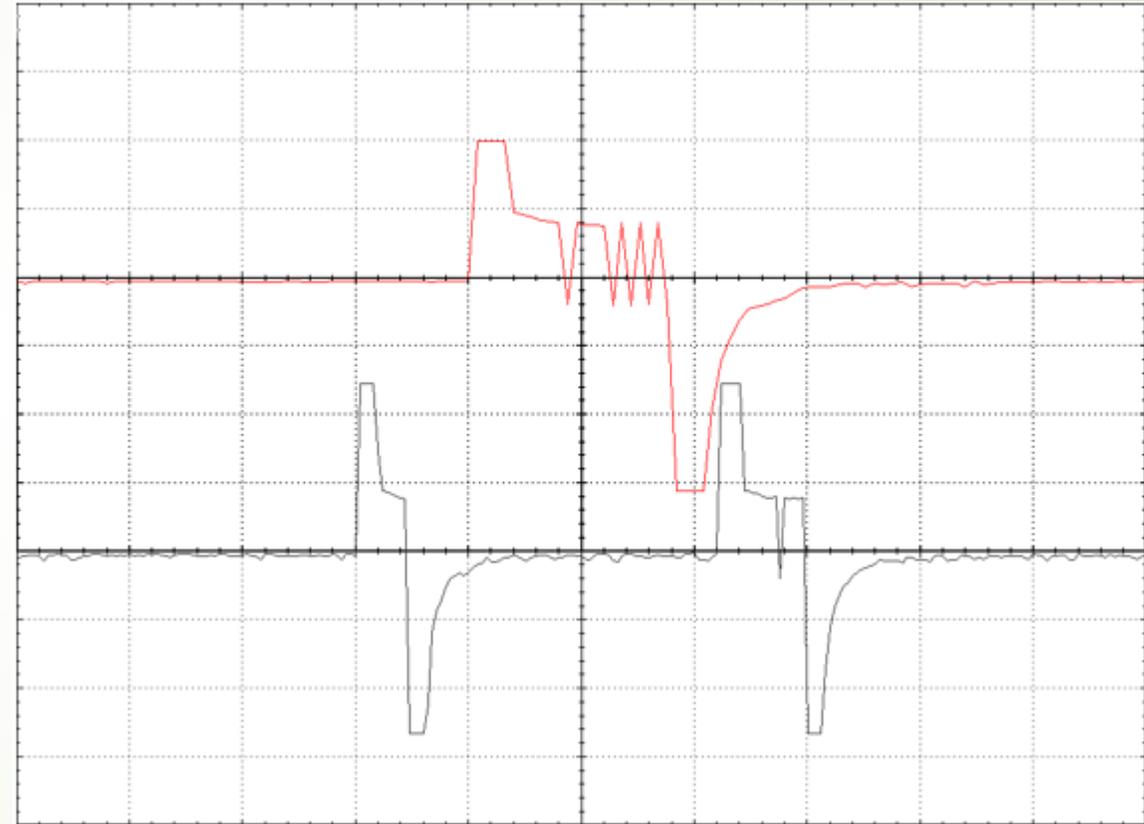


► MAF+IAT



► 10 V/div
► 250 us/div

► VBC+ INY



► 10 V/div
► 250 us/div



CONCLUSIONES

- Cuando se generan códigos de fallas DTC en el sistema de inyección de riel común diesel CRDI de la camioneta Mazda BT-50, existe incidencia directa en la duración de los tiempos de inyección y niveles de opacidad.
- Las fuentes bibliográficas específicas y certificadas sobre sistemas de inyección de riel común de diesel CRDI son de acceso limitado.
- El protocolo de pruebas ejecutado se basó en el procedimiento establecido en la norma NTE INEN 2202:2013 que hace referencia al método de aceleración libre para la determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores diesel; considerando aspectos como: inspección y preparación previa del vehículo y condiciones ambientales para la prueba.
- La tabulación de datos y valores permite considerar únicamente los parámetros relevantes obtenidos en las pruebas de laboratorio para organizar la información que será objeto de análisis.



CONCLUSIONES

- La normativa que controla los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diesel en Ecuador, actualmente es de carácter voluntario, debido a que está basada en las normas EURO II y EPA 94, a pesar de que estas han sido actualizadas a nuevas versiones (EURO VI y EPA 2010); lo que hace flexible el cumplimiento de los límites impuestos en la norma vigente en el país.
- En condiciones normales de funcionamiento del motor en frío y caliente, los valores de opacidad son 16,9% y 19,72%, respectivamente; mismos que no superan el máximo permitido por la norma NTE INEN 2207:2202.
- De las pruebas realizadas en los sensores, el mayor nivel de opacidad se generó al presentarse DTC alto en el sensor de presión de aire de admisión MAP, dado que la ECU detecta una presión del aire de admisión fuera de rango, limitando el régimen de giro del motor a 2300rpm aproximadamente, lo que impide que el turbo-compresor alcance la fase de sobrealimentación; resultando para las mediciones en frío 32,91% y en caliente 28,63%.



CONCLUSIONES

- El DTC en actuadores que genera mayor contaminación es la desconexión de la válvula de control de turbo de geometría variable VBC, pues en frío produce 32,31% de opacidad y en caliente 31,67%, la ECU detecta que no existe corriente en este actuador impidiendo que se produzca la sobrealimentación mediante la limitación de la velocidad de giro del motor a 2300rpm aproximadamente.
- Las combinaciones de fallas producen los mayores niveles de opacidad obtenidos en las pruebas, siendo el peor caso al combinar el DTC de la válvula de control de turbo de geometría variable VBC y de uno de los inyectores, ya que se generó en frío 41,47% y en caliente 42,30% de opacidad; esta combinación fuerza el funcionamiento del motor al limitar el régimen de giro del mismo para impedir que se accione el turbo en la fase de sobrealimentación y al requerir más trabajo en los cilindros que funcionan correctamente.
- La variación en los niveles de opacidad no presenta relación directa con la duración de los tiempos de inyección, ya que la ECU considera diversos parámetros para proporcionar una mezcla estequiométricamente equilibrada, principalmente las condiciones del aire de admisión.

CONCLUSIONES

- Al existir DTC alto en el sensor ECT la duración de la inyección principal es mayor tanto en frío como en caliente, ya que en ambos casos la ECU procura elevar la temperatura del motor sensada de -40°C a la establecida en condiciones normales de funcionamiento, teniendo un incremento de 9,35% y 11,23% respectivamente.
- El DTC de cualquiera de los inyectores en las pruebas en frío genera en promedio un incremento de 4,11% en el tiempo de inyección de combustible en el cilindro analizado, pues el trabajo que resta esta falla debe ser compensado por los tres cilindros restantes para permitir que el motor siga funcionando.
- La mayor duración de la inyección de combustible se presenta en las pruebas en frío con un DTC bajo del sensor MAF y en caliente con el DTC alto del sensor ECT, en los dos casos dando un tiempo de $0,287\text{mS}$.



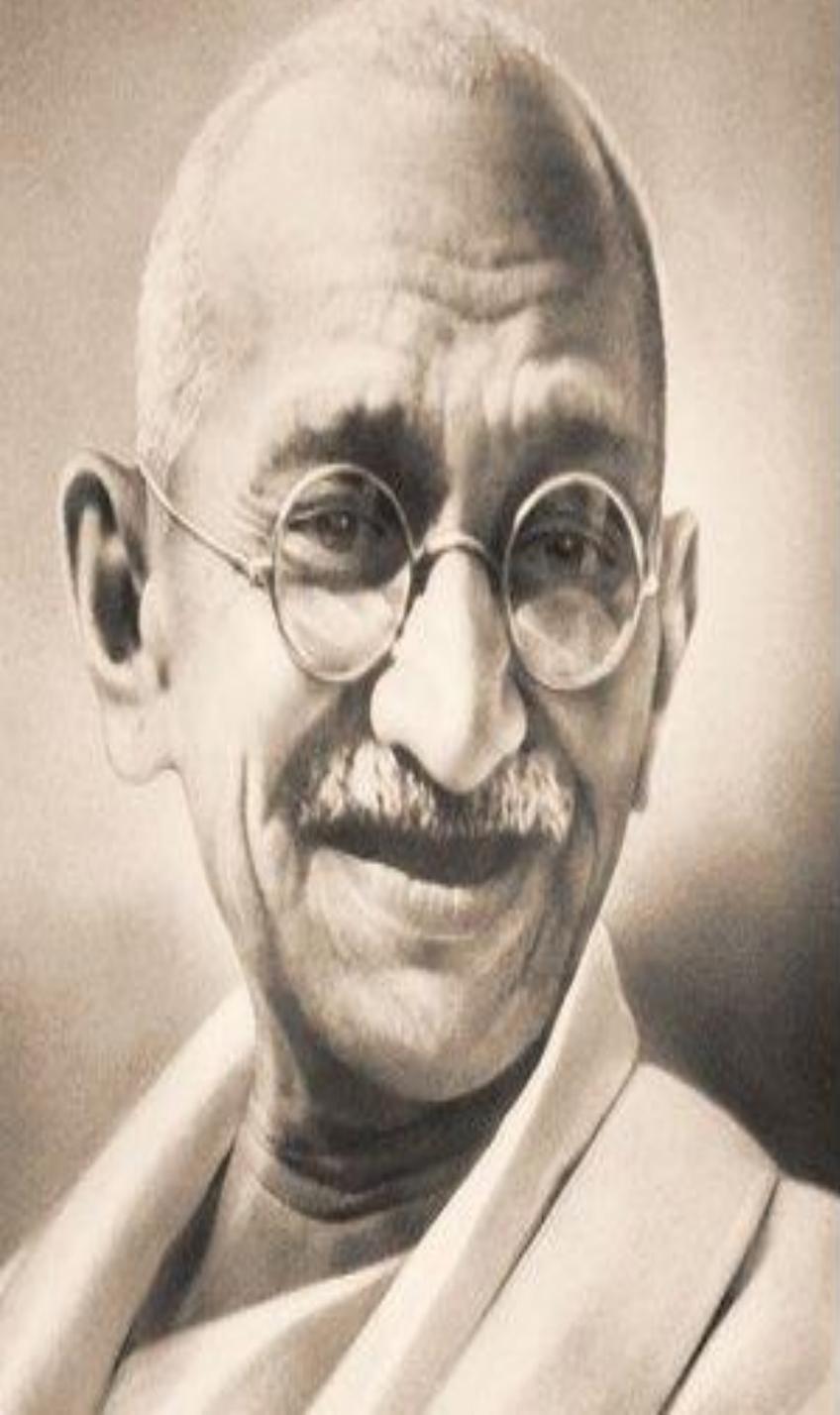
RECOMENDACIONES

- Considerar los objetivos que se establecieron al inicio del proyecto, con la finalidad de trabajar para el alcanzar cumplimiento de todos ellos al concluir la investigación.
- Los equipos que se van a utilizar en las pruebas deben estar calibrados y puestos a punto, para así obtener datos reales y confiables, que respalden la validez de la investigación.
- Para generar DTCs es indispensable determinar el diagrama electrónico de los sensores y actuadores del sistema de inyección de riel común diesel, así como el voltaje de funcionamiento en los cables de dichos componentes.
- Utilizar las puntas de medición del osciloscopio que mejor se adapten a las conexiones de los elementos a analizar, para que los resultados no se vean afectados por posibles ruidos.



RECOMENDACIONES

- Considerar los voltajes de funcionamiento de cada uno de los cables de los sensores, para manejarlos adecuadamente al momento de realizar las pruebas y así evitar daños permanentes en los elementos mismos, o en el módulo de control.
- Tener la información obtenida en cada prueba de forma organizada, ya que al ser un número considerable de pruebas se puede confundir la información y esto alteraría los resultados analizados.
- Indagar en bases de datos científicas o de carácter académico como JSTORE o Google Académico, pues la información ahí considerada es verídica y real, con lo que le dará mayor relevancia a la investigación.
- Se recomienda utilizar esta investigación como base para el desarrollo de un nuevo análisis investigativos, en el que, además de los tiempos de inyección y los niveles de opacidad, se considere el suministro de aire como parte importante de la mezcla de combustión; así se podrá determinar cuál es la influencia de dicha mezcla en la emisión de opacidad de gases de escape de motores diesel CRDI.



Satisfacción radica en el esfuerzo y no en el logro,
el esfuerzo total es una victoria completa.

-Mahatma Gandhi