

Carrera de Ingeniería Automotriz

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

“INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y  
ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS BOSCH  
DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI (COMMON RAIL DIESEL  
INJECTION) DE LOS VEHÍCULOS VOLKSWAGEN AMAROK 2.0 Y LAND  
ROVER FREELANDER II 2.2”

**Autores:**

Fabián Simbaña

Hjalmar Bustillos

**Director:**

Ing. Germán Erazo



## ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

- La industria automotriz ha buscado un mejoramiento óptimo sobre la eficiencia de los sistemas automotrices que permita un rendimiento y manejo adecuado de la variedad de sistemas de inyección, destacando así al sistema de alimentación de combustible, el cual tiene como objetivo reducir emisiones contaminantes y consumo de combustible sin afectar a la potencia de los motores diésel. Estas exigencias se ven reflejadas en el desarrollo de un sistema eficiente y eficaz para controlar presiones elevadas dentro de un mismo riel, denominado CRDI (Common Rail Diésel Injection) mismo que es suficiente para conseguir una pulverización mucho mayor que la obtenida en los sistemas de bomba inyectora.
- (Granda & Estevez, 2014) mencionan que: “El Inyector piezoeléctrico cumple con las altas prestaciones que exige el sistema CRDI, y permite una mejor entrega de combustible con la cantidad y presión exacta en el momento adecuado, realizando hasta cinco preinyecciones antes de su inyección principal ya que su eficiencia es la preinyección, la inyección y la posinyección lo que permite una combustión mucho más eficiente y garantiza al motor una mayor durabilidad y potencia.” (pág. 89)



## OBJETIVO GENERAL

Investigar el comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctricos Bosch del sistema de inyección CRDI (Common rail diesel injection) de los vehículos Volkswagen Amarok 2.0 y Land Rover Freelander II 2.2.



## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información confiable en bases digitales, artículos científicos y fuentes que respalden el contenido del proyecto.
- Realizar las pruebas mecánicas tales como pruebas de caudal, de pulverización y de estanqueidad, a los inyectores piezoeléctricos Bosch.
- Realizar las pruebas eléctricas, de corriente de activación, voltaje de activación de los inyectores piezoeléctricos Bosch.
- Determinar los parámetros de operación ideal de los inyectores piezoeléctricos Bosch.
- Analizar los datos generados en el protocolo de pruebas para la elaboración de un análisis acerca del comportamiento de los inyectores piezoeléctricos.
- Establecer conclusiones y recomendaciones con referencia al desempeño de inyectores Bosch en el sistema CRDI.



## JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

- La generación de información nueva, eficiente, confiable y tecnológica, nos permitió que el limitado material personal y tecnológico actual acerca del protocolo de pruebas para inyectores Bosch piezoeléctricos aumente, ya que la escasa, limitada e insuficiente información, para quienes pretenden estudiar estos sistemas de alimentación automotriz en nuestro país es decadente y preocupante.
- Al finalizar la investigación se logró generar nueva información acerca del comportamiento de los inyectores y los valores óptimos de funcionamiento para el uso y disposición de personas afines al ámbito de la mecánica automotriz, misma que permitirá un preciso diagnóstico del sistema de inyección CRDI Bosch específicamente con inyectores piezoeléctricos, este aporte permitió obtener información veraz con la cual se desarrolló el protocolo de pruebas y metodologías obteniendo así el desempeño mecánico y eléctrico de los inyectores piezoeléctricos Bosch, además que la información sirva como fuente de consulta para posteriores investigaciones..



## META

- Desarrollar una investigación enfocada a determinar valores de operación óptimos de funcionamiento de inyectores piezoeléctricos Bosch del sistema CRDI, con la finalidad que esta información sea utilizada para un correcto diagnóstico y mantenimiento de este tipo de inyectores al trabajar en el sistema de riel común.

## HIPÓTESIS

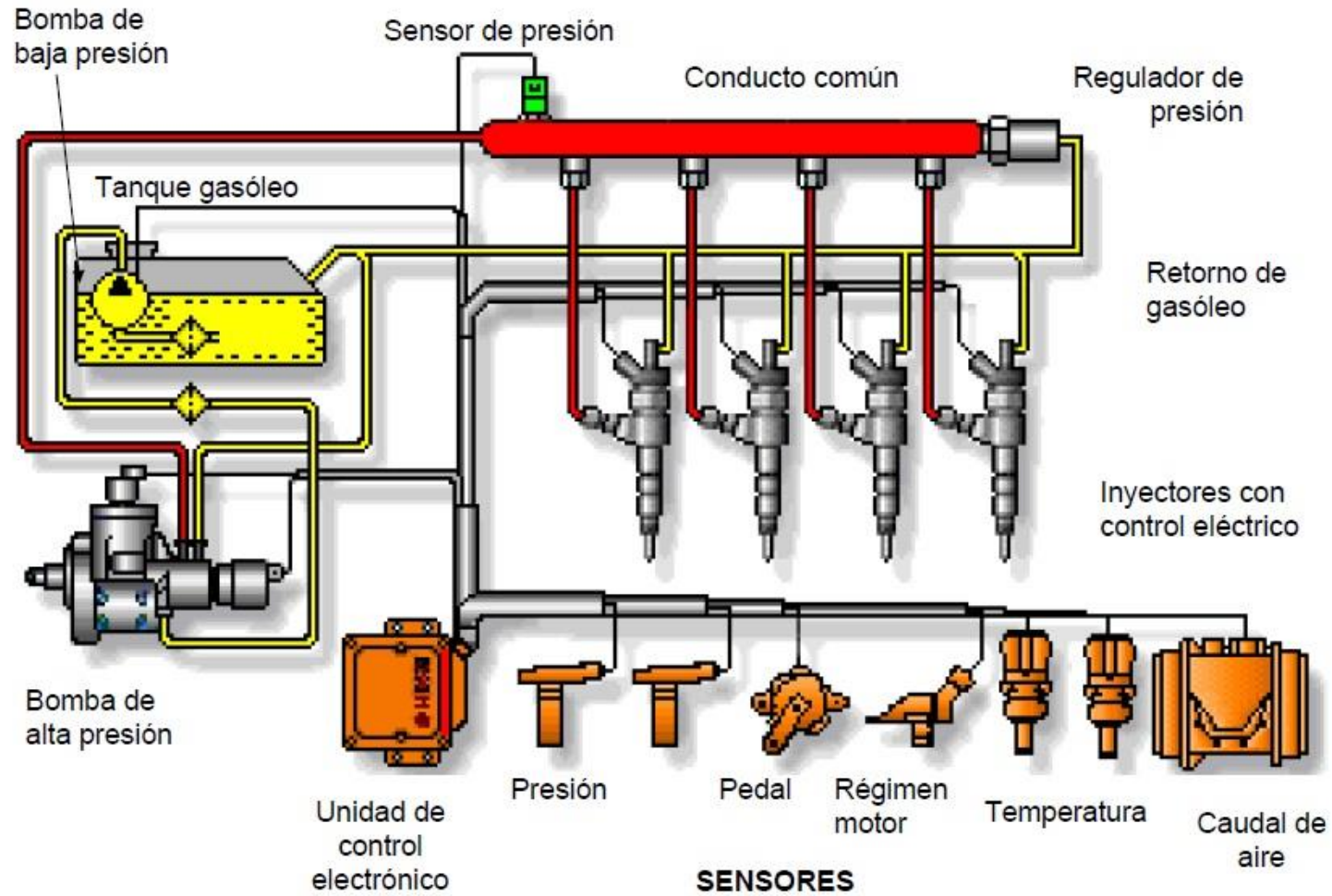
- La investigación del desempeño mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctrico Bosch de los vehículos Volkswagen Amarok 2.0 y Land Rover Freelander II 2.2 permitirá establecer el comportamiento de los parámetros de operación del sistema de inyectores CRDI.



# ***Marco Teórico***



# SISTEMA CRDI BOSCH



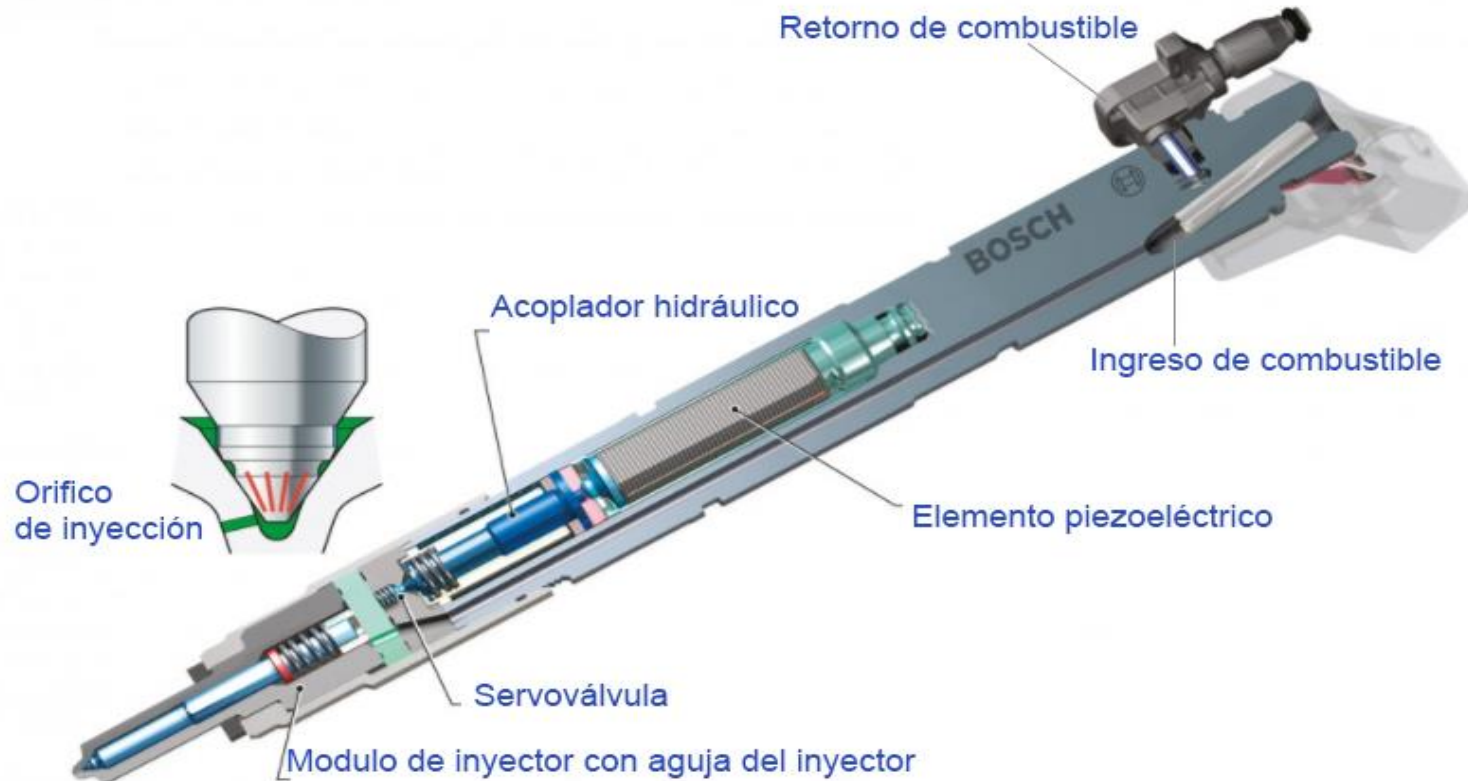


## VENTAJAS DEL SISTEMA COMMON RAIL

- La elevada presión de inyección, tiene una mejor atomización del combustible.
- La presión de inyección puede variarse dentro de un rango muy amplio.
- El momento de inyección y la cantidad de combustible inyectado, puede variarse libremente.
- Posibilidad de producir múltiples inyecciones dentro del cilindro para mejorar la combustión.
- Precisión en el avance y duración de la inyección.
- Mayor rendimiento del motor
- Menor contaminación ambiental.



## PARTES DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO



## VENTAJAS DE LOS INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS

- Inyección múltiple con comienzo flexible de la inyección y distancias entre cada una de las inyecciones,
- Reducido tamaño y menor peso del inyector (270 g en comparación con 490 g),
- Ventajas en el consumo de combustible (-3%),
- Caudales de inyección muy pequeños para la inyección previa,
- Menor nivel de ruido (-3 dB [A]),
- Incremento de la potencia del motor (+7%),
- Menor emisiones de gases de escape (-20%).



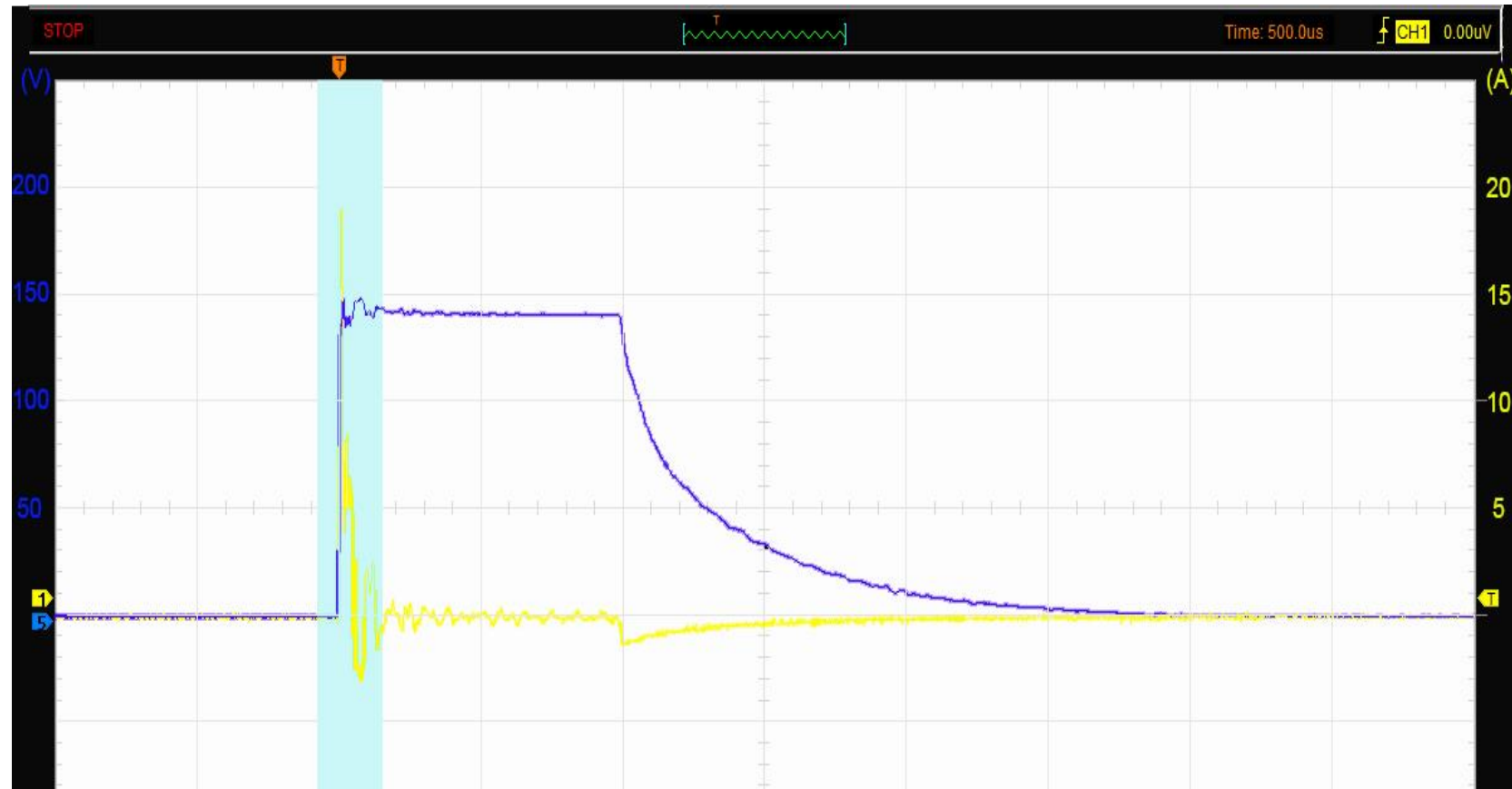
## FUNCIONAMIENTO

Para producir la inyección la ECU envía sobre el piezoeléctrico una tensión inicial de unos 70 V por un tiempo de 0,2 ms. Ya en el interior, los cristales logran elevar este voltaje a unos 140 V, esto toma otros 0,2 ms y se logra con una corriente de aproximadamente 7 Amperios. A este proceso se lo llama tensión de carga y corriente de carga.

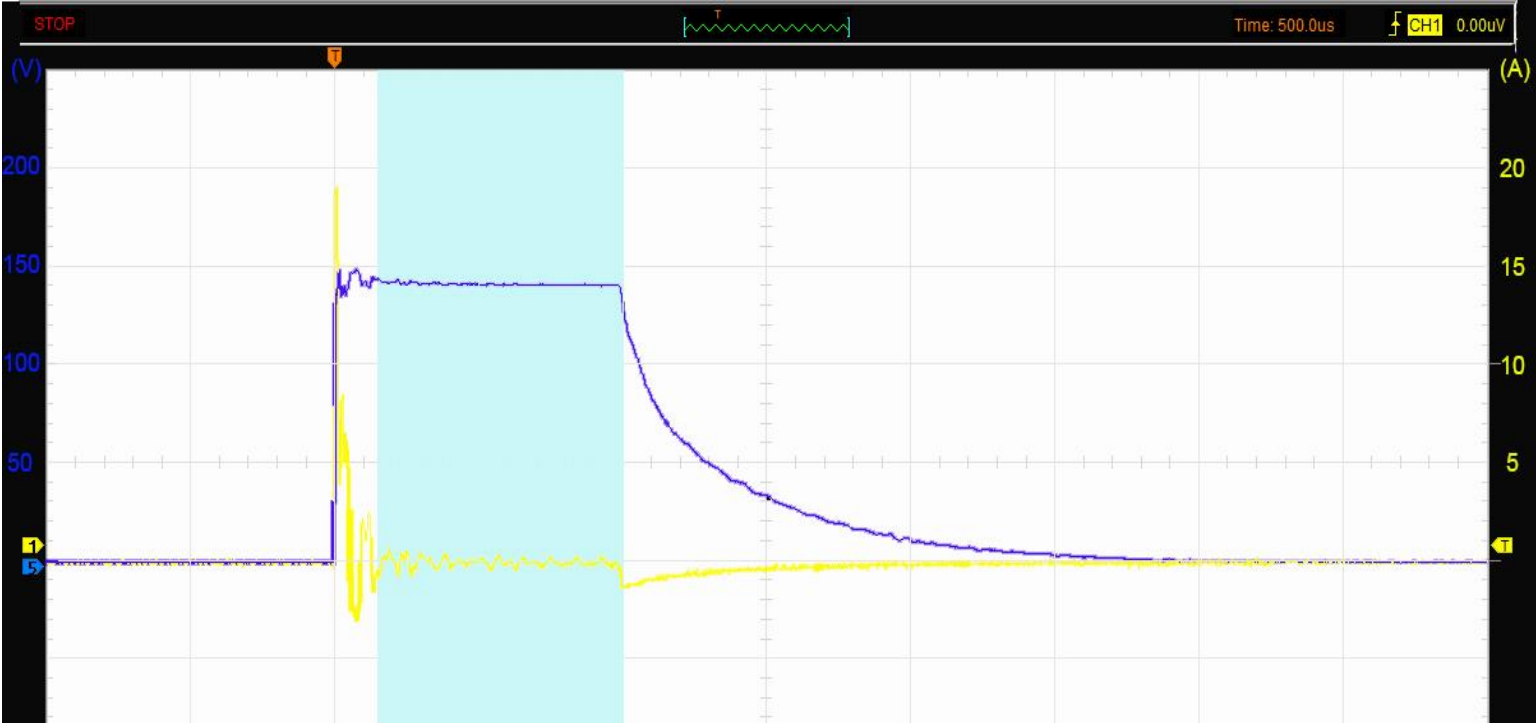
El aumento de tensión se logra gracias al contacto entre los mismos cristales los cuales logran multiplicar el efecto de voltaje.



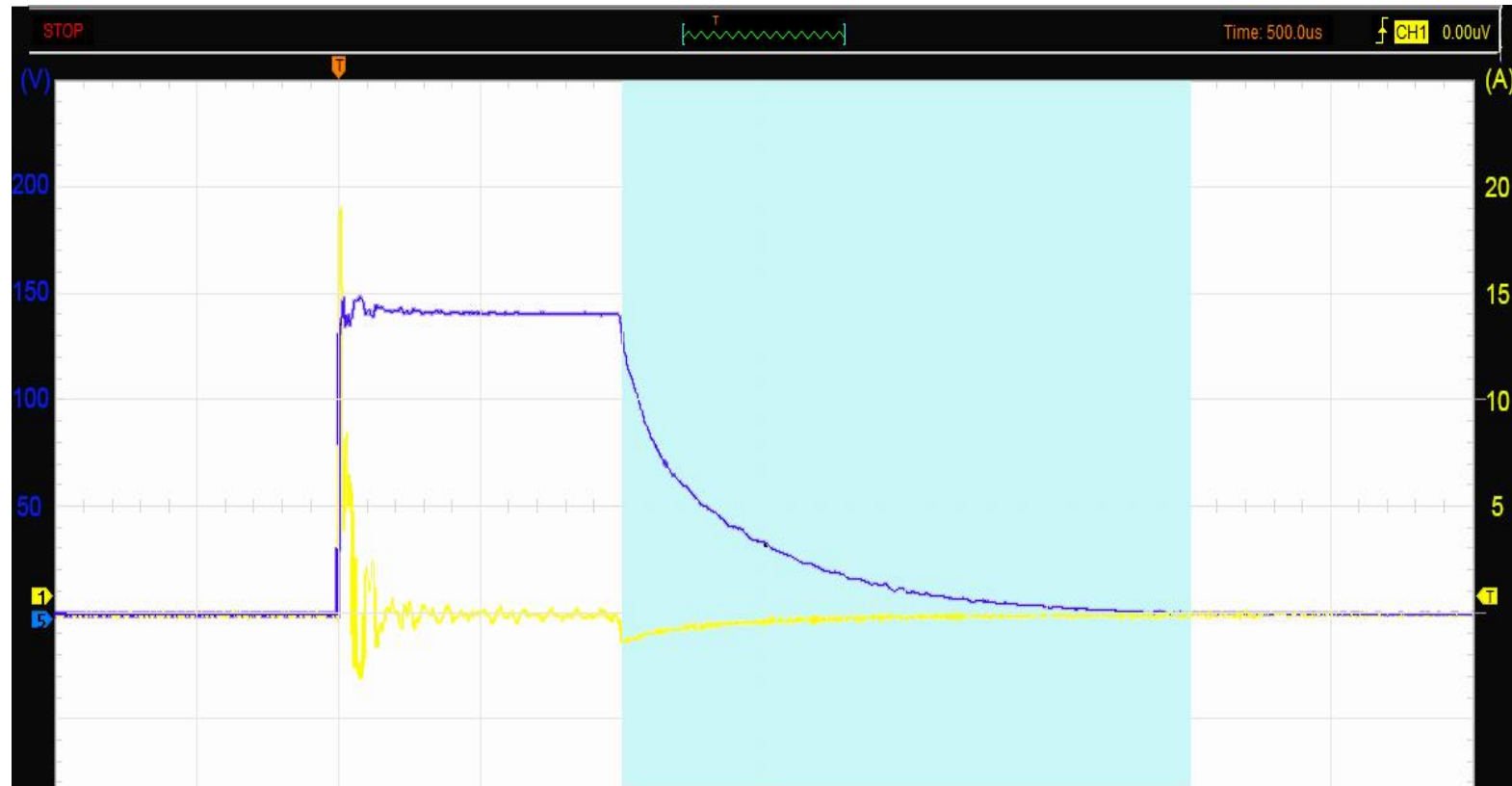
## Inyector cerrado – inicio de inyección



# Inyector abierto – inyección



## Inyector cerrado – final de la inyección



# ***Equipos utilizados***

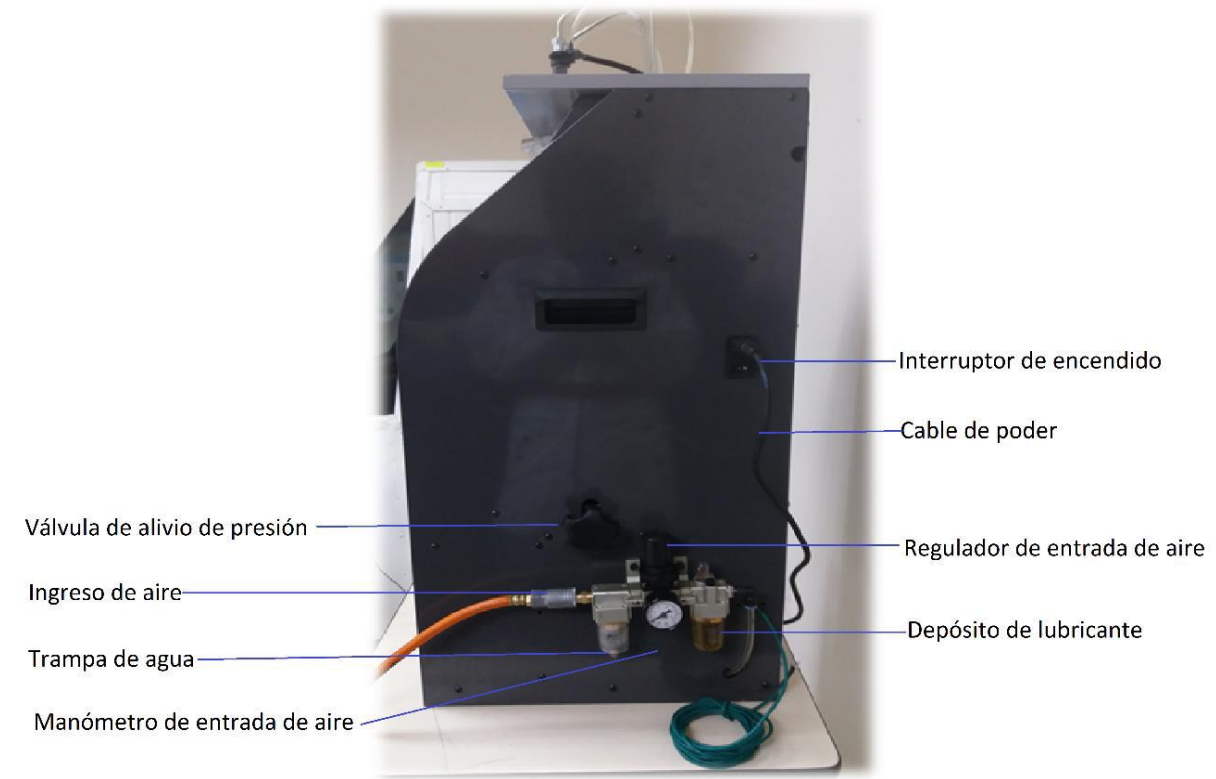
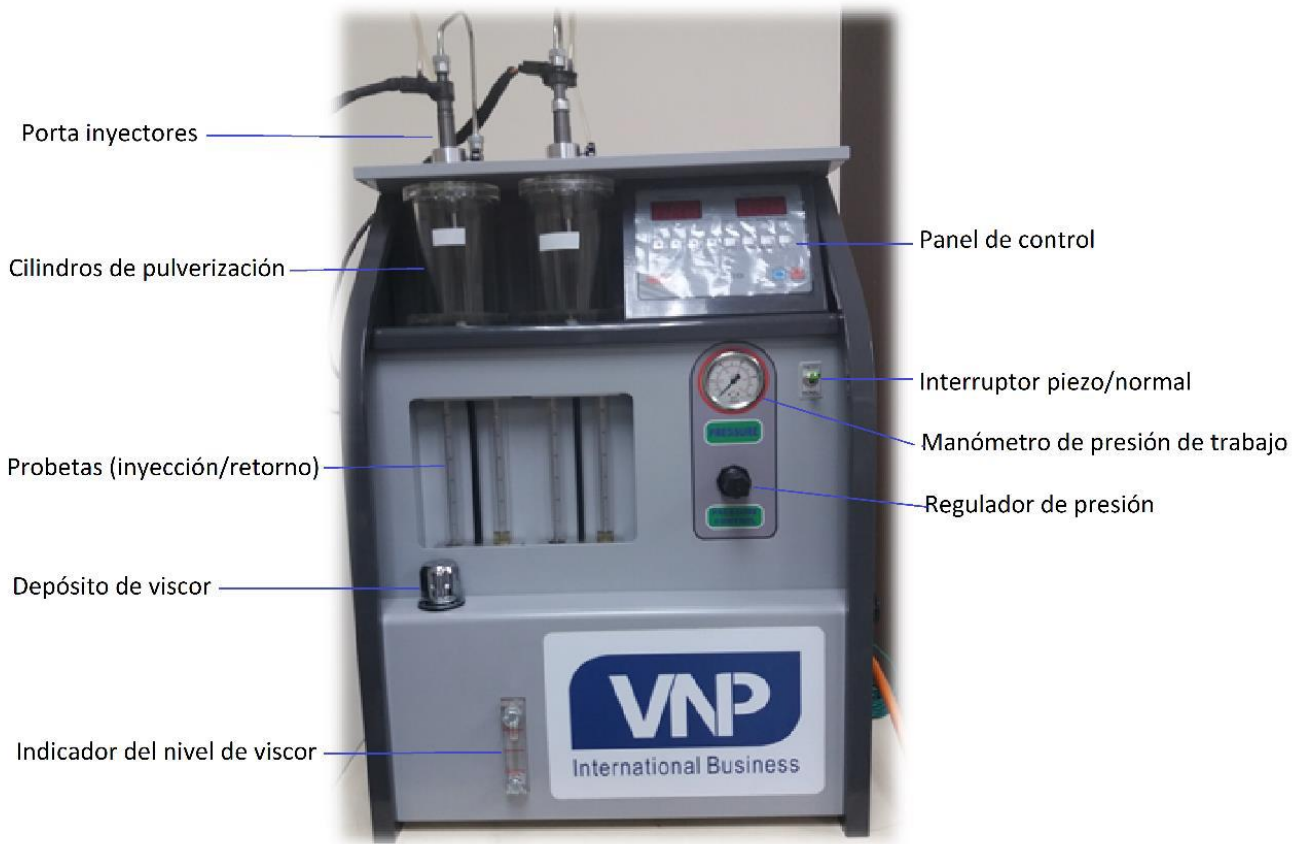




## BANCO DE PRUEBAS TESTER CRDI V 3500 VNP

Item	Característica
Tipo de accionamiento	Neumático
Lubricante	Viscor
Alimentación	110v
Presión de entrada	4 bar
Presión máxima de trabajo	800 bar
Tipo de inyectores	Piezoeléctricos / inductivos
Número de cilindros	2
Número de probetas	4
Strocks	0 - 990
Tiempo de inyección	0.25 – 2 (ms)
Peso	65 kg
Diámetro interno del cilindro de pulverización	80,70 mm





# PINZA AMPERIMÉTRICA BRAIN BEE



Item	Característica
Input	60A Max AC/DC
Output	10mV/A, 100mV/A,
Voltaje MAX	240VAC / 300VDC



# OSCILOSCOPIO HANTEK 1008C



Item	Característica
Número de canales	8 canales
Resolución	18 bits
Impedancia de entrada	1 mΩ
Rango de frecuencia	0-250 khz
Alimentación	Conexión directa al computador
Acoplamiento de entrada	DC
Instalación	CD de instalación (software)
interfaz	USB 2.0
Peso	350 g



## COMPRESOR MZB



Item	Característica
Tipo	YL90L-2
Alimentación	110 v
Potencia	3 HP
Velocidad	3400 rpm
Corriente	20.7 A
Frecuencia	60 Hz





# ESPECIFICACIONES DE LOS INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS BOSCH

## Inyector piezoeléctrico Bosch 0445116034 Volkswagen Amarock



Item	Característica
Aplicación	Volkswagen Amarok – Trasporter T5
Cilindrada	1.968 cc
Número de Cilindros	4 en línea
Tipo	CR
Par motor máximo	340 Nm
Potencia máxima	90 kw a 3750 rpm
Sobrealimentación	Turbocompresor
Configuración	Tracción trasera 4x2
Normativa europea	Euro 5



## Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115042 Land Rover Freelander



Item	Característica
Aplicación	Land Rover Freelander II TD4
Cilindrada	2.179 cc
Numero de Cilindros	4 en línea
Tipo	CR
Par motor máximo	400 Nm a 2000 rpm
Potencia máxima	118 kw a 4000 rpm
Alimentación	Inyección directa, Turbocompresor de geometría variable, intercooler
Configuración	4x4
Normativa europea	Euro 5



# ***Protocolo de pruebas***





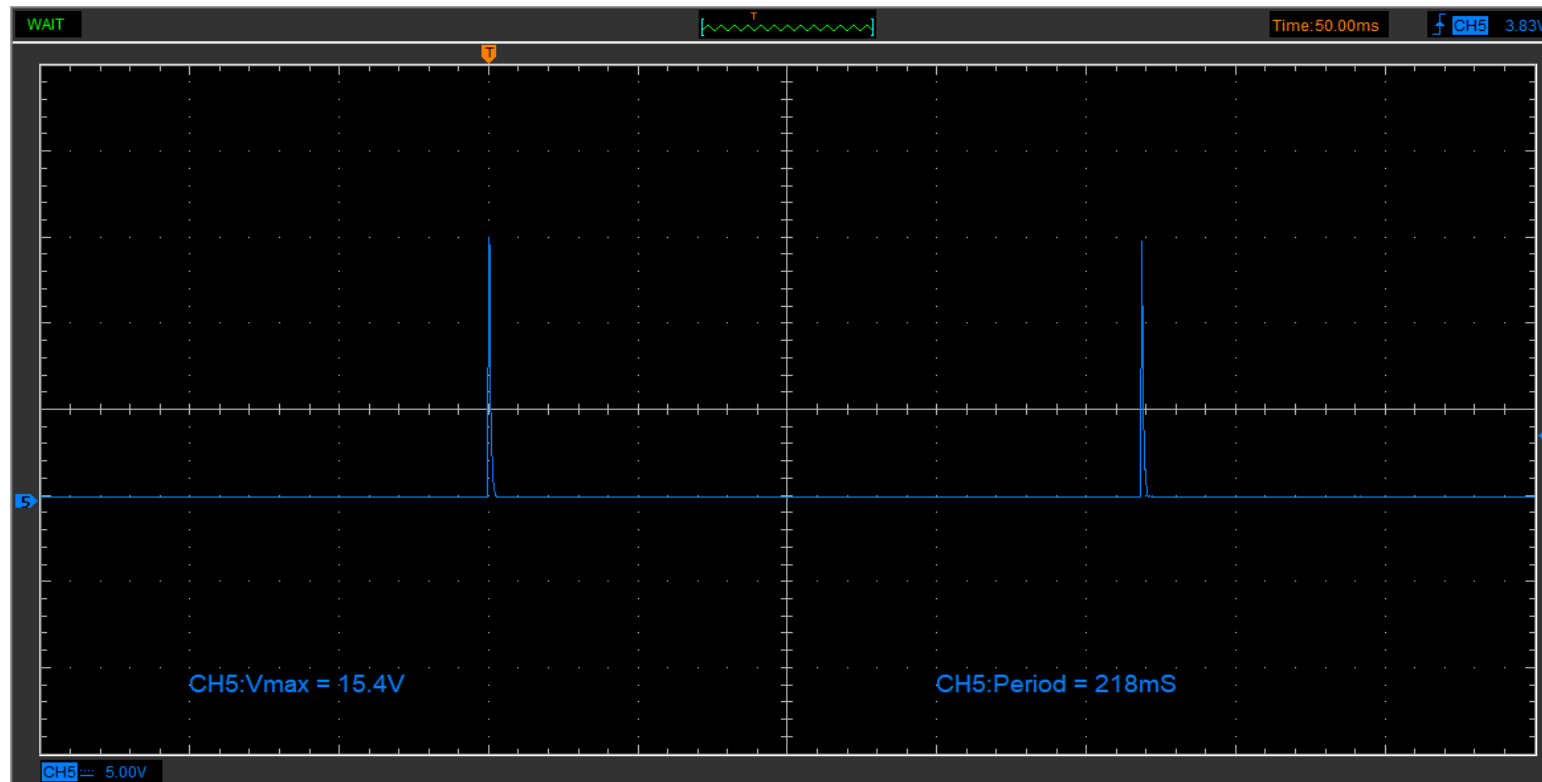
- Caudales de inyección y retorno
- Tiempo de retención-descarga
- Tiempo de disparo
- Voltaje de activación
- Voltaje de retención-descarga
- Corriente de activación
- Grados de activación
- Ángulo de pulverización
- Ángulo de disparo
- Ángulo de cono

<b>Presión</b>	<b>Tiempo de inyección</b>	<b>Pulsos de inyección STRK</b>
200	0,5;1;2	300;600;850
400	0,5;1;2	300;600;850
550	0,5;1;2	300;600;850



## GRADOS DE ACTIVACIÓN

El grado de activación, es el ángulo en función del giro del cigüeñal, en el cual el inyector entra en funcionamiento. El mismo que es directamente proporcional al tiempo de inyección.

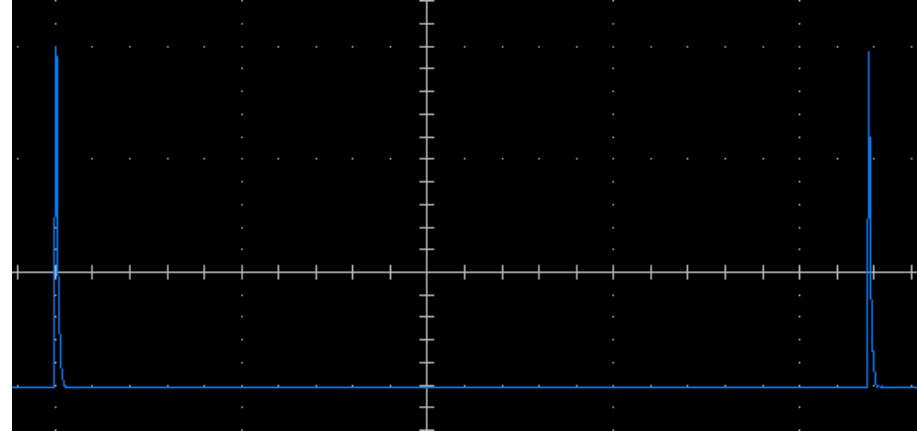


## Período individual

$$P_i = \frac{P}{n}$$

$$P_i = \frac{218 \text{ ms}}{4}$$

$$P_i = 54,5 \text{ ms}$$



## Intervalo de la inyección (Ángulo individual)

$$A_i = \frac{\text{Ángulo de giro del cigueñal}}{n}$$

$$A_i = \frac{720^\circ}{4}$$

$$A_i = 180^\circ$$

$$\text{Grado de activación}_{ti} = \frac{ti * A_i}{P_i}$$



**Para tiempo de inyección  $t_{i1} = 0,5 \text{ ms}$**

$$\text{Grado de activación}_{t_{i1}} = \frac{t_{i1} * A_i}{P_i}$$

$$\text{Grado de activación}_{t_{i1}} = \frac{0,5 \text{ ms} * 180^\circ}{54,5 \text{ ms}}$$

$$\text{Grado de activación}_{t_{i1}} = 1,651^\circ$$

**Para tiempo de inyección  $t_{i2} = 1 \text{ ms}$**

$$\text{Grado de activación}_{t_{i2}} = \frac{t_{i2} * A_i}{P_i}$$

$$\text{Grado de activación}_{t_{i2}} = \frac{1 \text{ ms} * 180^\circ}{54,5 \text{ ms}}$$

$$\text{Grado de activación}_{t_{i2}} = 3,303^\circ$$

**Para tiempo de inyección  $t_{i3} = 2 \text{ ms}$**

$$\text{Grado de activación}_{t_{i3}} = \frac{t_{i3} * A_i}{P_i}$$

$$\text{Grado de activación}_{t_{i3}} = \frac{2 \text{ ms} * 180^\circ}{54,5 \text{ ms}}$$

$$\text{Grado de activación}_{t_{i3}} = 6,605^\circ$$

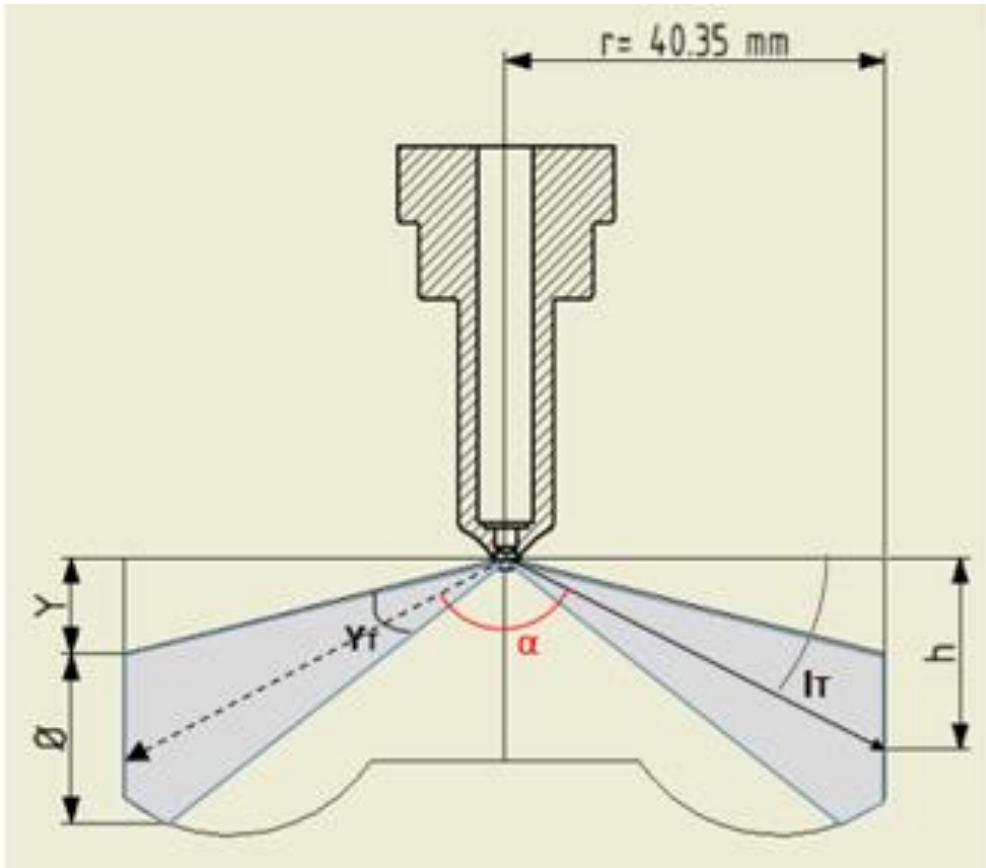
---

Tiempo de inyección (ms)	Grados de activación (°)
0,5	1,651
1	3,303
2	6,605

---



# GEOMETRÍA DEL INYECTOR



$r = \text{radio del cilindro}$

$h = \text{altura}$

$\varnothing = \text{diámetro}$

$l_T = \text{ángulo de disparo}$

$Y = \text{diferencia de alturas}$

$Y_T = \text{ángulo de dispersión}$

$\alpha = \text{ángulo de cono}$

**Ecuación del ángulo de dispersión:**

$$Y_T = \tan^{-1}\left(\frac{\varnothing_{\text{chorro}} + Y}{r}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{Y}{r}\right)$$

**Ecuación del ángulo de disparo:**

$$l_T = \tan^{-1}\left(\frac{h}{r}\right)$$

**Ecuación del ángulo de cono:**

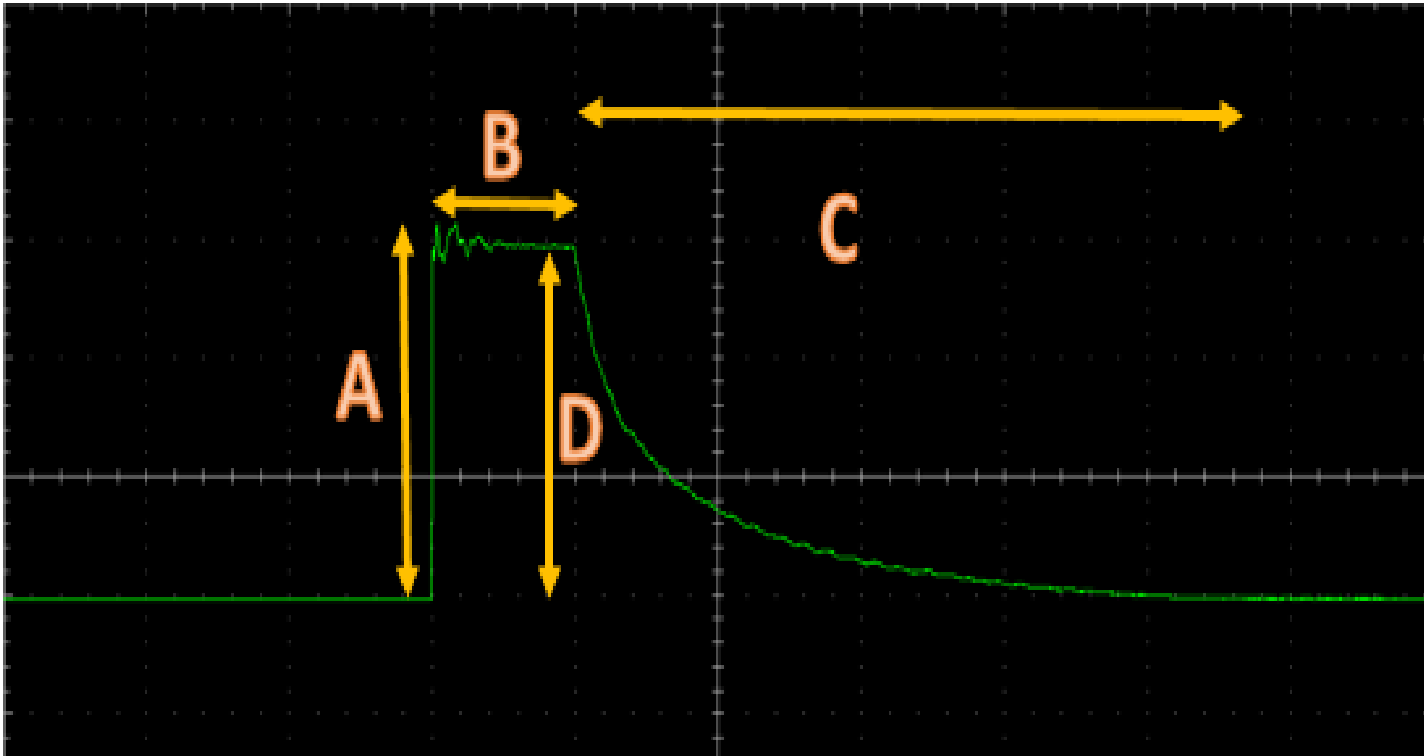
$$\alpha = 2 \tan^{-1}\left(\frac{r}{h}\right)$$

**Ecuación del ángulo de distribución:**

$$A_d = \tan^{-1}\left(\frac{360^\circ}{\# \text{ orificios}}\right)$$



## OSCILOGRAMAS DE VOLTAJE DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO



(A) Es el voltaje de activación del inyector piezoeléctrico. Se debe multiplicar por diez debido a la escala de las puntas de osciloscopio.

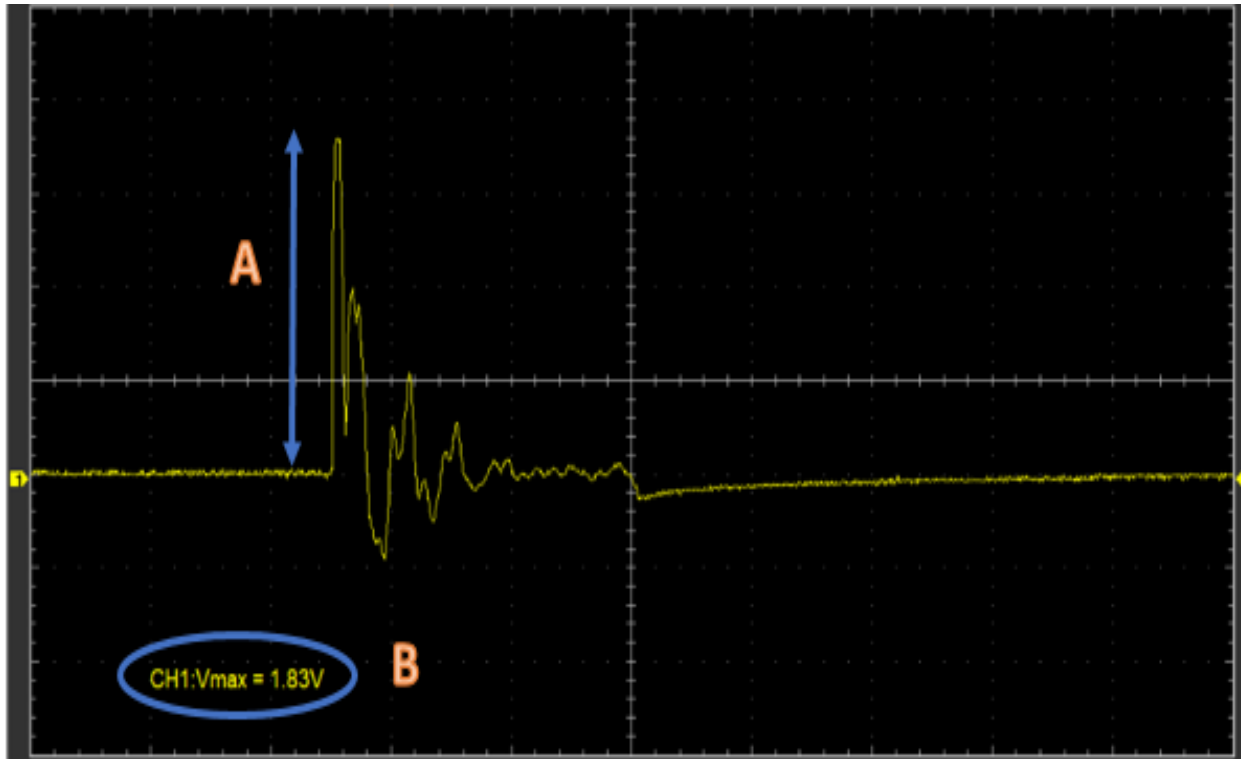
(B) Representa el tiempo de disparo y es igual al tiempo de inyección por tratarse de un inyector piezoeléctrico

(C) Simboliza el tiempo de retención-descarga

(D) Es el voltaje de retención-descarga. Se debe multiplicar por diez debido a la escala de las puntas de osciloscopio.



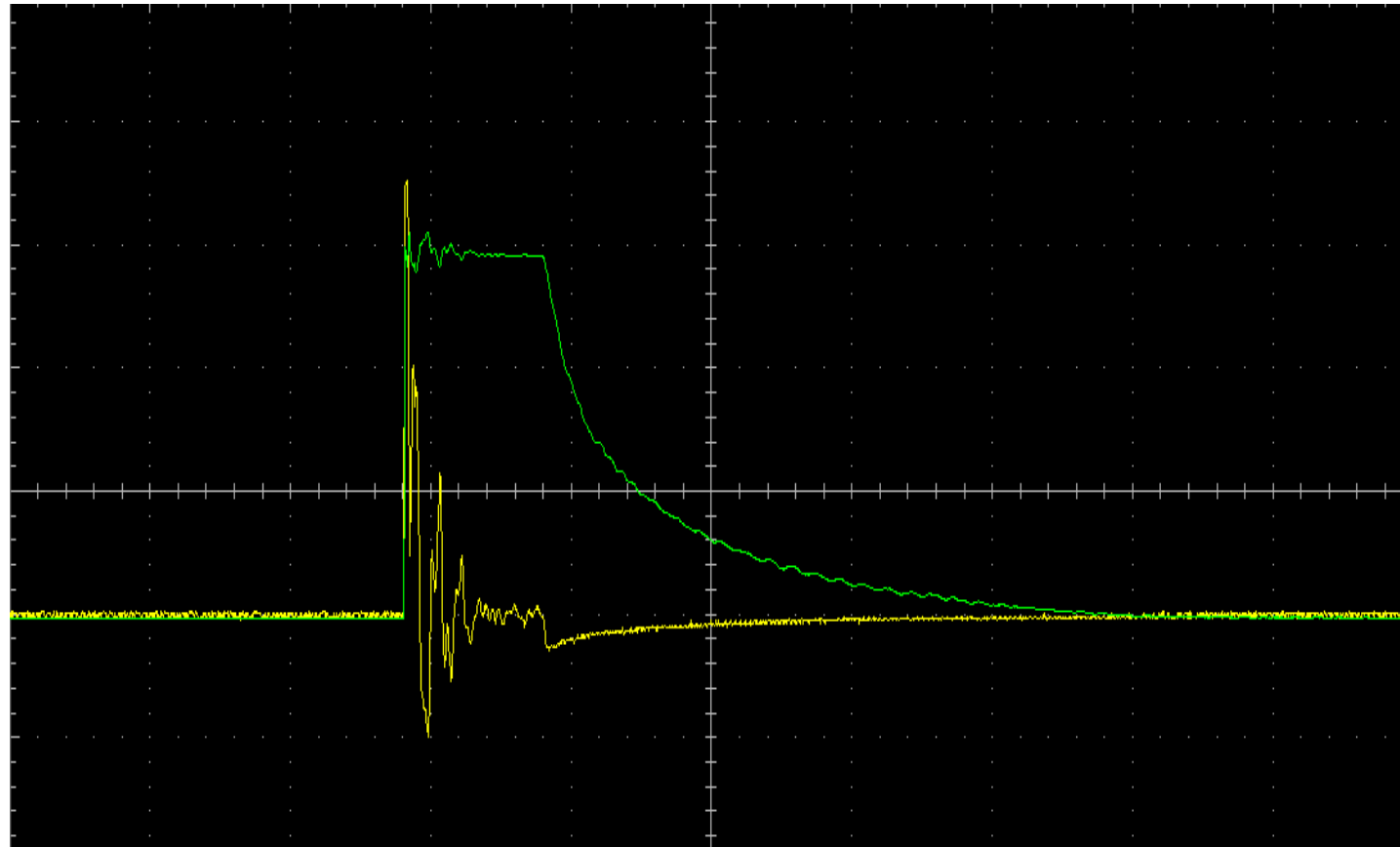
## OSCILOGRAMAS DE CORRIENTE DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO



(A) Es la corriente de activación del inyector piezoeléctrico

(B) Representa la corriente de activación del oscilograma, este valor se lo transforma de acuerdo a la escala elegida en el protocolo de pruebas 100 mv/A para poder tenerla en unidades de corriente.

# OSCILOGRAMAS DE VOLTAJE Y CORRIENTE DEL INYECTOR PIEZOELECTRICO





***Análisis de resultados  
Inyector piezoeléctrico Bosch  
0445115042 Land Rover  
Freelander***



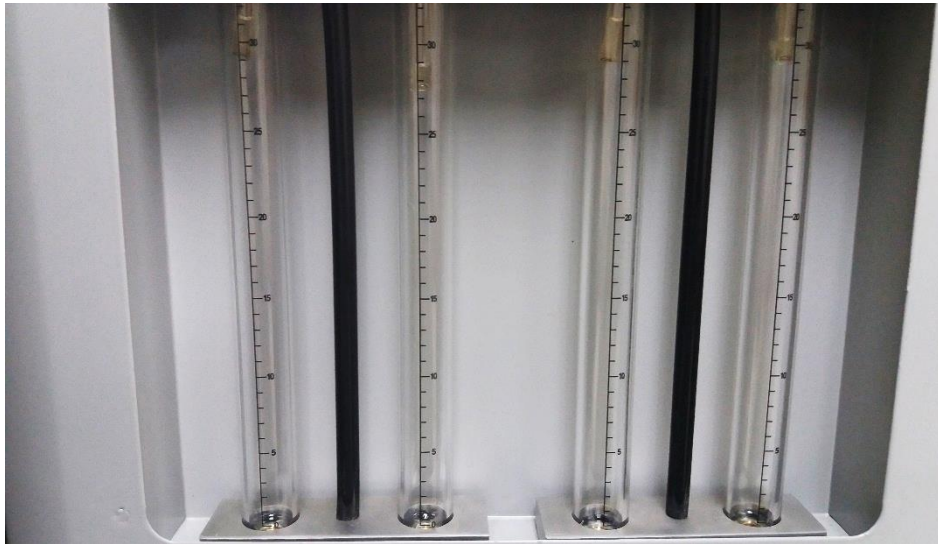
## RESULTADOS OBTENIDOS DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO (LAND ROVER FREELANDER) A 200 BAR.

STRK	Tiempo de inyección	Tiempo de disparo	Tiempo de retención	Caudal de inyección	Caudal de retorno
	ms	ms	ms	mm3	mm3
300	0,5	0,5	2,31	2	-
300	1	1	2,31	6,5	1,8
300	2	2	2,32	10,4	3,3
600	0,5	0,5	2,31	6,1	2,1
600	1	1	2,31	12	3,5
600	2	2	2,32	20,1	6
850	0,5	0,5	2,31	10,5	4,9
850	1	1	2,31	19	6,9
850	2	2	2,32	30,1	10

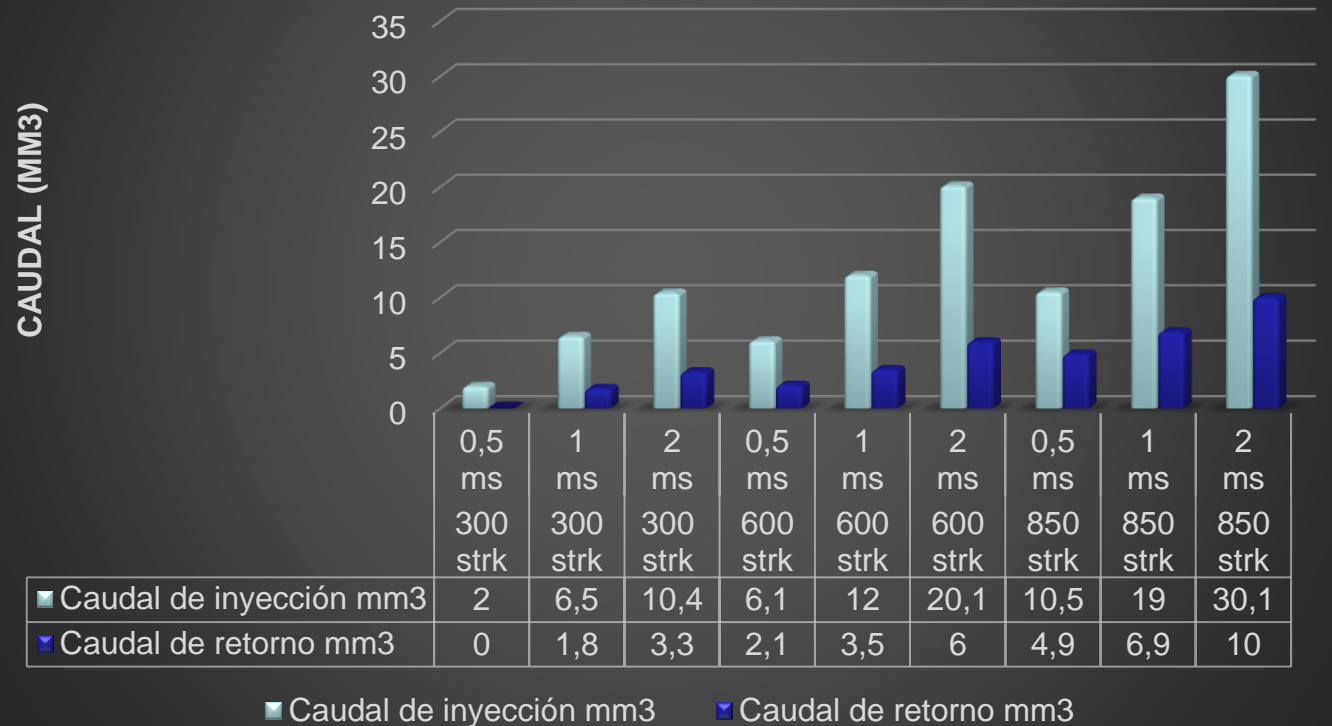
STRK	Tiempo de inyección	Corriente de activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención-descarga	Grados de activación
	ms	A	V	V	°
300	0,5	18,3	161	148	1,651
300	1	18,5	163	153	3,303
300	2	18,4	162	150	6,605
600	0,5	18,3	161	148	1,651
600	1	18,5	163	153	3,303
600	2	18,4	162	150	6,605
850	0,5	18,3	161	148	1,651
850	1	18,5	163	153	3,303
850	2	18,4	162	150	6,605



## CAUDAL DE INYECCIÓN Y RETORNO OBTENIDOS A 200 BAR



### (Caudal de inyección/Caudal de retorno) a 200 bar



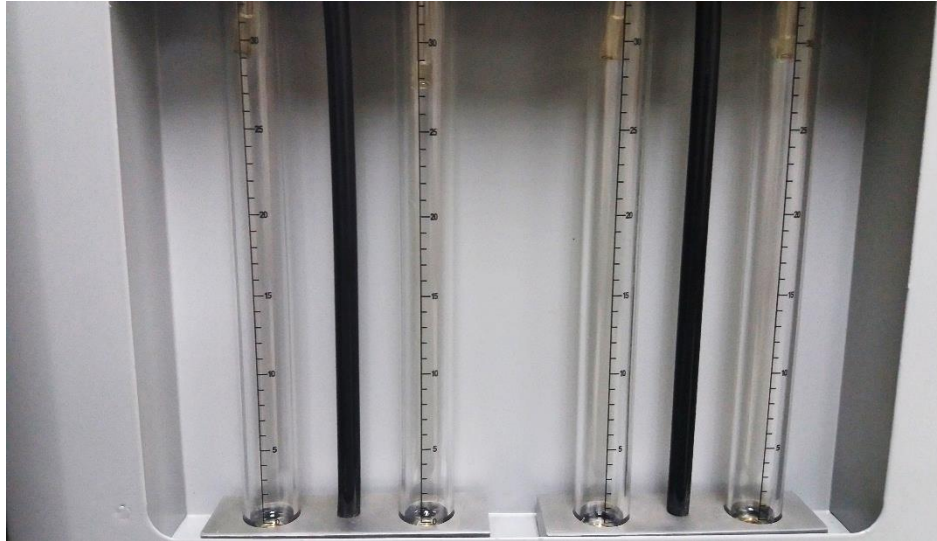
## RESULTADOS OBTENIDOS DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO (LAND ROVER FREELANDER) A 400 BAR.

STRK	Tiempo de inyección	Tiempo de disparo	Tiempo de retención	Caudal de inyección	Caudal de retorno
	ms	ms	ms	mm3	mm3
300	0,5	0,5	2,31	7,2	0,5
300	1	1	2,31	14	2,2
300	2	2	2,32	23	4
600	0,5	0,5	2,31	16	4,4
600	1	1	2,31	29	6,7
600	2	2	2,32	43,6	8
850	0,5	0,5	2,31	26,2	7,2
850	1	1	2,31	40	8,2
850	2	2	2,32	63,6	11,5

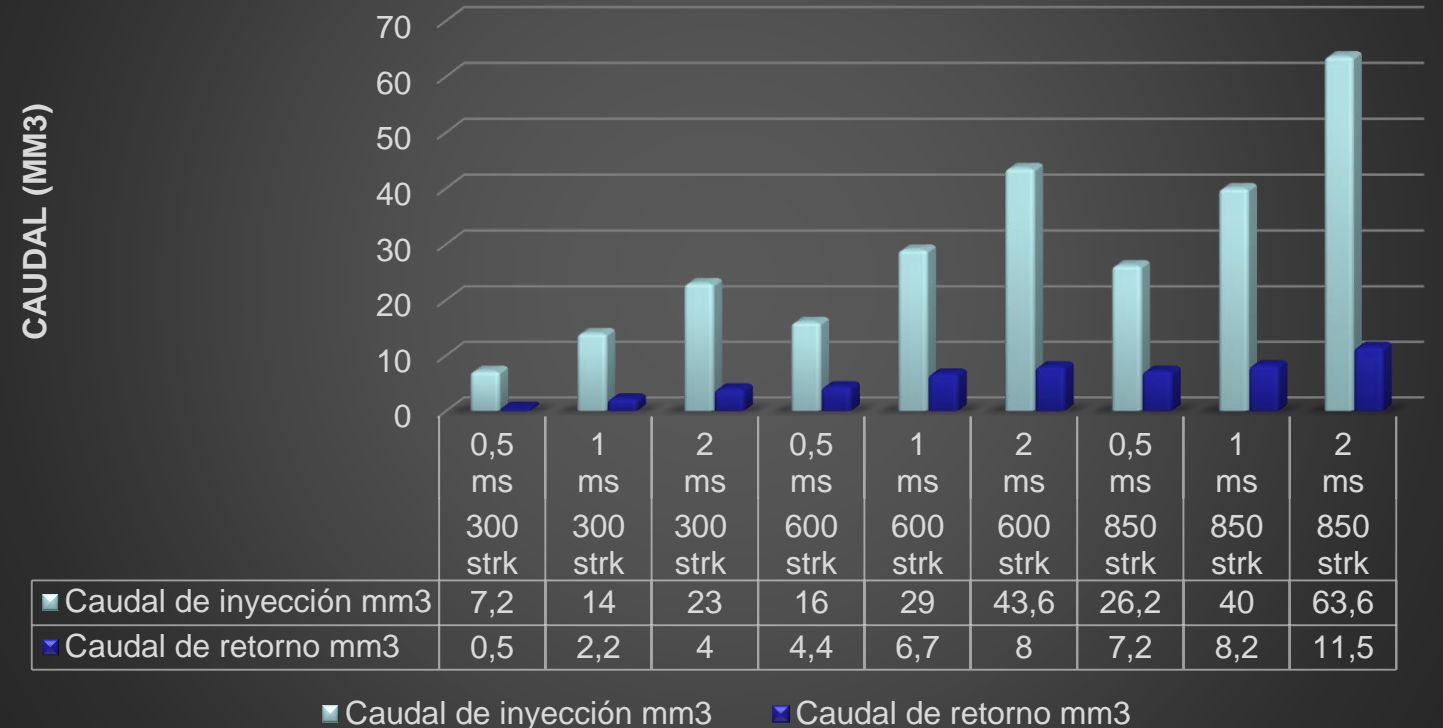
STRK	Tiempo de inyección	Corriente de activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención-descarga	Grados de activación
	ms	A	V	V	°
300	0,5	18,3	161	148	1,651
300	1	18,5	163	153	3,303
300	2	18,4	162	150	6,605
600	0,5	18,3	161	148	1,651
600	1	18,5	163	153	3,303
600	2	18,4	162	150	6,605
850	0,5	18,3	161	148	1,651
850	1	18,5	163	153	3,303
850	2	18,4	162	150	6,605



## CAUDAL DE INYECCIÓN Y RETORNO OBTENIDOS A 400 BAR



### (Caudal de inyección/Caudal de retorno) a 400 bar



## RESULTADOS OBTENIDOS DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO (LAND ROVER FREELANDER) A 550 BAR.

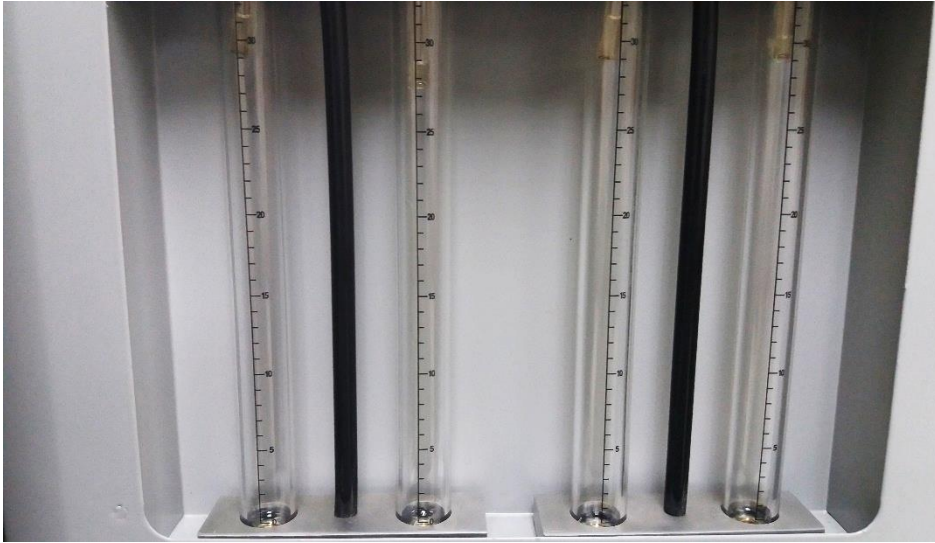
STRK	Tiempo de inyección	Tiempo de disparo	Tiempo de retención	Caudal de inyección	Caudal de retorno
	ms	ms	ms	mm3	mm3
300	0,5	0,5	2,31	11	1,2
300	1	1	2,31	17	2,7
300	2	2	2,32	31	4,9
600	0,5	0,5	2,31	21,8	4,8
600	1	1	2,31	33,2	8,2
600	2	2	2,32	61,3	10,6
850	0,5	0,5	2,31	33	8,2
850	1	1	2,31	48	10,3
850	2	2	2,32	87,2	15,2

STRK	Tiempo de inyección	Corriente de activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención-descarga	Grados de activación
	ms	A	V	V	°
300	0,5	18,3	161	148	1,651
300	1	18,5	163	153	3,303
300	2	18,4	162	150	6,605
600	0,5	18,3	161	148	1,651
600	1	18,5	163	153	3,303
600	2	18,4	162	150	6,605
850	0,5	18,3	161	148	1,651
850	1	18,5	163	153	3,303
850	2	18,4	162	150	6,605

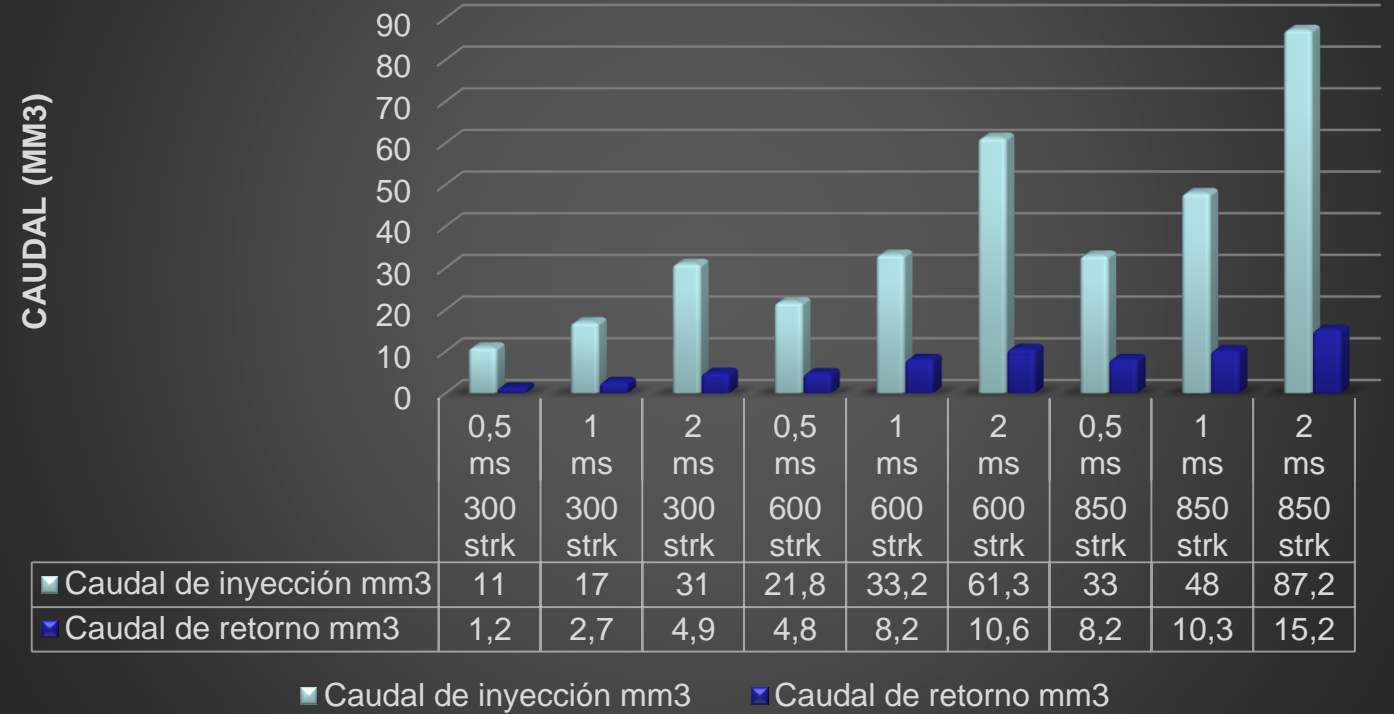




## CAUDAL DE INYECCIÓN Y RETORNO OBTENIDOS A 550 BAR



### (Caudal de inyección/Caudal de retorno) a 550 bar

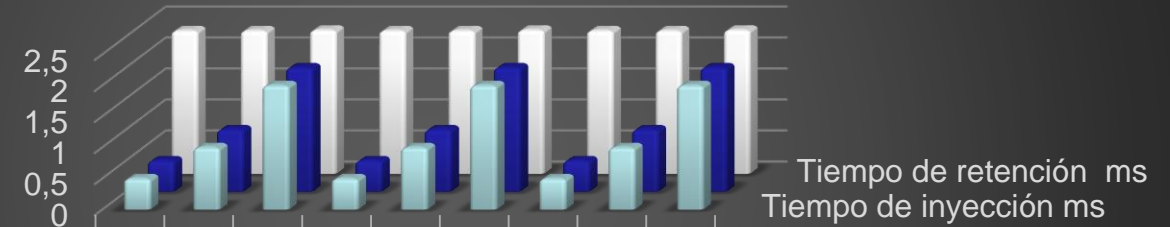


## TIEMPO DE INYECCIÓN DISPARO Y RETENCIÓN A 200,400 Y 550 BAR



### Tiempo de inyección/tiempo de disparo/tiempo de retención a (200,400,550) bar de presión de trabajo

TIEMPO (MS)



	300	300	300	600	600	600	850	850	850
	str	str	str	str	str	str	str	str	str
	k	k	k	k	k	k	k	k	k
■ Tiempo de inyección ms	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2
■ Tiempo de disparo ms	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2
■ Tiempo de retención ms	2,31	2,31	2,32	2,31	2,31	2,32	2,31	2,31	2,32

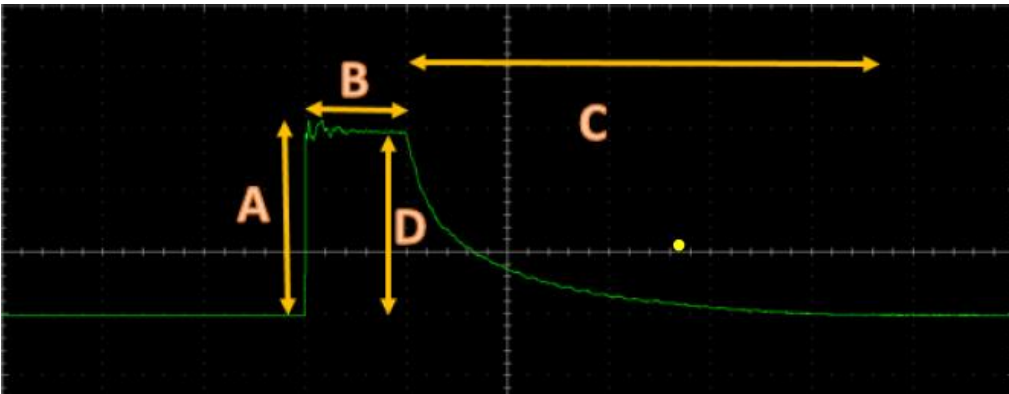
■ Tiempo de inyección ms    ■ Tiempo de disparo ms    ■ Tiempo de retención ms



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



## VOLTAJE DE ACTIVACIÓN Y DESCARGA A 200,400 Y 550 BAR



### Voltaje de activación/Voltaje de descarga a (200,400,550) bar de presión de trabajo



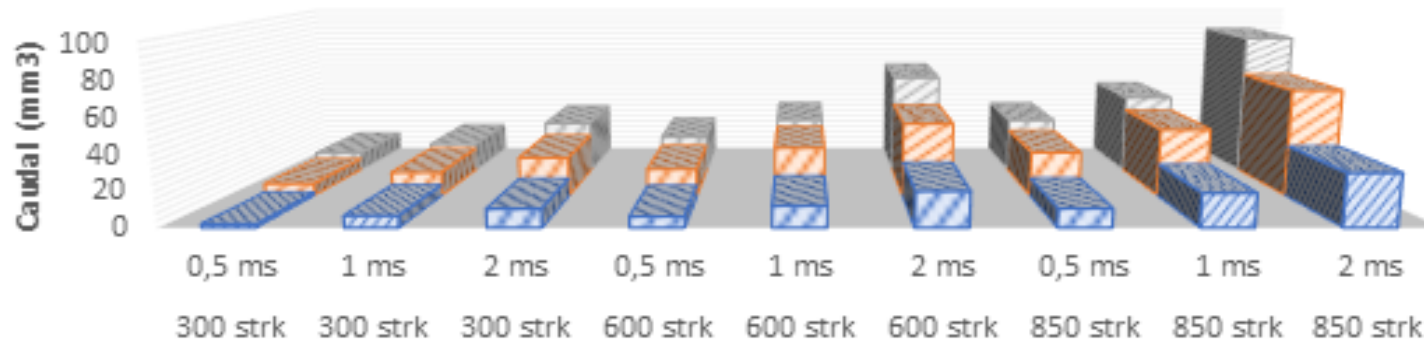
## CAUDAL DE INYECCIÓN OBTENIDOS DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO (LAND ROVER FREELANDER) A 200, 400 Y 550 BAR VARIANDO EL NÚMERO DE STRK Y TIEMPO DE ACTIVACIÓN.

		200 bar	400 bar	550 bar
Número de strk	Tiempo de inyección	Caudal de Inyección		
	ms	(mm3)	(mm3)	(mm3)
300	0,5	2	7,2	11
300	1	6,5	14	17
300	2	10,4	23	31
600	0,5	6,1	16	21,8
600	1	12	29	33,2
600	2	20,1	43,6	61,3
850	0,5	10,5	26,2	33
850	1	19	40	48
850	2	30,1	63,6	87,2



# CAUDAL DE INYECCIÓN OBTENIDOS DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO (LAND ROVER FREELANDER) A 200, 400 Y 550 BAR VARIANDO EL NÚMERO DE STRK Y TIEMPO DE ACTIVACIÓN.

Caudal de inyección a (200,400,550) bar/Número de strk/Tiempo de inyección



	300 strk	300 strk	300 strk	600 strk	600 strk	600 strk	850 strk	850 strk	850 strk
	0,5 ms	1 ms	2 ms	0,5 ms	1 ms	2 ms	0,5 ms	1 ms	2 ms
■ Caudal de inyección (mm3) a 200 bar	2	6,5	10,4	6,1	12	20,1	10,5	19	30,1
■ Caudal de inyección (mm3) a 400 bar	7,2	14	23	16	29	43,6	26,2	40	63,6
■ Caudal de inyección (mm3) a 550 bar	11	17	31	21,8	33,2	61,3	33	48	87,2



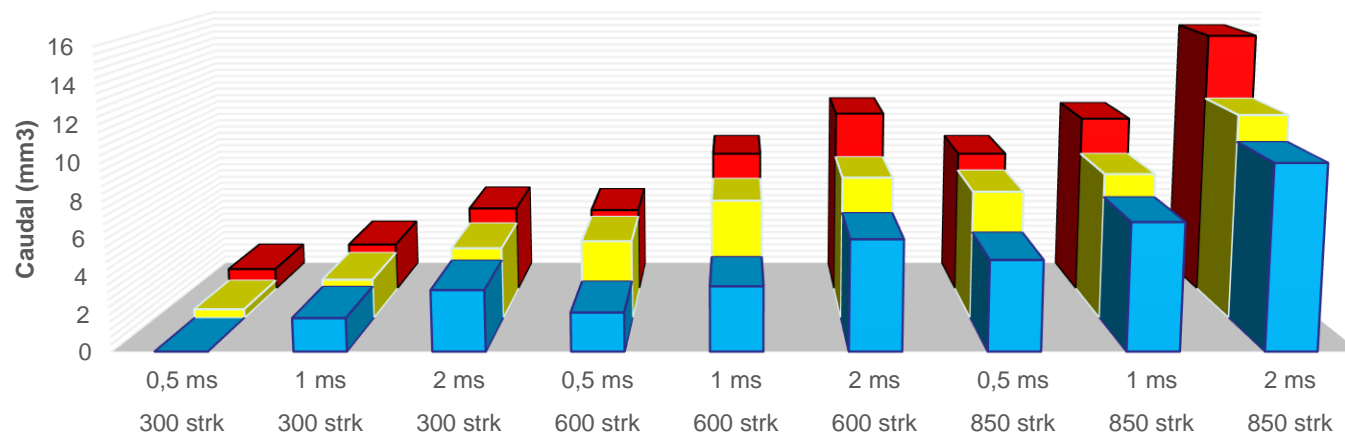
## CAUDAL DE RETORNO OBTENIDOS DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO (LAND ROVER FREELANDER) A 200, 400 Y 550 BAR VARIANDO EL NÚMERO DE STRK Y TIEMPO DE ACTIVACIÓN.

		200 bar	400 bar	550 bar
Número de strk	Tiempo de inyección	Caudal de retorno		
	ms	(mm3)	(mm3)	(mm3)
300	0,5	0	0,5	1,2
300	1	1,8	2,2	2,7
300	2	3,3	4	4,9
600	0,5	2,1	4,4	4,8
600	1	3,5	6,7	8,2
600	2	6	8	10,6
850	0,5	4,9	7,2	8,2
850	1	6,9	8,2	10,3
850	2	10	11,5	15,2



# CAUDAL DE RETORNO OBTENIDOS DEL INYECTOR PIEZOELECTRICO (LAND ROVER FREELANDER) A 200, 400 Y 550 BAR VARIANDO EL NÚMERO DE STRK Y TIEMPO DE ACTIVACIÓN.

Caudal de retorno a (200,400,550) bar/Numero de strok/Tiempo de inyección



	300 strk 0,5 ms	300 strk 1 ms	300 strk 2 ms	600 strk 0,5 ms	600 strk 1 ms	600 strk 2 ms	850 strk 0,5 ms	850 strk 1 ms	850 strk 2 ms
■ Caudal de retorno (mm3) a 200 bar	0	1,8	3,3	2,1	3,5	6	4,9	6,9	10
■ Caudal de retorno (mm3) a 400 bar	0,5	2,2	4	4,4	6,7	8	7,2	8,2	11,5
■ Caudal de retorno (mm3) a 550 bar	1,2	2,7	4,9	4,8	8,2	10,6	8,2	10,3	15,2



***Análisis de resultados  
Inyector piezoeléctrico Bosch  
0445116034 Volkswagen  
Amarok 2.0***



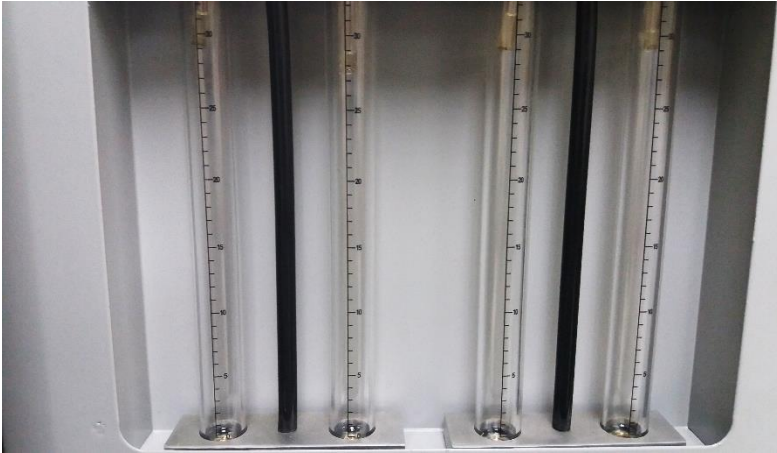
## RESULTADOS OBTENIDOS DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO (VOLKSWAGEN AMAROK) A 200 BAR.

STRK	Tiempo de inyección	Tiempo de disparo	Tiempo de retención	Caudal de inyección	Caudal de retorno
	ms	ms	ms	mm3	mm3
300	0,5	0,5	1,81	0	0
300	1	1	1,8	4	0,2
300	2	2	1,81	7	2
600	0,5	0,5	1,81	0,5	0,8
600	1	1	1,8	4,1	1,1
600	2	2	1,81	13,5	4
850	0,5	0,5	1,81	2,8	2,8
850	1	1	1,8	9,4	4,1
850	2	2	1,81	21	7

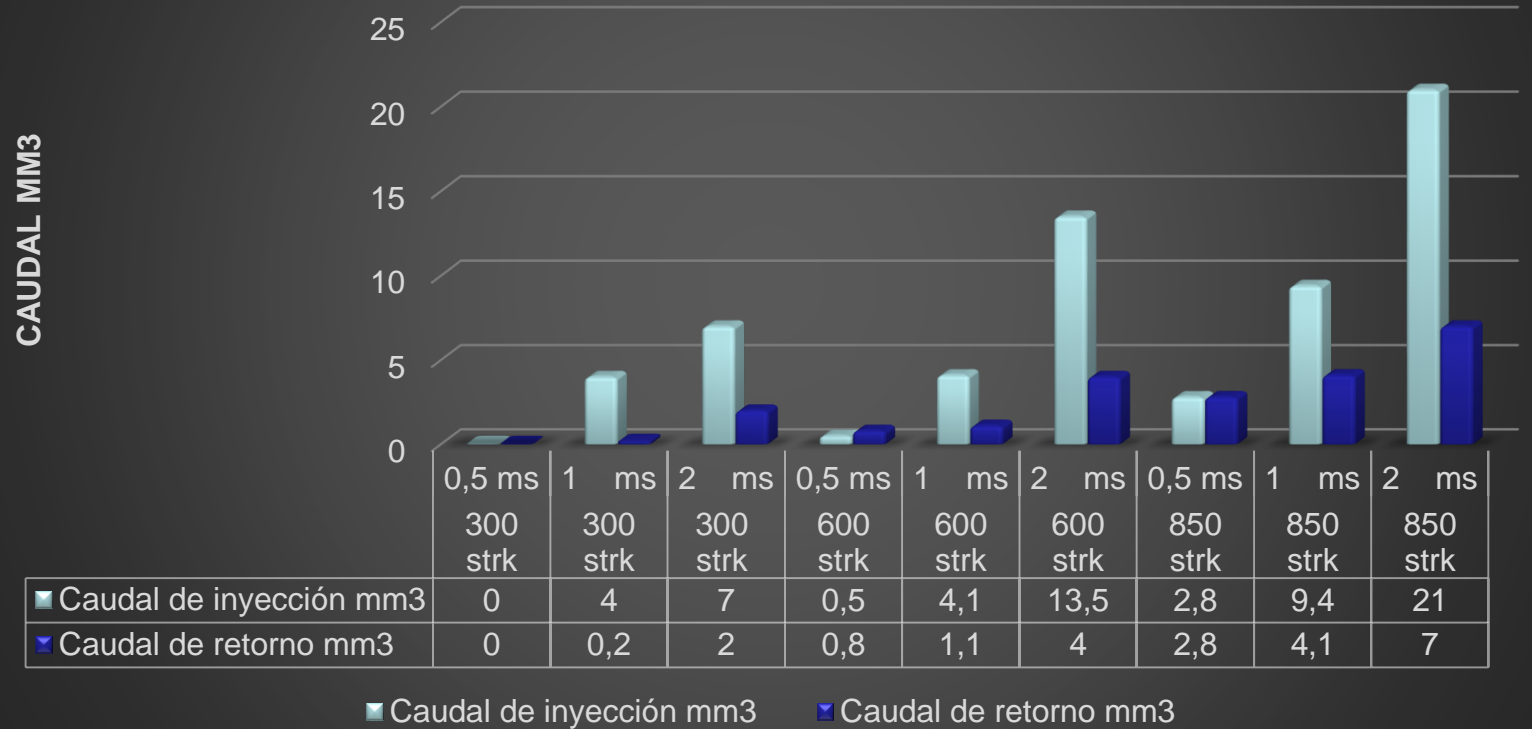
STRK	Tiempo de inyección	Corriente de activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención-descarga	Grados de activación
	ms	A	V	V	°
300	0,5	18,2	157	144	1,651
300	1	18,2	157	146	3,303
300	2	18,3	158	147	6,605
600	0,5	18,2	157	144	1,651
600	1	18,2	157	146	3,303
600	2	18,3	158	147	6,605
850	0,5	18,2	157	144	1,651
850	1	18,2	157	146	3,303
850	2	18,3	158	147	6,605



## CAUDAL DE INYECCIÓN Y RETORNO OBTENIDOS A 200 BAR.



### (Caudal de inyección/Caudal de retorno) a 200 bar





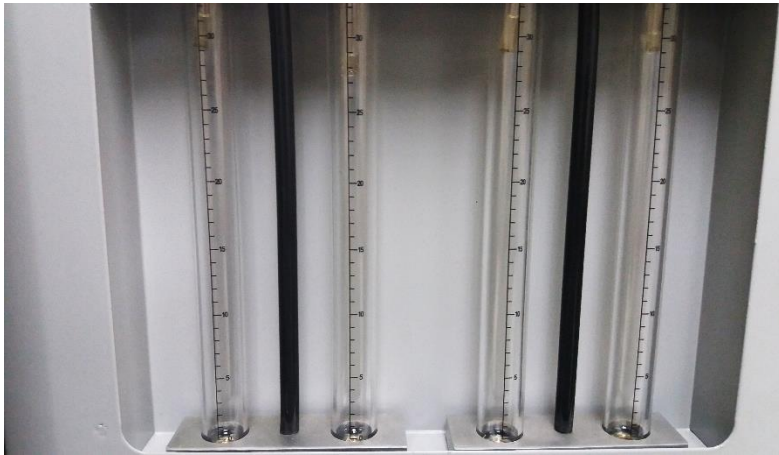
## RESULTADOS OBTENIDOS DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO (VOLKSWAGEN AMAROK) A 400 BAR.

STRK	Tiempo de inyección	Tiempo de disparo	Tiempo de retención	Caudal de inyección	Caudal de retorno
	ms	ms	ms	mm3	mm3
300	0,5	0,5	1,81	6	0
300	1	1	1,8	12,2	1
300	2	2	1,81	22	3
600	0,5	0,5	1,81	12,5	2,5
600	1	1	1,8	22,6	4
600	2	2	1,81	41,2	5,9
850	0,5	0,5	1,81	19,3	4,6
850	1	1	1,8	30,4	4,1
850	2	2	1,81	59,2	8,2

STRK	Tiempo de inyección	Corriente de activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención-descarga	Grados de activación
	ms	A	V	V	°
300	0,5	18,2	157	144	1,651
300	1	18,2	157	146	3,303
300	2	18,3	158	147	6,605
600	0,5	18,2	157	144	1,651
600	1	18,2	157	146	3,303
600	2	18,3	158	147	6,605
850	0,5	18,2	157	144	1,651
850	1	18,2	157	146	3,303
850	2	18,3	158	147	6,605

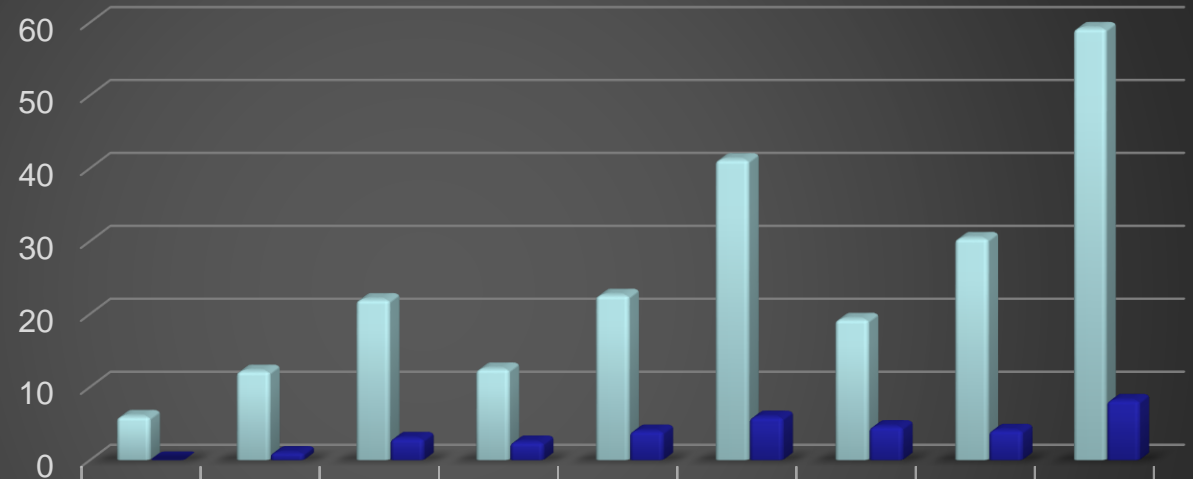


## CAUDAL DE INYECCIÓN Y RETORNO OBTENIDOS A 400 BAR.



### (Caudal de inyección/Caudal de retorno) a 400 bar

CAUDAL MM3



■ Caudal de inyección mm3

■ Caudal de retorno mm3

■ Caudal de inyección mm3

■ Caudal de retorno mm3



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

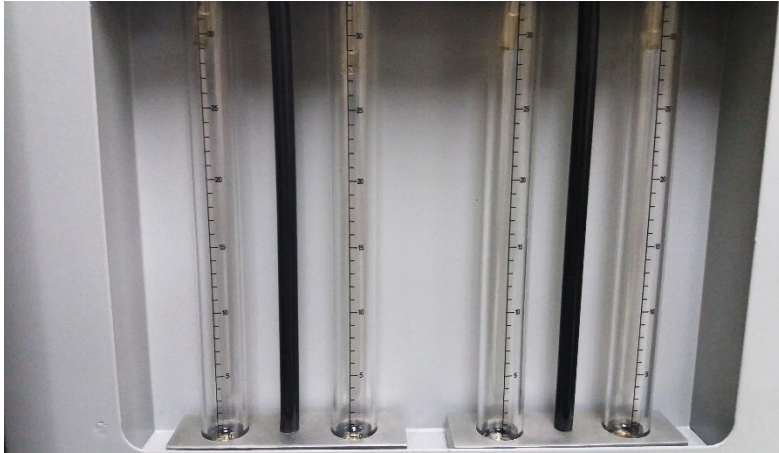
## RESULTADOS OBTENIDOS DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO (VOLKSWAGEN AMAROK) A 550 BAR.

STRK	Tiempo de inyección	Tiempo de disparo	Tiempo de retención	Caudal de inyección	Caudal de retorno
	ms	ms	ms	mm3	mm3
300	0,5	0,5	1,81	7,8	0
300	1	1	1,8	11,9	1
300	2	2	1,81	31	4
600	0,5	0,5	1,81	15	2,2
600	1	1	1,8	28,9	4,8
600	2	2	1,81	61,2	8,3
850	0,5	0,5	1,81	23,8	5
850	1	1	1,8	38,9	5,4
850	2	2	1,81	88,4	12,1

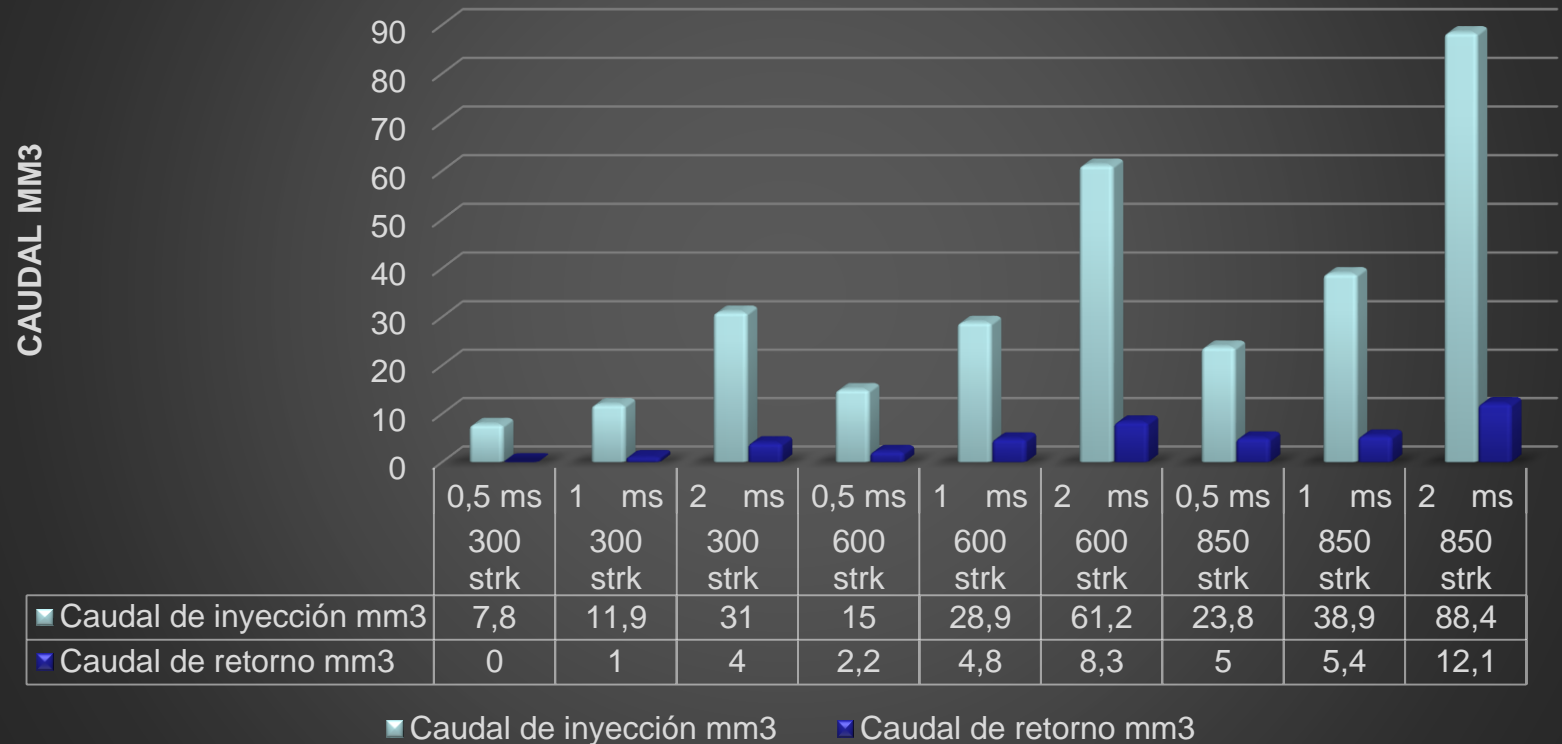
STRK	Tiempo de inyección	Corriente de activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención-descarga	Grados de activación
	ms	A	V	V	°
300	0,5	18,2	157	144	1,651
300	1	18,2	157	146	3,303
300	2	18,3	158	147	6,605
600	0,5	18,2	157	144	1,651
600	1	18,2	157	146	3,303
600	2	18,3	158	147	6,605
850	0,5	18,2	157	144	1,651
850	1	18,2	157	146	3,303
850	2	18,3	158	147	6,605



## CAUDAL DE INYECCIÓN Y RETORNO OBTENIDOS A 550 BAR.



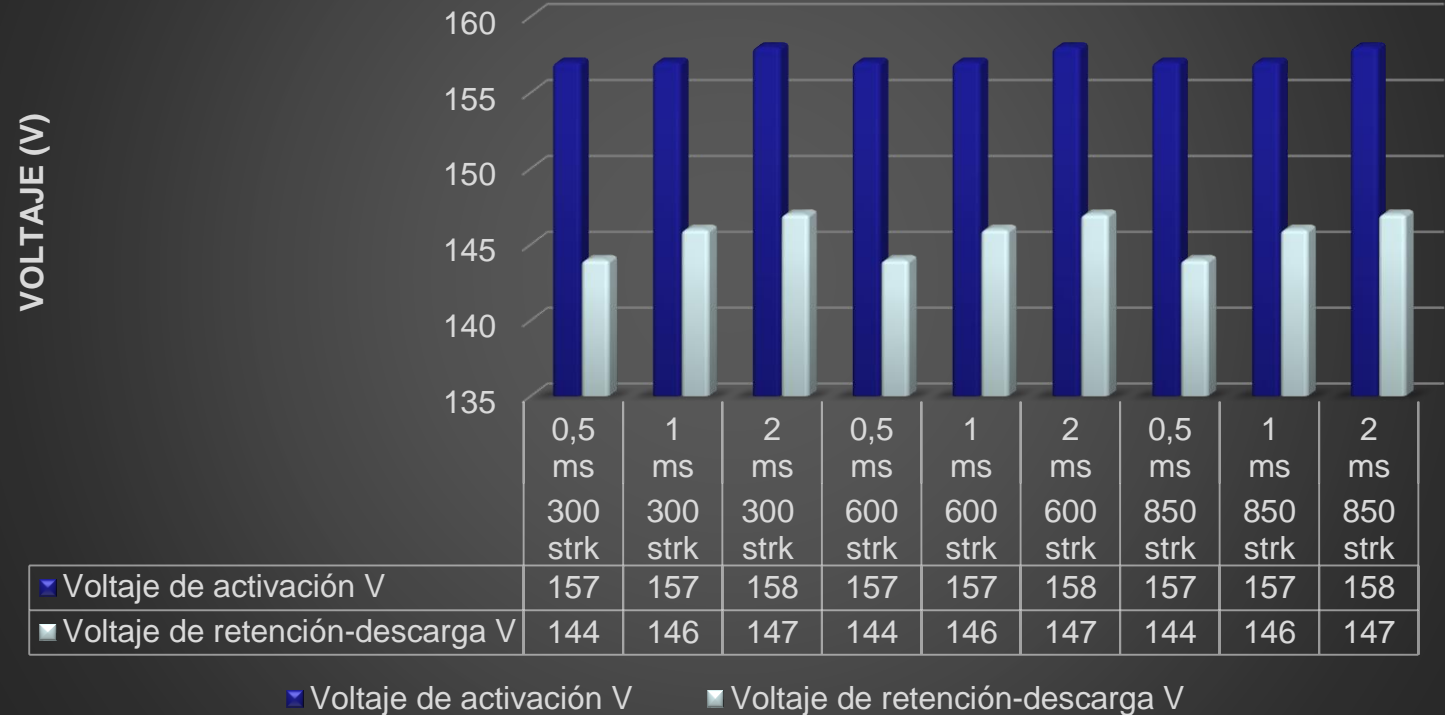
### (Caudal de inyección/Caudal de retorno) a 550 bar



## VOLTAJE DE ACTIVACIÓN Y DESCARGA A 200,400 Y 550 BAR



### Voltaje de activación/Voltaje de descarga a (200,400,550) bar de presión de trabajo



## CAUDAL DE INYECCIÓN OBTENIDOS DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO (VOLKSWAGEN AMAROK) A 200, 400 Y 550 BAR VARIANDO EL NÚMERO DE STRK Y TIEMPO DE ACTIVACIÓN.

		200 bar	400 bar	550 bar
Numero de stroks	Tiempo de inyección	Caudal de Inyección		
	ms	(mm3)	(mm3)	(mm3)
<b>300</b>	0,5	0	6	7,8
<b>300</b>	1	4	12,2	11,9
<b>300</b>	2	7	22	31
<b>600</b>	0,5	0,5	12,5	15
<b>600</b>	1	4,1	22,6	28,9
<b>600</b>	2	13,5	41,2	61,2
<b>850</b>	0,5	2,8	19,3	23,8
<b>850</b>	1	9,4	30,4	38,9
<b>850</b>	2	21	59,2	88,4



## CAUDAL DE INYECCIÓN OBTENIDOS DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO (VOLKSWAGEN AMAROK) A 200, 400 Y 550 BAR VARIANDO EL NÚMERO DE STRK Y TIEMPO DE ACTIVACIÓN.



	300 strk	300 strk	300 strk	600 strk	600 strk	600 strk	850 strk	850 strk	850 strk
	0,5 ms	1 ms	2 ms	0,5 ms	1 ms	2 ms	0,5 ms	1 ms	2 ms
■ Caudal de Inyección mm3) a 200 bar	0	4	7	0,5	4,1	13,5	2,8	9,4	21
■ Caudal de Inyección (mm3) a 400 bar	6	12,2	22	12,5	22,6	41,2	19,3	30,4	59,2
■ Caudal de Inyección (mm3) a 550 bar	7,8	11,9	31	15	28,9	61,2	23,8	38,9	88,4





## CAUDAL DE RETORNO OBTENIDOS DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO (VOLKSWAGEN AMAROK) A 200, 400 Y 550 BAR VARIANDO EL NÚMERO DE STRK Y TIEMPO DE ACTIVACIÓN.

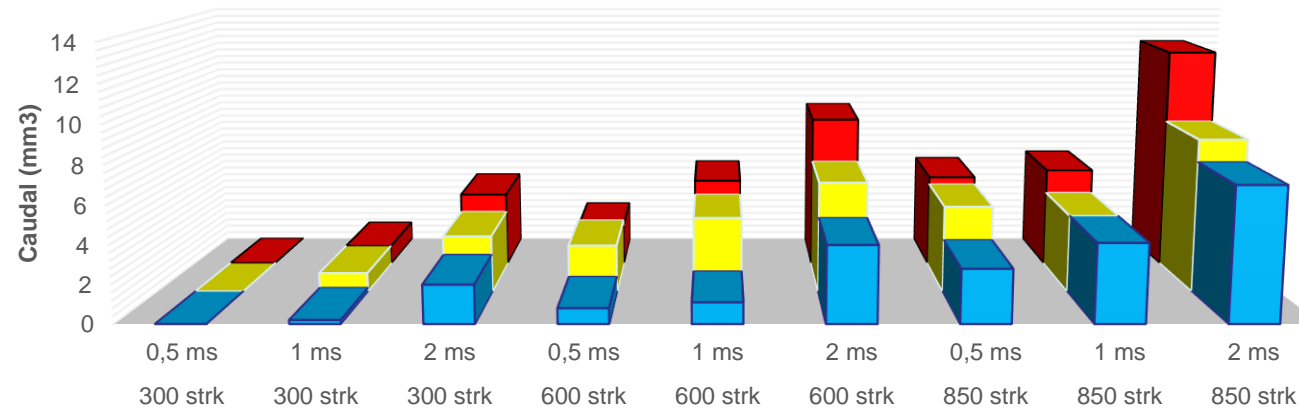
Presión		200 bar	400 bar	550 bar
Numero de stroks	Tiempo de inyección	Caudal de retorno		
		(mm3)	(mm3)	(mm3)
strk	ms			
300	0,5	0	0	0
300	1	0,2	1	1
300	2	2	3	4
600	0,5	0,8	2,5	2,2
600	1	1,1	4	4,8
600	2	4	5,9	8,3
850	0,5	2,8	4,6	5
850	1	4,1	4,1	5,4
850	2	7	8,2	12,1





# CAUDAL DE RETORNO OBTENIDOS DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO (VOLKSWAGEN AMAROK) A 200, 400 Y 550 BAR VARIANDO EL NÚMERO DE STRK Y TIEMPO DE ACTIVACIÓN.

Caudal de retorno a (200,400,550) bar/Numero de strok/Tiempo de inyección



	300 strk	300 strk	300 strk	600 strk	600 strk	600 strk	850 strk	850 strk	850 strk
	0,5 ms	1 ms	2 ms	0,5 ms	1 ms	2 ms	0,5 ms	1 ms	2 ms
■ Caudal de retorno (mm3) a 200 bar	0	0,2	2	0,8	1,1	4	2,8	4,1	7
■ Caudal de retorno (mm3) a 400 bar	0	1	3	2,5	4	5,9	4,6	4,1	8,2
■ Caudal de retorno (mm3) a 550 bar	0	1	4	2,2	4,8	8,3	5	5,4	12,1



# *Conclusiones*



- Se investigó el comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctricos de series 0445116034 y 0445115042 de la marca Bosch del sistema de inyección CRDI (Common rail diésel injection).
- Se recopiló información en bases digitales como ResearchGate, Science Direct, DieselNet, SAGE Publications, Google Académico las cuales sirvieron de guía para desarrollar la presente investigación.
- Se realizó las pruebas mecánicas siguiendo el protocolo establecido en el banco tester VNP v-3500 bajo parámetros de variación disponibles en el mismo tales como presión de trabajo, tiempo de inyección pulsos de inyección o strk.
- Se realizó las pruebas eléctricas en los inyectores objeto de estudio con el uso de equipos específicos para este tipo de pruebas tales como: Osciloscopio Hantek, pinza amperimétrica, multímetro automotriz, puntas de osciloscopio.
- Se determinó los parámetros ideales de funcionamiento de los inyectores piezoeléctricos mediante las pruebas realizadas, obteniendo valores reales de caudal de entrega y retorno, tiempos de inyección, tiempo de retención, tiempo de descarga, voltaje y corriente de activación, voltaje de descarga y ángulos de pulverización, conseguidos bajo ciertos parámetros de operación del banco VNP V-3500.



- Se analizó que los resultados obtenidos son completamente diferentes de un inyector respecto al otro, variando completamente caudal de entrega y retorno, tiempos de inyección, tiempo de retención, tiempo de descarga, voltaje y corriente de activación, voltaje de descarga y ángulos de pulverización, se observó que únicamente los valores de caudal de inyección y retorno se asemejan conforme se aumenta la presión de trabajo. Esto se debe a que cada inyector está destinado para un motor con cierta cilindrada y al tipo de trabajo que el vehículo está diseñado.
- Se comprobó mediante el análisis de resultados que en las pruebas de caudal de inyección y de retorno con parámetros de 200 bar de presión, 850 strk y 2 ms de tiempo de inyección, existe una relación inyección/retorno de 3:1 para los dos inyectores piezoeléctricos.
- Se determinó que al emplear las condiciones de 550 bar de presión, 300 strk y 2ms de tiempo de inyección los resultados de caudal de inyección y retorno se asemejan en los dos inyectores, dando como resultado 31 mm<sup>3</sup> \_ 4,9 mm<sup>3</sup> en el inyector Land Rover Freelander y 31 mm<sup>3</sup> \_ 4 mm<sup>3</sup> en el inyector Volkswagen Amarok.
- Se verificó que los inyectores al carecer de bobina no poseen un valor específico de resistencia, por lo tanto al usar el modo uno del banco tester VNP v-3500 la pantalla refleja un valor superior a 18 que representa a los inyectores piezoeléctricos.



- Se determinó que al trabajar con el tiempo de inyección de 0.5 ms y presión de 200 bar, valores relativamente mínimos, el patrón de pulverización es muy reducido, de ser la presión inferior ya no existe pulverización y el derrame producido por el inyector es laminar, ya que la apertura del inyector oscila entre 150 y 250 bar.
- Se estableció que el voltaje de activación para el inyector 0445115042 es de 162 voltios  $\pm$  1v y este valor se mantuvo constante durante todas las pruebas sin ser afectado por la presión de inyección, numero de strk o tiempo de inyección.
- Se determinó un caudal entregado por el inyector 0445115042 de 87.2 mm<sup>3</sup> al establecer las condiciones máximas de 2ms de tiempo de activación, 550 bar de presión de inyección y 850 strks.
- Se visualizó un caudal de retorno por el inyector 0445115042 de 15.2 mm<sup>3</sup> al establecer las condiciones máximas de 2ms de tiempo de activación, 550 bar de presión de inyección y 850 strks.
- Se estableció que el voltaje de activación para el inyector 0445116034 es de 158 voltios  $\pm$  1v y este valor se mantuvo constante durante todas las pruebas sin ser afectado por la presión de inyección, numero de strk o tiempo de inyección.



- Se determinó un caudal entregado por el inyector 0445116034 de 88.4 mm<sup>3</sup> al establecer las condiciones máximas de 2ms de tiempo de activación, 550 bar de presión de inyección y 850 strks.
- Se visualizó un caudal de retorno por el inyector 0445116034 de 12.1 mm<sup>3</sup> al establecer las condiciones máximas de 2ms de tiempo de activación, 550 bar de presión de inyección y 850 strks.



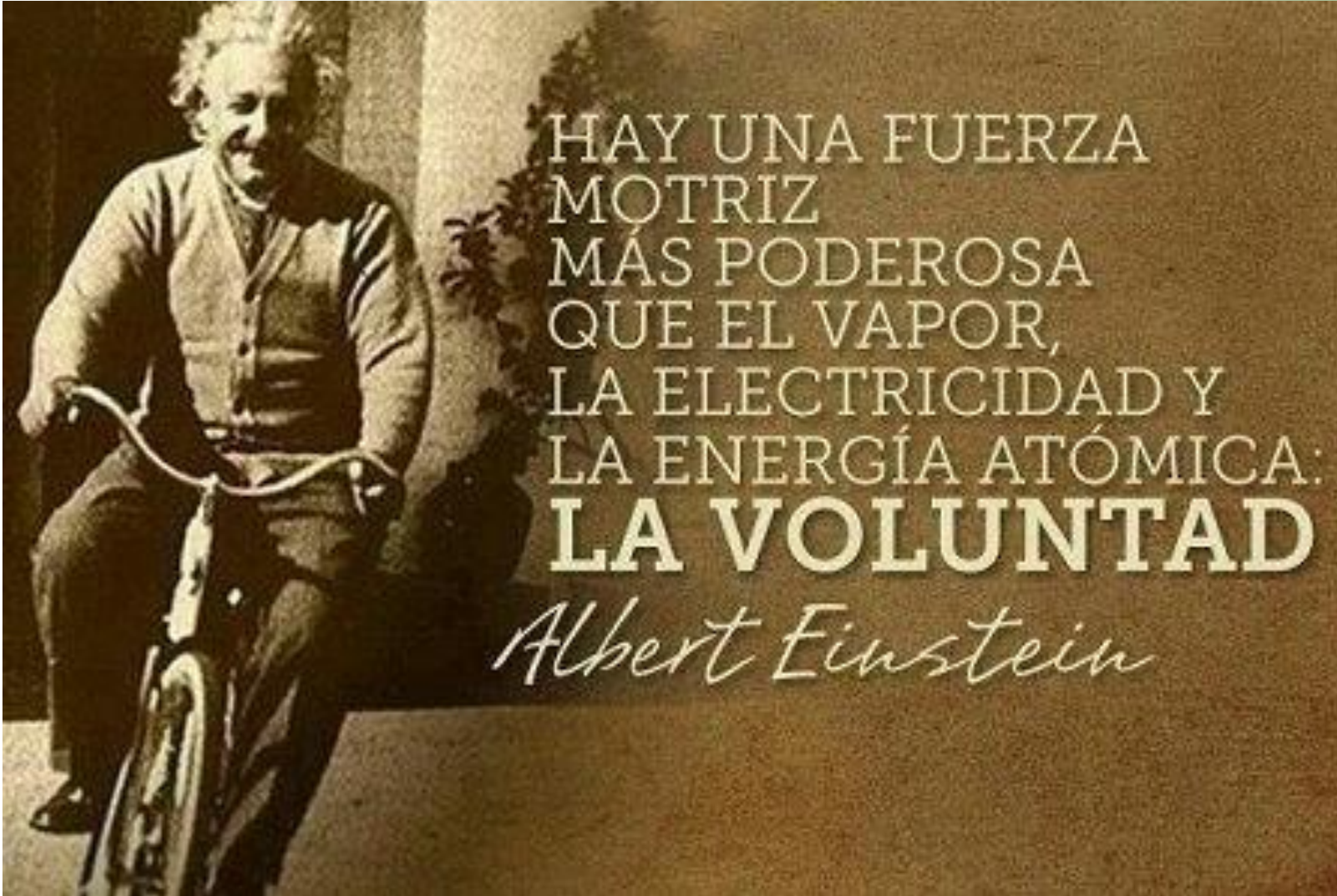
# *Recomendaciones*



- Colocar el selector de inyectores tanto piezoeléctrico o inductivos de manera correcta ya que pueden ocasionar daños irreparables en el banco tester VNP3500.
- Liberar la presión del banco antes del desmontaje de los inyectores.
- No encender el banco de pruebas cuando no se ha finalizado el montaje de los inyectores ya que podrían ocasionar daños severos.
- Los inyectores antes de empezar alguna prueba deben someterse a un test de resistencia en nuestro caso al usar inyectores piezoeléctricos nos refleja un valor de 18,1 o 18,9 que el banco lo analiza como valores infinitos ya que los mismos nos poseen bobina.
- Drenar la trampa de agua y verificar el nivel de aceite que posee el banco de pruebas.
- Verificar el nivel de viscosidad antes y después de realizar las pruebas para evitar inconveniente durante su funcionamiento
- Evitar el ingreso de partículas a los inyectores o a las roscas del banco de pruebas.
- Se recomienda la utilización de un compresor de mayor capacidad para lograr la presión máxima de trabajo del banco VNP V-3500.







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