

*"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad."*

- Albert Einstein -



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L**

**Departamento de Energía y Mecánica**

**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**“Proceso de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI DELPHI”**

**Autores:**

Alulema Teneda, Christian Mauricio

Lasinquiza Gancino, Gloria Nataly

**Director:**

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán

**Latacunga, agosto de 2022**



# ÍNDICE DE CONTENIDO

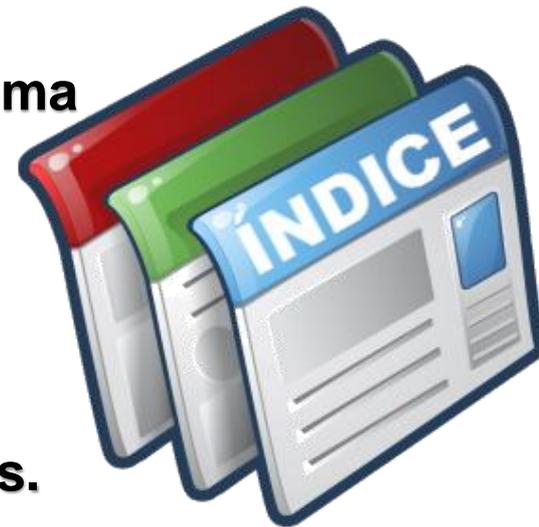
- Antecedentes**
- Planteamiento del problema**
- Descripción resumida del proyecto**
- Justificación e importancia**
- Objetivos del proyecto**
  - Objetivo General***
  - Objetivos Específicos***
- Metas**
- Hipótesis**



- Marco teórico**
- Evolución de los sistemas de riel común.**
- Ventajas del uso del sistema CRDI DELPHI.**
- Sistema de control hidráulico.**
- Sistema de alta presión de combustible.**
- Inyectores con tecnología DELPHI.**
- Características de los inyectores DELPHI.**
- Parámetros de inyección.**
- Inicio de la inyección.**



- Curva de la inyección.**
- Control de los inyectores.**
- Punto de drenaje.**
- Suministro de combustible inactivo.**
- Prueba de fugas: prueba de sellado.**
- Geometría de los ángulos de operación del sistema**
- Síntomas de averías y diagnóstico**
- Sistema de control electrónico**
- Control de voltaje, corriente y figura de Lissajous.**
- Activación y cierre del inyector inductivo Delphi**



- PROTOCOLO DE VERIFICACIÓN, MANTENIMIENTO, PRUEBAS Y PUESTA A PUNTO DE INYECTORES DELPHI.**
- Levantamiento de requerimientos**
- Osciloscopio Hantek 1008c**
- Banco de pruebas tester CRDI V-3500 VNP**
- Banco de pruebas KOMTEST CRI PUMP - 2400**
- Multímetro**
- Pinza amperimétrica OTC**
- Compresor MZ**
- Probador de resistencia de aislamiento**
- Comparador de caratula**
- Especificaciones del sistema e inyección DELPHI**



- Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector**
- Ajuste de recorridos, inductancias, caudal y retorno.**
- Análisis de resultados.**
  - Análisis de pruebas en función de la presión.**
  - Análisis y comparación de caudales de inyección y retorno del Inyector CRDI Delphi R03701D**
  - Análisis y comparación de caudales de inyección y retorno del Inyector CRDI Delphi R04601D**
- Conclusiones**
- Recomendaciones**



# MARCO METODOLÓGICO



El sistema de inyección CRDI (Common Rail Direct Injection) es una tecnología avanzada de inyección de combustible para motores diésel. Fue desarrollado en la década de 1990 por la empresa alemana Bosch y se lanzó por primera vez en 1997.

De acuerdo con (Lara & Monteros, 2016) en el país el incremento exponencial de los vehículos que usan sistemas de alimentación CRDI es una realidad, y uno de los principales problemas que experimenta los usuarios de estos, son las averías en sus vehículos (pérdida de potencia, alto consumo de combustible, exceso de humos negros, etc.) por el desgaste o daños en las toberas de los inyectores.

(Tigre & Villa, 2015) mencionan que: los inyectores CRDI Delphi trabajan con presiones que van desde los 200 a 1600 Bar, son de tipo electromagnético de un diámetro aproximado de 17 mm y de resistencia de  $0,2 \Omega$ , son activados con una tensión de 12 V y una corriente de apertura de (12-25) A para su apertura y (6-15) A de corriente para mantenerlo abierto.



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La investigación de este problema es importante para determinar si los inyectores CRDI de Delphi son una tecnología viable a largo plazo para los vehículos diésel, y para identificar las áreas que necesitan mejoras para garantizar su rendimiento óptimo. Además, esta investigación es ser útil para los proveedores de tecnología para mejorar la calidad de sus productos y satisfacer las necesidades de los consumidores.

La industria automotriz se enfrenta a la necesidad de reducir las emisiones contaminantes de los vehículos diésel, a la vez que se busca mejorar la eficiencia y el rendimiento de los motores. En este contexto, los inyectores CRDI de Delphi se presentan como una solución tecnológica prometedora.

Sin embargo, a pesar de los avances en el desarrollo de esta tecnología, aún se desconocen aspectos importantes sobre el desempeño y reparación y calibraciones de los inyectores Delphi CRDI en diferentes condiciones de uso y mantenimiento.



# DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO



# JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA





## OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el proceso de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI DELPHI.



# OBJETIVOS



Desarrollar el proceso de armado, desarmado, verificación la medición de especificaciones por medio de pruebas de caudal, retorno y presión.



Verificar el desempeño eléctrico/electrónico de los inyectores a través de la obtención de intensidad voltaje de activación.



Verificar el desempeño eléctrico/electrónico de los inyectores a través de la obtención de intensidad voltaje de activación.



Desarrollar el proceso de armado, desarmado, verificación la medición de especificaciones por medio de pruebas de caudal, retorno y presión.





Diagnóstico  
mecánico,  
eléctrico y  
mantenimiento.



Proceso de  
diagnóstico,  
calibración,  
ajuste y  
reparación.

A screenshot of a diagnostic software interface. The interface displays a table with columns for PRESS BAR, RPM, PULSE, NORMAL, and four INJIC (Injection) parameters. The table shows data for various RPM values (1500, 1400, 1200, 250, 1600) and their corresponding pulse and injection values. The interface also shows 'Temp. of Tank' at 35 °C and 'Temp. of Back' at 40 °C.

START TIME		0	0	0	0		
CHANGING		0	0	0	0		
MATCHING		0	0	0	0		
PRESS BAR	RPM	PULSE	NORMAL	1. INJIC	2. INJIC	3. INJIC	4. INJIC
	rev	LS	norm/rev	norm/rev	norm/rev	norm/rev	norm/rev
1500	1500	0	0	0	0.0	0.0	0.0
			15.0	15.0	2.9	0.0	0.0
1400	1000	1000	66.4	6.0	62.6	0.0	0.0
			36.0	22.0	29.1	0.0	0.0
1200	1100	800	51.5	5.0	47.8	0.0	0.0
			0	0	0.0	0.0	0.0
250	1150	430	5.8	2.8	5.1	0.0	0.0
			6.0	5.0	4.8	0.0	0.0
1600	200	2.5	1.8	4.0	0.0	0.0	0.0

Hoja de  
característica.



## HIPÓTESIS

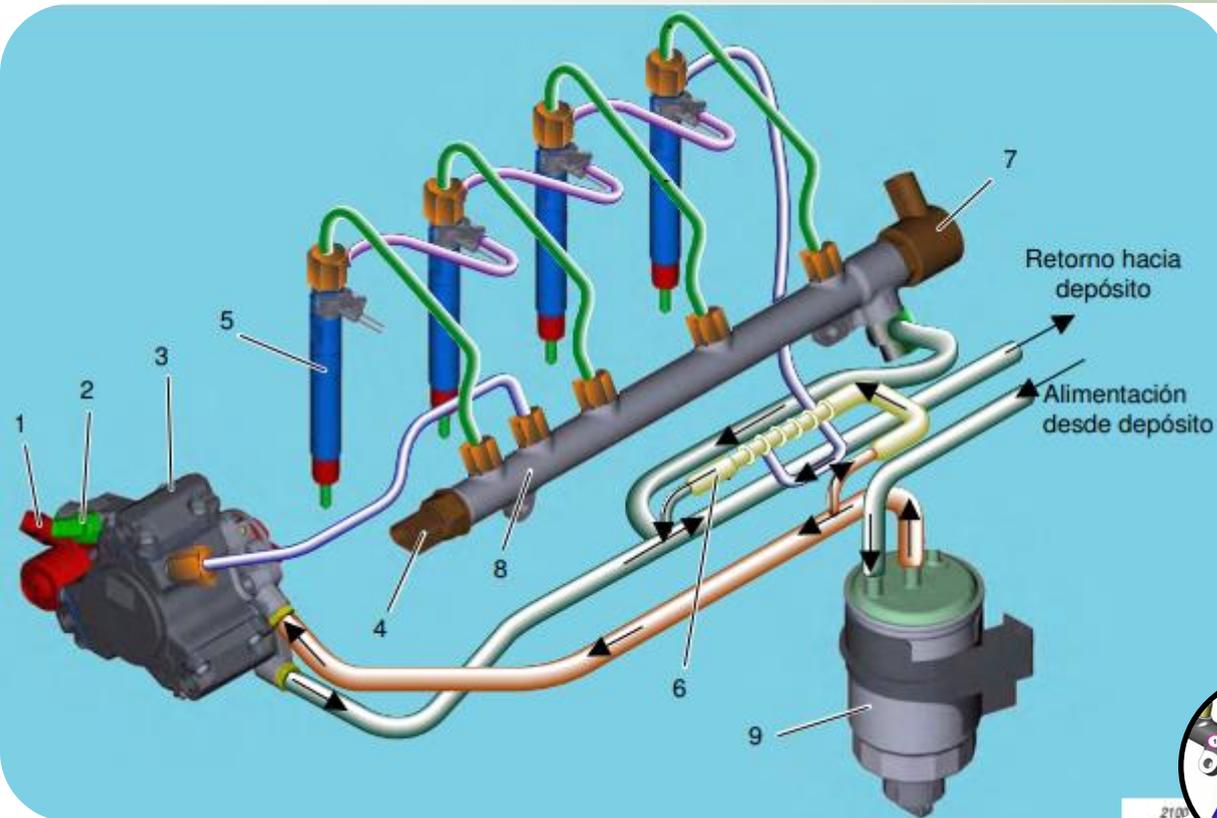
¿El desarrollo del proceso de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI DELPHI permite obtener las variables necesarias para el desempeño óptimo del motor de combustión interna diésel?



# MARCO TEÓRICO



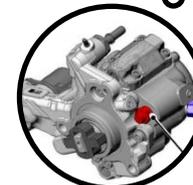
# Composición del sistema common rail



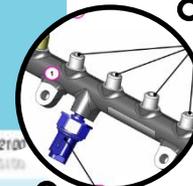
Depósito de combustible



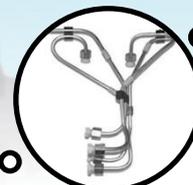
Filtro de combustible



Bomba de Alta presión



Riel común



Cañerías



Inyector Delphi



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



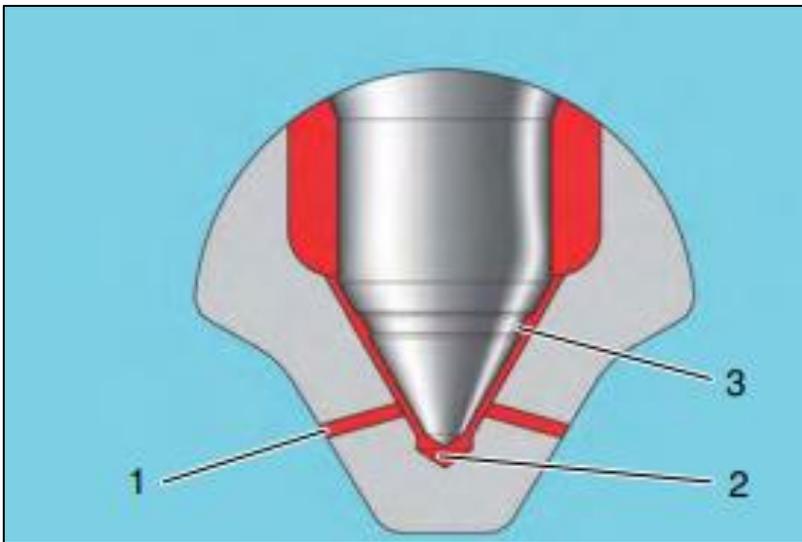
# Inyectores con tecnología DELPHI

- Permite una mejora en el diseño de la culata y así disminuye las emisiones de gases.
- Se adelanta a las nuevas normas que controlan muy severamente emisiones de CO2.
- Tipo lápiz son comandados por un accionador electromagnético y un dispositivo hidráulico
- La aguja de inyector posee ranuras para darle un movimiento helicoidal. Este movimiento mejora la homogeneidad de los chorros.



# Características del inyector Delphi

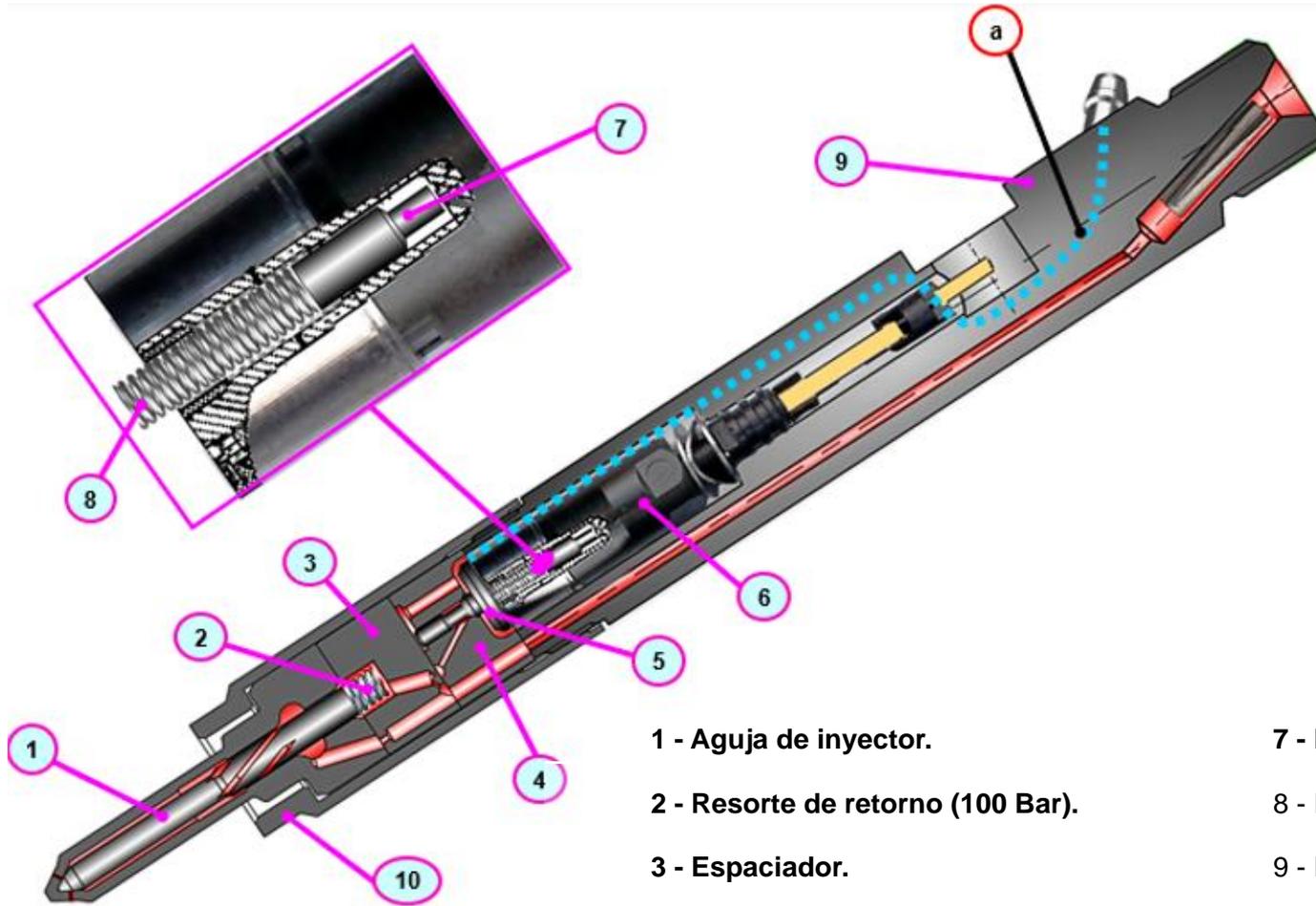
- Permite inyecciones múltiples. (hasta 5 inyecciones por ciclo)
- Permite inyectar cantidades cada vez más pequeñas (0,5mg/cp)
- Inyecta a presiones cada vez más elevadas (1800bar)
- Tiene interacciones hidráulicas débiles entre 2 inyecciones sucesivas
- Distribuye de manera homogénea la cantidad inyectada.



- 1 agujero de inyección cónico
- 2 al volumen  $\mu$ sac optimizado
- 3 geometría aguja inyector



# Constitución interna de un Inyector Delphi



1 - Aguja de inyector.

2 - Resorte de retorno (100 Bar).

3 - Espaciador.

4 - Cuerpo de válvula.

5 - Válvula.

6 - Bobina.

7 - Piñón (núcleo magnético).

8 - Resorte de piñón.

9 - Porta inyector.

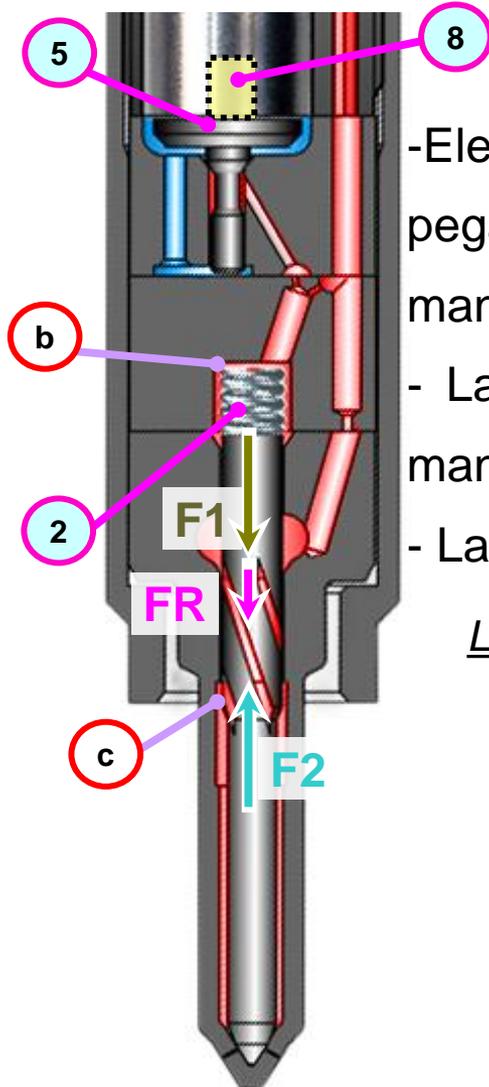
10 - Tuerca.

a - Conducto retorno inyector.



# Funcionamiento del inyector Delphi

## Motor en funcionamiento / inyector no comandado



-Electroválvula de mando no está alimentada, la válvula (5) está pegada a su asiento por su resorte de retorno (8). La cámara de mando (b) está aislada del canal de retorno (a).

- La alta presión se instala de forma idéntica en la cámara de mando (b) y en la aguja del inyector (c).

- La aguja ayudada por el resorte (2) se mantiene inmóvil.

La aguja de inyector está sometida a tres esfuerzos:

**F1** = Esfuerzo ejercido por la presión que reina en el volumen de mando.

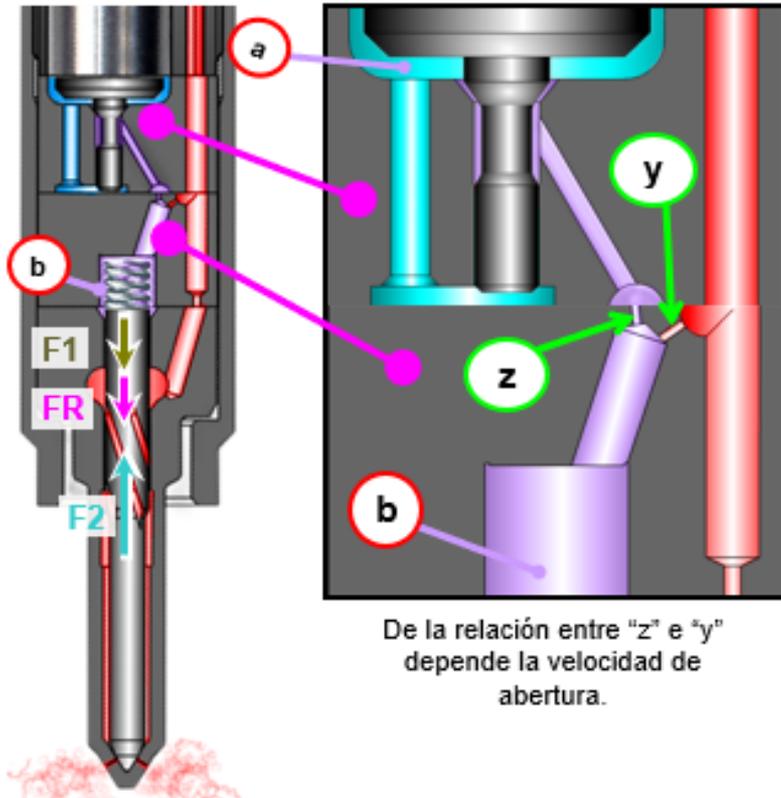
**F2** = Esfuerzo ejercido sobre la sección del aguja de inyector.

**FR** = Calibrado del resorte de retorno de la aguja de inyector.

**$F2 < F1 + FR$  entonces Inyector cerrado**



# Motor en funcionamiento / inyector comandado



De la relación entre "z" e "y"  
depende la velocidad de  
abertura.

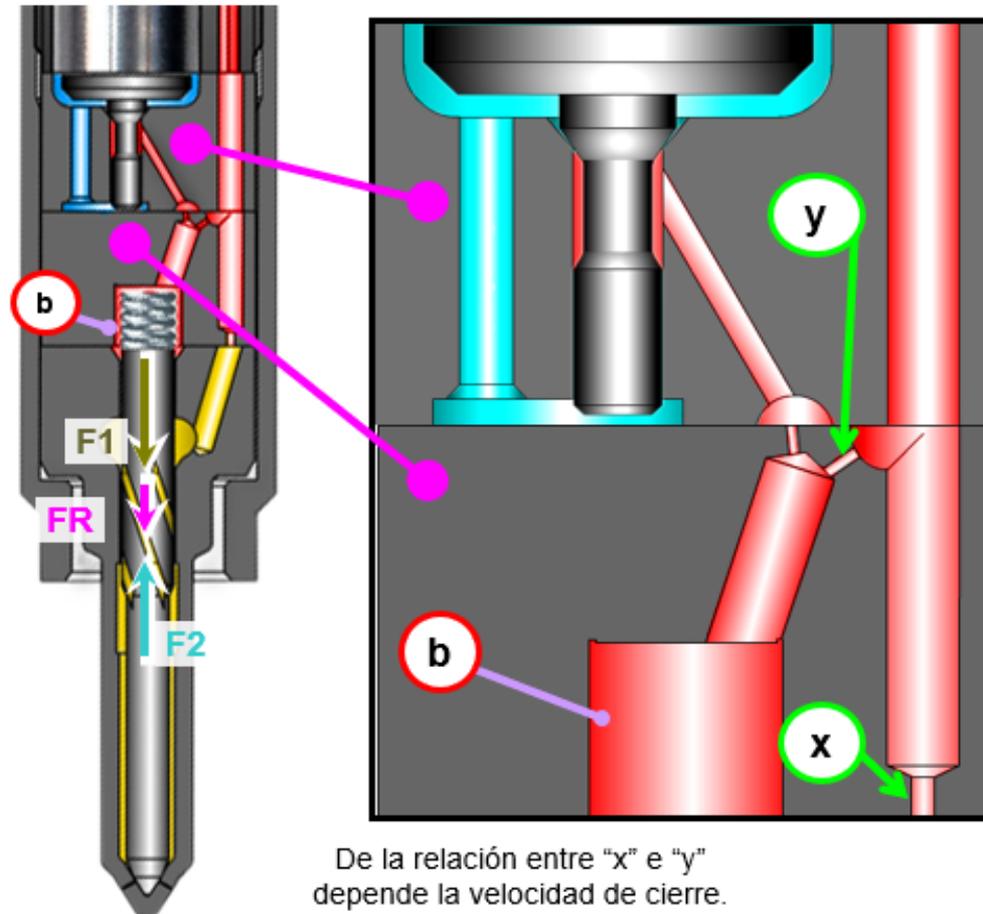
$F2 > F1 + FR$  entonces *Inyector abierto*



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Motor en funcionamiento / el inyector no comandado se cierra

El CMM corta la alimentación de la electroválvula.



**$F2 < F1 + FR$  entonces Inyector cerrado**



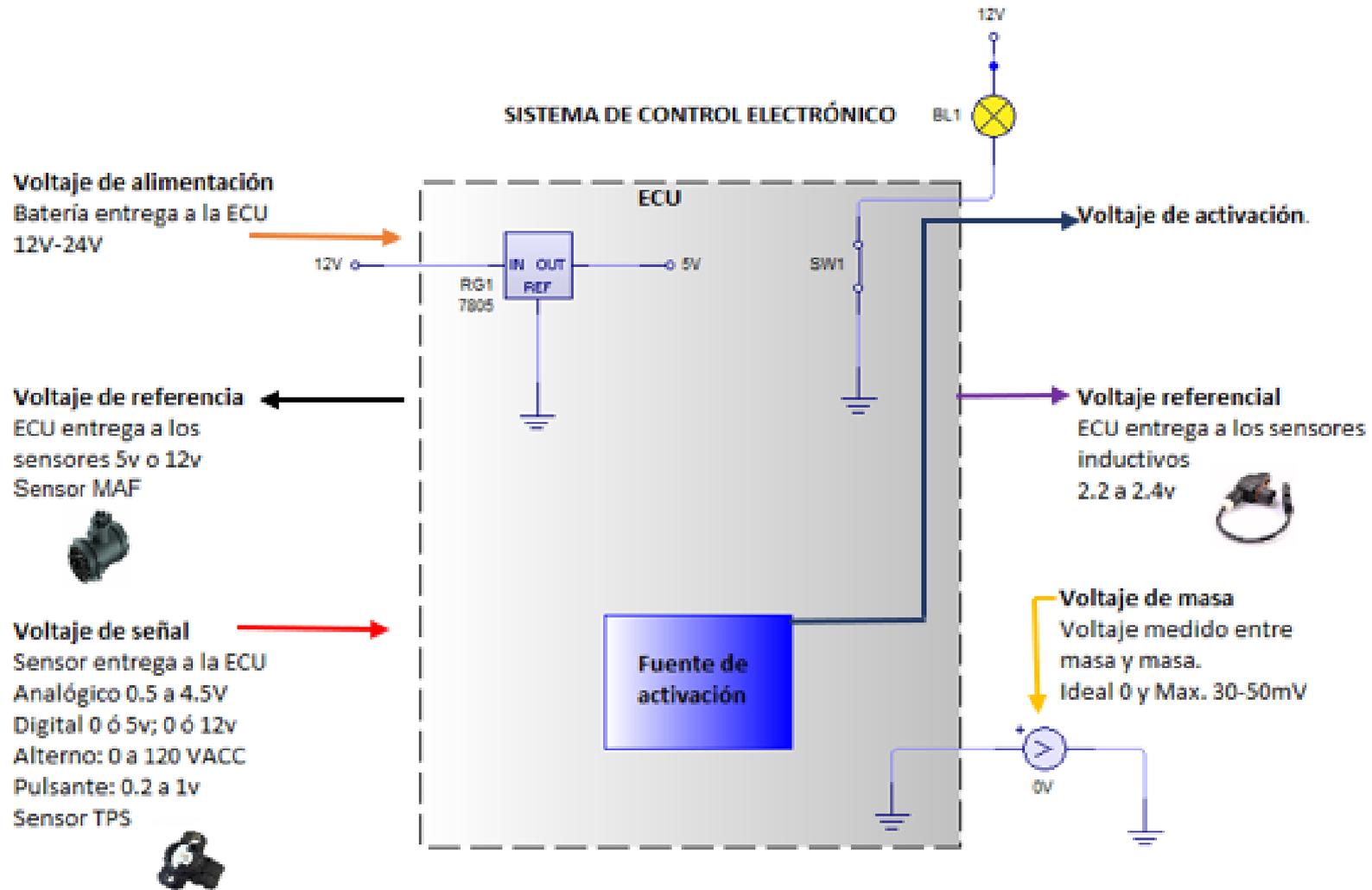
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Síntomas de averías y diagnóstico

- Humo en el escape excesivo.
- Problemas en el encendido.
- El motor no enciende.
- Inyector sin señal de activación.
- Problemas con el conector del inyector que causan desconexión intermitente.
- Bobina del inyector a masa.



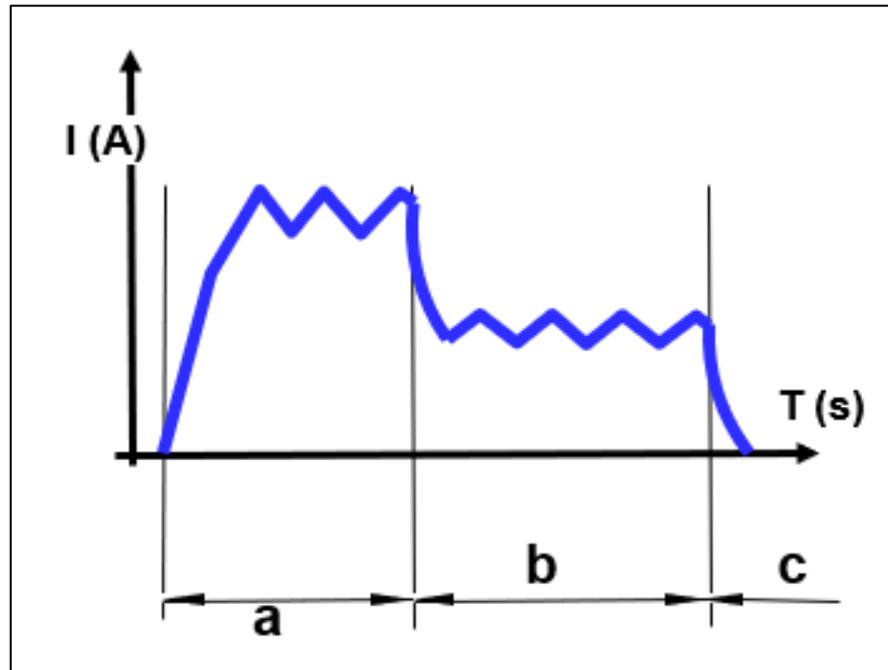
# Sistema de control electrónico



# Sistema de control electrónico

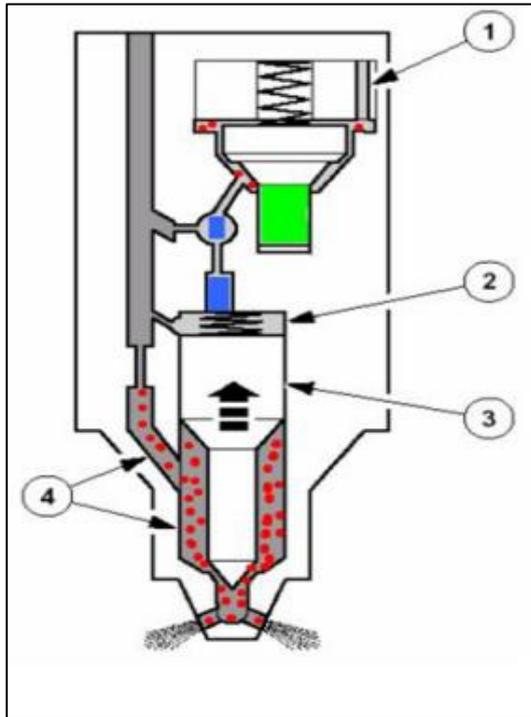
Una fase de llamada (a), 12 voltios a presión 10,5A.

Una fase de mantenimiento (b), 12 voltios con aproximadamente 5 A.

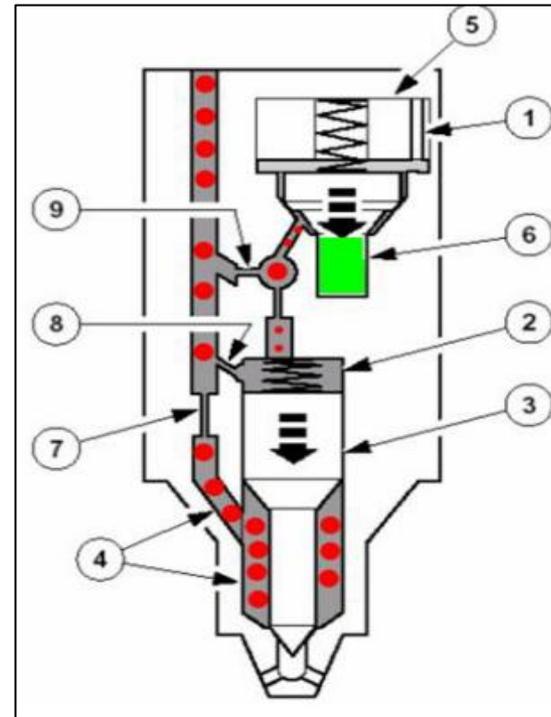


# Sistema de control electrónico

Inyector abierto



Inyector cerrado

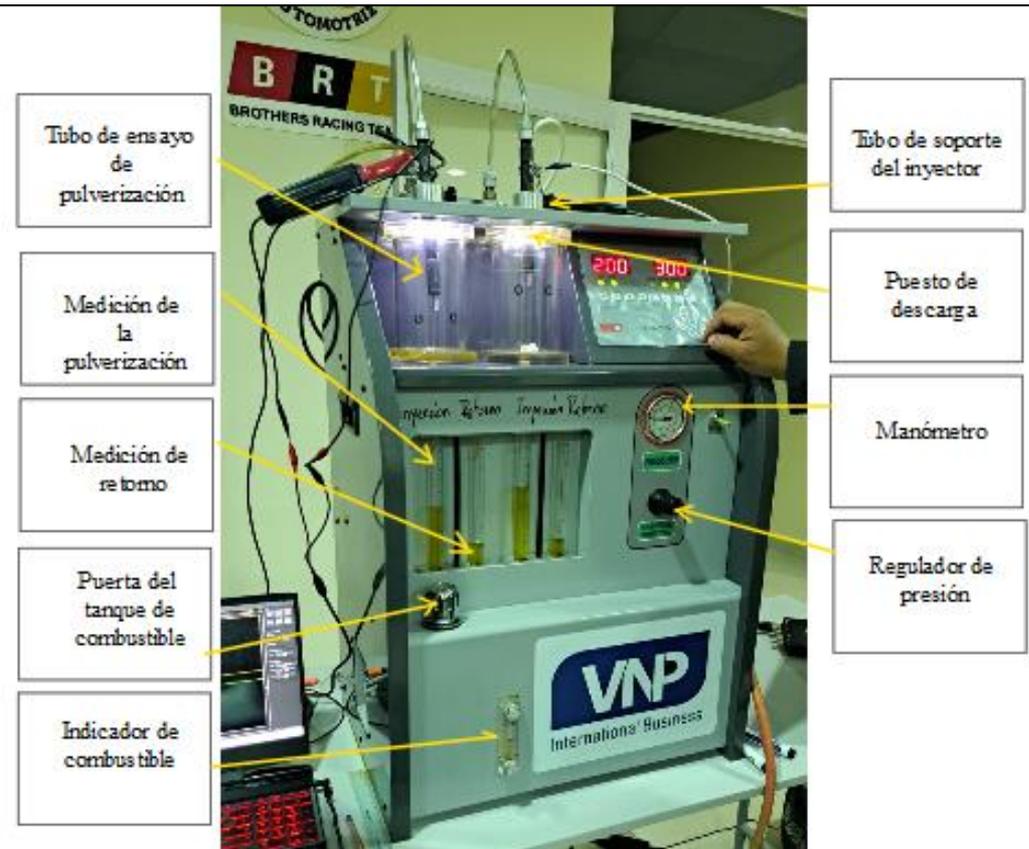


trabajan a alta presión con  
activación de los 0.3 ms



# **PROTOCOLO DE VERIFICACIÓN, MANTENIMIENTO, PRUEBAS Y PUESTA A PUNTO DE INYECTORES**





**Banco de pruebas tester CRDI V-3500 VNP**



**Osciloscopio Hantek 1008c**



**Banco de pruebas KOMTEST CRI PUMP -**

**2400**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**Multímetro automotriz**



**Pinza amperimétrica OTC**



**Compresor MZB**



**Probador de resistencia de aislamiento**



# HERRAMIENTAS



Mordaza para sujetar inyectores



Entenalla



Bandeja metálica



Torquímetro



Pinzas



Llaves mixtas



Palanca de fuerza



Copas mando de media

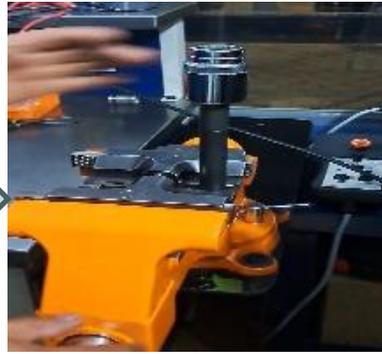


## Características y aplicación inyector CRDI Delphi R02801D.

Marca Automóviles	Hyundai Kia
Modelo	Terracán Carnival
Motor	2.9 CRDI
BHP	150
Cilindros	4
Normas de emisión	Euro II
Bomba	9044A072A
Tobera	L097PRD



# Desarmado del inyector CRDI Delphi R04601D



# Armado del inyector CRDI Delphi R04601D.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Características y aplicación inyector CRDI Delphi R03701D

<b>Marca Automóviles</b>	<b>SsangYong</b>
<b>Modelo</b>	Korando
	Rexton
	Stavic
	Rodius
<b>Motor</b>	2.7 XDi
<b>BHP</b>	150
<b>Cilindros</b>	5
<b>Normas de emisión</b>	Euro III
<b>Bomba</b>	9044A072A
<b>Tobera</b>	L097PRD

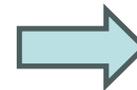
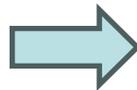
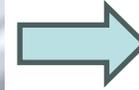
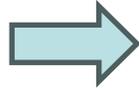


# Desarmado del inyector CRDI Delphi R03701D.



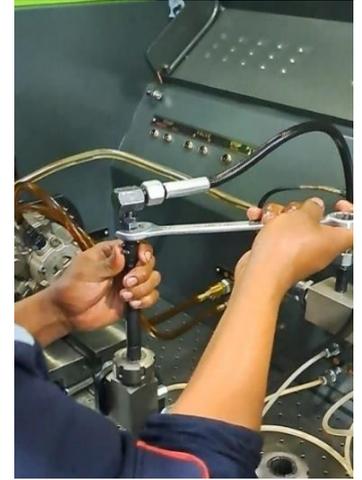
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Armado del inyector CRDI Delphi R03701D.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Puesta en el banco de pruebas del inyector CRDI Delphi.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Pruebas de caudales del inyector CRDI Delphi

	PRESS	RPM	PULSE	NORMAL	±	1.INJEC
	BAR	d/d	uS	mm <sup>2</sup> /Hub	mm <sup>2</sup> /Hub	mm <sup>2</sup> /Hub
<b>TEST 0: Estanqueidad</b> →	1500	1500	0	0 15,0	0 15,0	0,0 2,9
<b>TEST 1: Plena carga</b> →	1400	1000	1000	66,4 30,0	6 22,0	62,6 29,1
<b>TEST 2: Emisiones</b> →	1200	1100	800	51,5 0	5,0 0	47,8 0,0
<b>TEST 3: Ralentí</b> →	250	1150	430	5,8 6,0	2,8 5,0	5,1 4,8
<b>TEST 4: Preinyección</b> →	800	1600	200	2,5 0	1,8 0	4,0 0,0
<b>TEST 5: Emisiones</b> →	900	1100	700	41,6 0	4,0 0	37,9 0,0



# Ángulo de pulverización del inyector EJBR03701D

Datos:

$$h = 1 \text{ cm}$$

$$r = 4.6 \text{ cm}$$

$$\theta = 1.1 \text{ cm}$$

$$Y = 0.2 \text{ cm}$$



Ángulo de disparo

$$\alpha = \arctan\left(\frac{h}{r}\right) = \arctan\left(\frac{1}{4.6}\right) = 12.26$$

Ángulo de dispersión

$$\gamma_T = \arctan\left(\frac{\theta + y}{r}\right) - \arctan\left(\frac{y}{r}\right)$$

$$\gamma_T = \arctan\left(\frac{1.1 + 0.2}{4.6}\right) - \arctan\left(\frac{1}{4.6}\right)$$

$$\gamma_T = 3.52$$



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Ángulos que posee el inyector inyector EJBR04601D

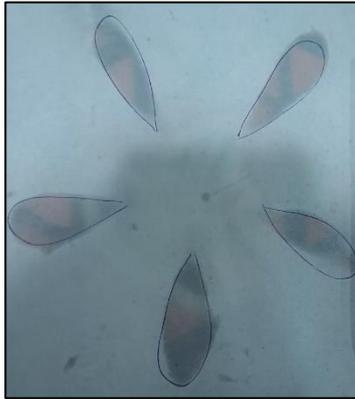
Datos:

$$h = 0.9 \text{ cm}$$

$$r = 4.6 \text{ cm}$$

$$\theta = 1 \text{ cm}$$

$$Y = 0.1 \text{ cm}$$



Ángulo de disparo

$$\alpha = \arctan\left(\frac{h}{r}\right) = \arctan\left(\frac{0.9}{4.6}\right) = 11.07$$

Ángulo de dispersión

$$\gamma_T = \arctan\left(\frac{\theta + y}{r}\right) - \arctan\left(\frac{y}{r}\right)$$

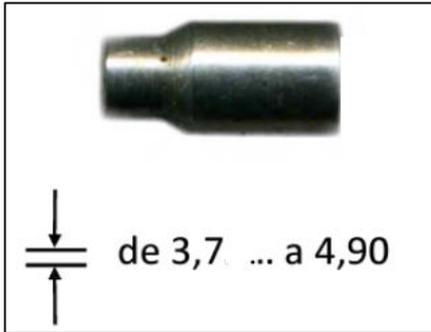
$$\gamma_T = \arctan\left(\frac{1 + 0.1}{4.6}\right) - \arctan\left(\frac{0.9}{4.6}\right)$$

$$\gamma_T = 2.38$$



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Calibración de inyector delphi



## Resultados del test inyector EJBR04601D

Paso de test	Presión (Mpa)	Ancho de pulso( $\mu$ s)	BIP ( $\mu$ s)	Valor de referencia ( $mm^3/H$ )
Warm Up	120	1210	0	0 $\pm$ 0
LEAK TEST	145	0	0	35 $\pm$ 35
VL	160	1010	0	57,6 $\pm$ 5,8
VL	160	1010	0	27,5 $\pm$ 22,6
TL	120	904	0	46 $\pm$ 4,6
LL	23	1010	0	13,3 $\pm$ 6,7
VE	120	304	0	5,3 $\pm$ 2,7



## Análisis de las pruebas eléctricas del inyector



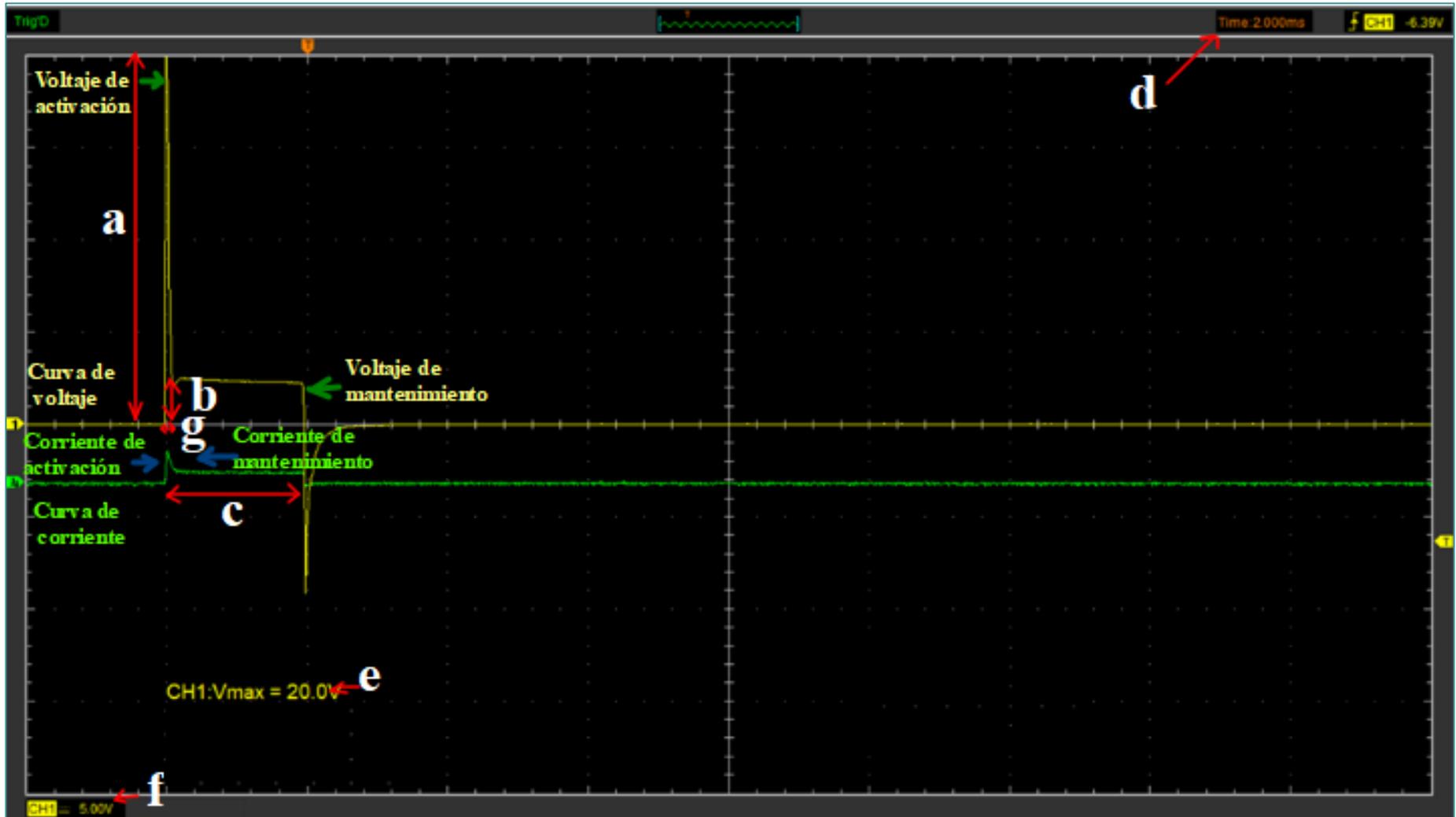
Medición de la capacitancia del inyector

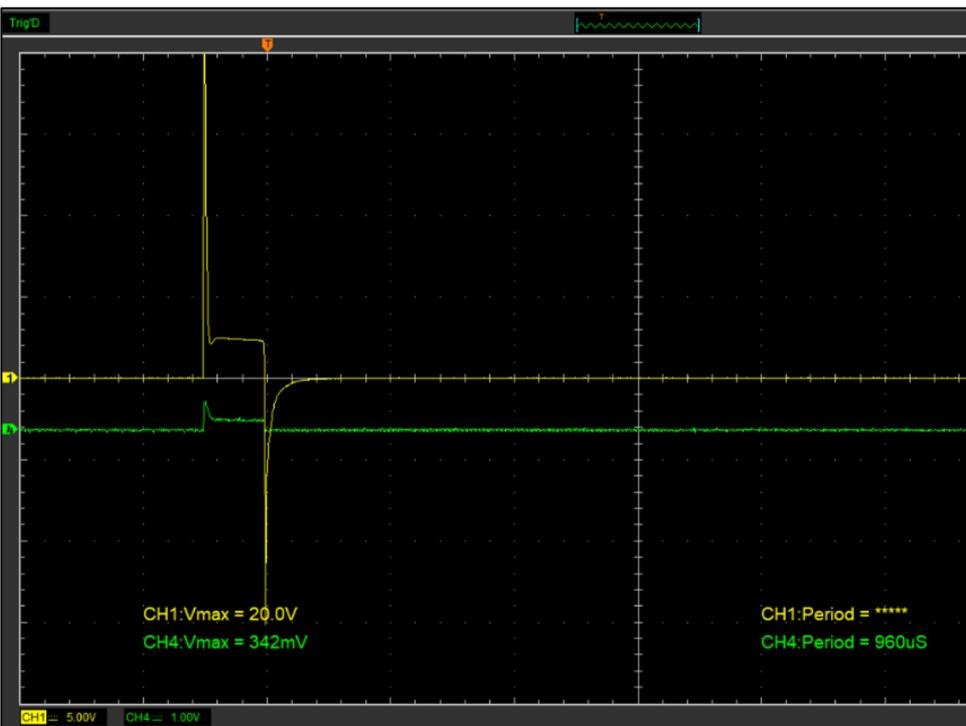


Prueba de aislamiento



# Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector



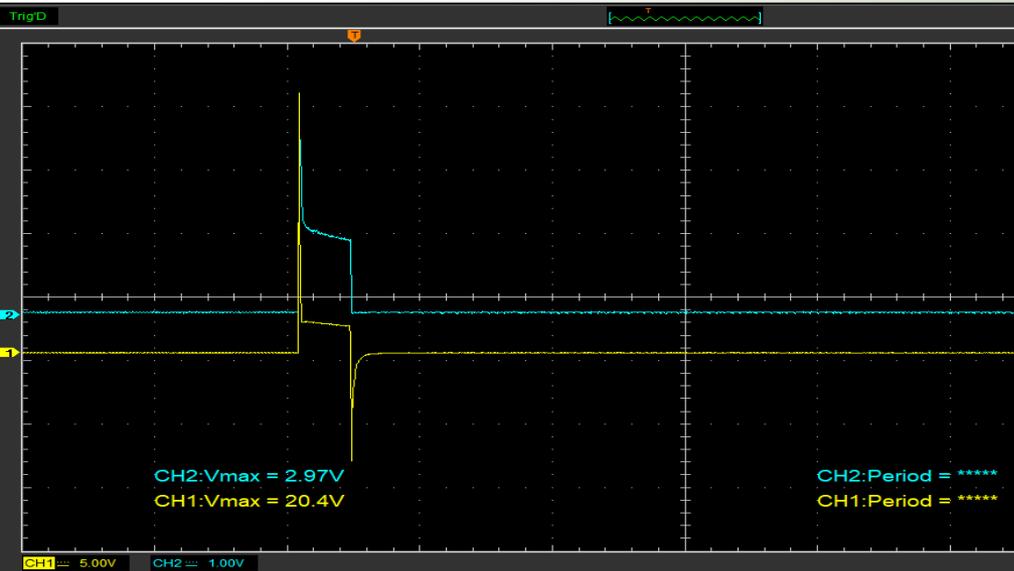


*Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 1ms, 300 STRK a 500 Bar*

*Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 1.5ms, 300 STRK a 500 Bar*



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

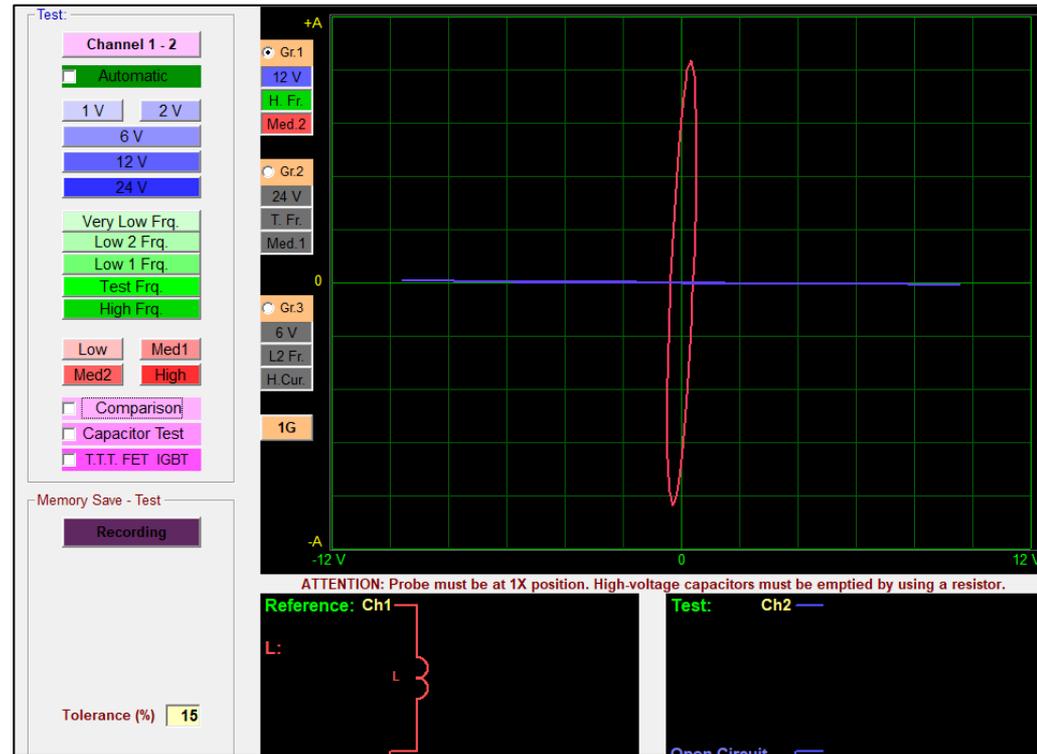
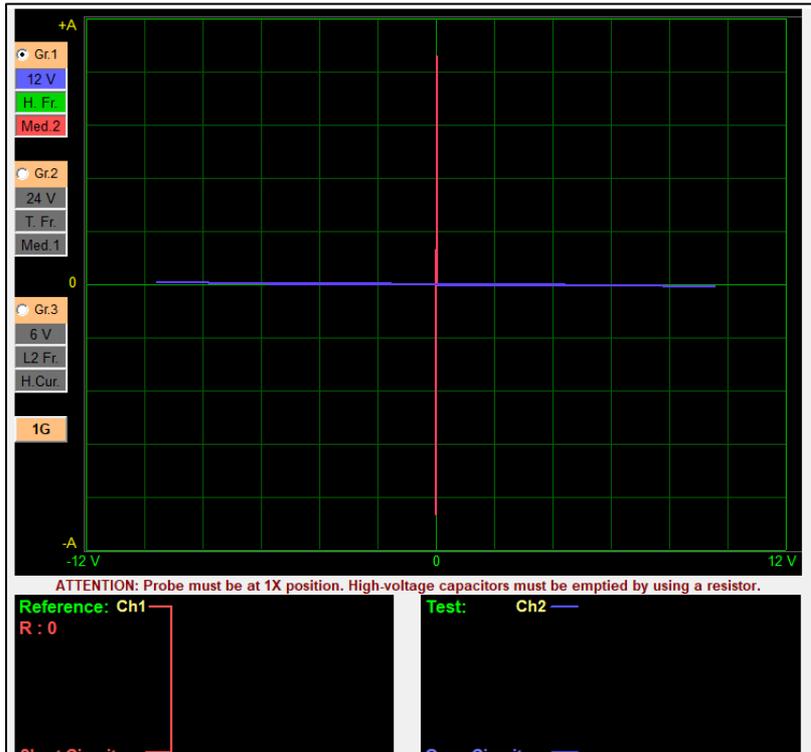


Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 2ms, 300 STRK a 500 Bar

Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 1ms, 500 STRK a 500 Bar



# Figura lissajous inyector CRDI Delphi R04601D.

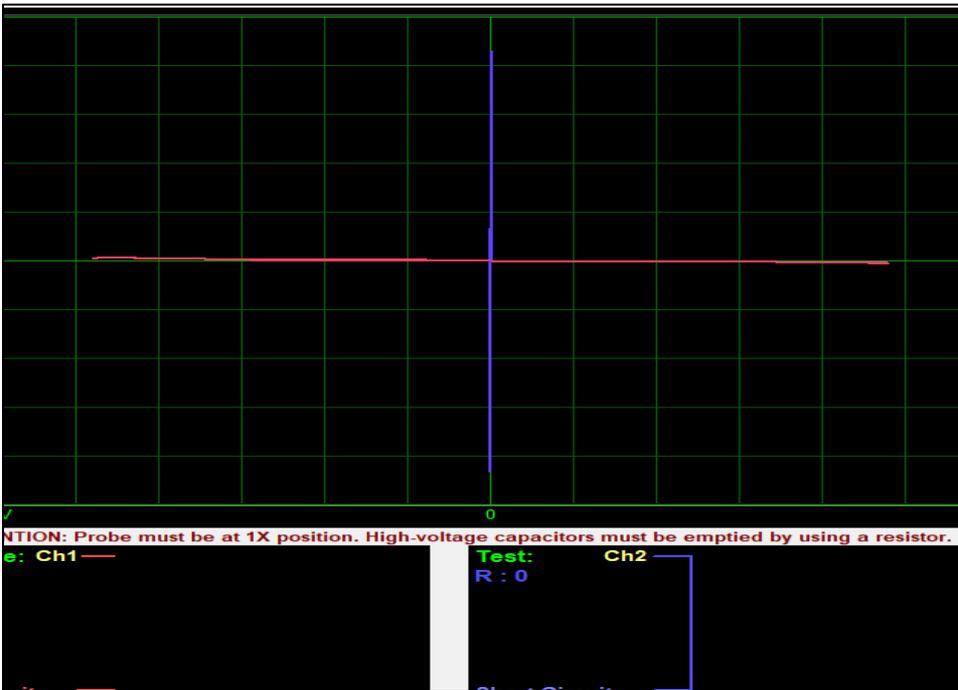


Línea vertical de lissajous del Inyector CRDI Delphi

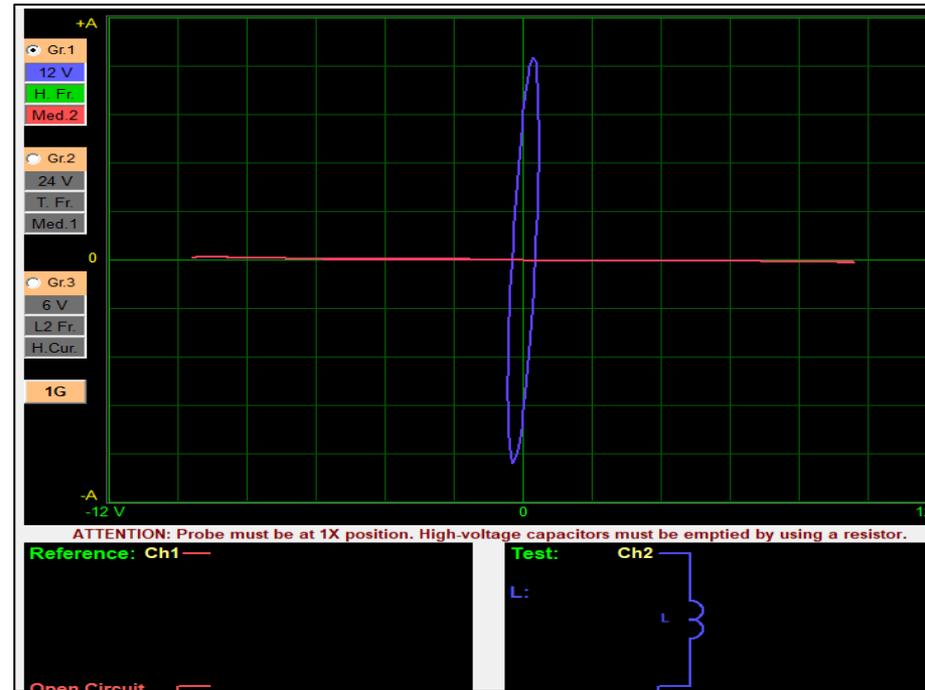
Curva elíptica de lissajous del Inyector CRDI



# Inyector CRDI Delphi R03701D



Línea vertical de lissajous del Inyector CRDI Delphi R03701D.



Curva elíptica de lissajous del Inyector CRDI Delphi R03701D.



Una vez realizado el mantenimiento del inyector Delphi, se puso a punto el inyector con la calibración para su correcto funcionamiento, comprobando en el banco de pruebas que los caudales verificados son los indicados por el fabricante.

Cada uno de los inyectores Delphi tiene su codificación para adquirir los repuestos a reemplazar y operar en el banco de pruebas con las diferentes presiones ya que cada inyector posee su manual de entrega de caudales a diferentes revoluciones por minuto y en diferentes periodos de tiempo.

Estos inyectores tienen un procedimiento muy específico para su armado y desarmado ya que poseen ajustes de torque, mediciones de inductancia las cuales nos sirven para la posterior calibración en el caso de que los caudales no esté dentro de los parámetros que indica el fabricante.



Con la comprobación eléctrica del inyector se pudo verificar que el funcionamiento en la bobina del inyector tiene voltaje y el amperaje constante, lo que hace que dependa el estado de pulverización sea la presión y el tiempo de inyección.

Los inyectores Delphi tienen una forma muy particular de realizar su calibración, ya que estos al no poseer una arandela de calibración como en los inyectores de otras marcas se debe calibrar desde el micropin que posee en el interior de la bobina y se debe poner la medida de acuerdo al manual del fabricante.



Disponer el manual del fabricante para poder armar correctamente un inyector Delphi, ya que si no se dan los aprietes correctos a cada uno de los elementos este inyector no trabaja correctamente y arroja caudales de erróneos dentro del sistema de alimentación.

Se debe manipular con la mayor precisión posible cada uno de los elementos internos de un inyector Delphi ya que si se coloca de manera incorrecta se puede tender a dañar el inyector y quedar en total desuso.



Se debe trabajar herramienta adecuada y bancos de pruebas actualizados para poder dar un diagnóstico más preciso y saber dónde está realmente la falla dentro del inyector.

Realizar el mantenimiento de los bancos de prueba para prolongar el uso de su vida útil y tener una mayor precisión al momento de realizar la comprobación de cualquier tipo de inyector.

Utilizar todas las medidas de protección adecuada ya sea para la parte auditiva, visual o para manipulación de combustible garantizando el correcto uso de los diferentes equipos de comprobación de inyectores.





*"Pie a chapa, y, ante  
la duda, gas a fondo"*

*- Colin McRae*



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA