



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

TEMA: "INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES MARCA BOSCH SERIE 0 445 110 290 Y 0 445 110 293 UTILIZADOS EN EL SISTEMA CRDI (COMMON RAIL DIESEL INJECTION)"

AUTORES:

CARLOS AMILCAR CABEZAS BEJARANO

EDWIN DAMIÁN FREIRE POVEDA

DIRECTOR: ING. FABIÁN SALAZAR

LATACUNGA 2018

Antecedentes Investigativos

- En la última década las grandes ciudades como México, Madrid y Barcelona regulan la emisión de gases tóxicos tales como: Óxido Nitroso (NO_x) o Hidrocarburos no combustionados (HC), En Quito se genera el 20 % de las emisiones de monóxido de carbono a nivel nacional producidos por automotores que utilizan como combustible diesel.
- El autor Salvador F (2003) afirma. “Que realizó un profundo estudio sobre los efectos que puede tener la geometría de los orificios de inyección sobre el flujo en su interior y el posterior efecto sobre el desarrollo del chorro. Gran parte de este trabajo se enfocó al estudio de la cavitación y sus consecuencias para el comportamiento de la inyección”.

Antecedentes Investigativos

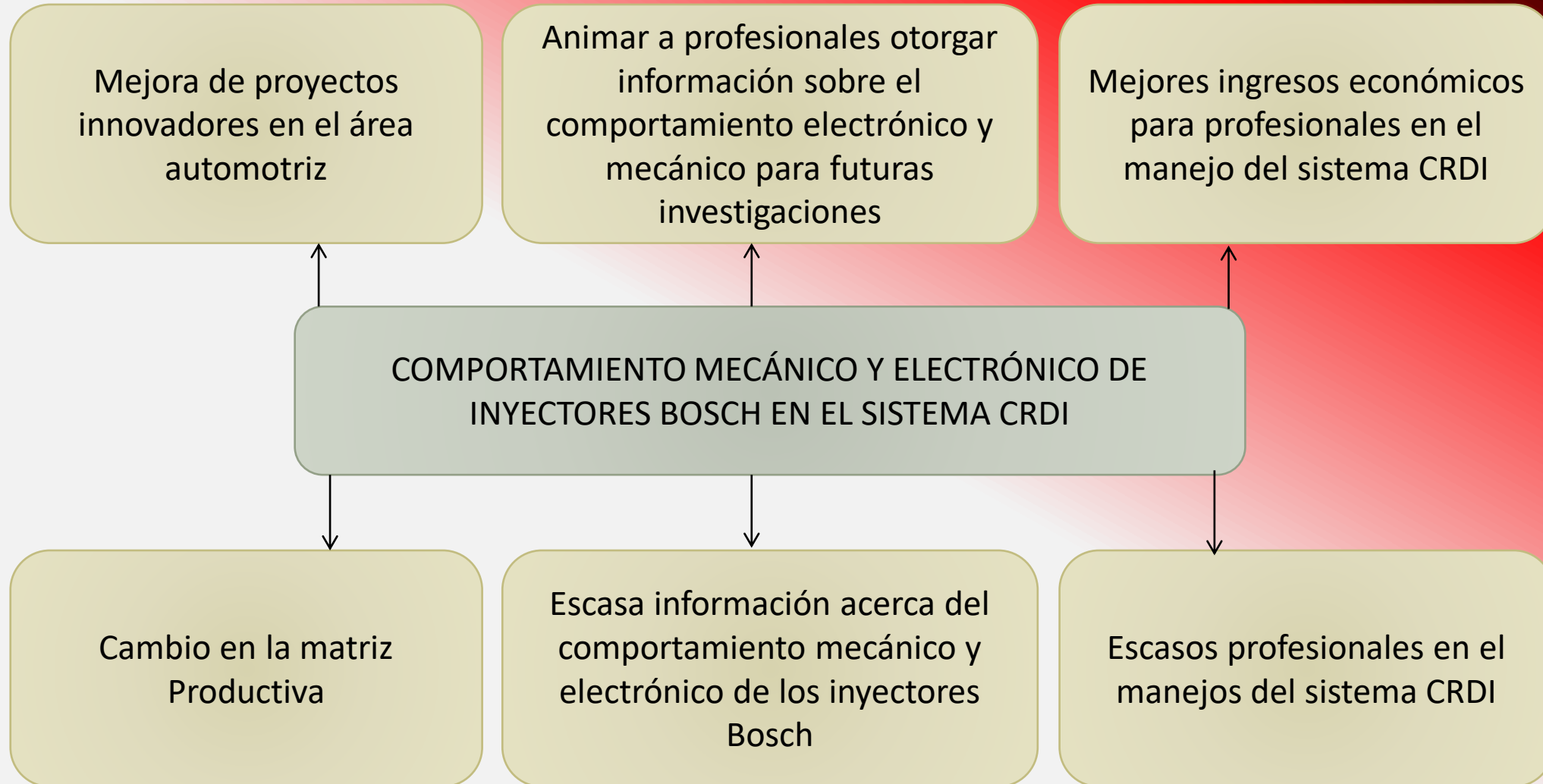
- El autor Salvador F (2003) afirma. “Que realizó un profundo estudio sobre los efectos que puede tener la geometría de los orificios de inyección sobre el flujo en su interior y el posterior efecto sobre el desarrollo del chorro. Gran parte de este trabajo se enfocó al estudio de la cavitación y sus consecuencias para el comportamiento de la inyección”.

Existen algunas ventajas del sistema de inyección CRDI:

Tabla 1 *Ventajas del sistema de inyección CRDI*

- **Excelente desempeño y bajo consumo de combustible.**
- **El sistema de inyección de combustible “Common Rail” es controlado electrónicamente para cumplir con una combustión óptima.**
- **Bajo nivel de emisiones de ruidos.**
- **Amigable con el medio ambiente respetando los reglamentos mundiales sobre emisiones.**

Planteamiento del Problema



Justificación e Importancia

- En el país durante la última década el mercado automotriz se ha desarrollado de tal manera, que cuenta con una importante participación dentro de la economía, debido a los rubros que esta actividad genera (PRO ECUADOR, 2017, p.3). La producción y venta de automotores diesel se ha incrementado entre un 10% y 12% ya que la contaminación emitida por este tipo de vehículos es menor en comparación a los que utilizan gasolina.
- Los inyectores más utilizados dentro del país son los de marca Bosch, es por ello que el estudio del sistema CRDI es muy importante, debido a que de esta manera se analizará el comportamiento mecánico y electrónico de este tipo de inyectores, cabe recalcar que dentro del país las investigaciones de esta índole son muy escasas, lo que incrementa el valor de la investigación, misma que servirá de base en posteriores estudios

Objetivo General

- Investigar el comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores marca Bosch “00 445 110 290” Y “0 445 110 293” para generar información técnica, y relevante de los parámetros de operación de los inyectores CRDI.

Objetivos Específicos

- Analizar la información en fuentes bibliográfica, manuales y datos técnicos confiables que permitan el desarrollo del proyecto planteado.
- Determinar la marca y años de los vehículos que hagan uso de este tipo de inyectores marca Bosch.
- Realizar el protocolo de pruebas que permita verificar el comportamiento mecánico y eléctrico de los inyectores Bosch.

Objetivos Específicos

- Establecer parámetros de funcionamiento óptimo de los inyectores mediante la variación de tiempo de inyección, número de inyecciones y presión.
- Ejecutar las pruebas para el comportamiento mecánico a los inyectores marca Bosch, las cuales son: pruebas de caudal, de pulverización.
- Realizar las pruebas para el comportamiento eléctrico-electrónico de los inyectores CRDI marca Bosch.

Objetivos Específicos

- Tabular los datos obtenidos para generar una base de datos de las variaciones de los tiempos de activación y de retención, así como de los voltajes respectivamente comparando los parámetros medidos
- Analizar los resultados efectuados en la investigación.
- Establecer los recursos necesarios para un estudio del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores Bosch

Equipos Utilizados



Osciloscopio Hantek
1008c

Tester VNP – 3500 CRDI



Equipos Utilizados



*CSF clamp multimeter
MT 5211*

*Pinza amperimétrica
Bran Bee*



Osciloscopio Hantek 1008c

- El osciloscopio Hantek 1008c permite visualizar señales eléctricas y determinar sus parámetros como: voltaje máximo, voltaje mínimo, tiempo, periodo, frecuencia, amplitud.
- El software nos permite visualizar la onda a través de su interfaz y ajustar los valores que sean convenientes; cuenta con ocho canales y poder visualizar en tiempo real cada uno de ellos lo que permite manipular, trabajar con más de dos canales a la vez.



Tester VNP – 3500 CRDI

- Es un equipo que nos permite analizar el estado mecánico y electrónico en el cual se encuentra los inyectores de riel común diésel de diferentes marcas como: Bosch, Delphi, Denso .
- La ayuda de sus controles digitales se puede variar el tiempo de inyección y el número de inyecciones en determinados regímenes de operación, así como también la variación de presiones de trabajo que va estar expuesto el inyector, para posteriormente comparar los datos obtenidos a diferentes rangos de operación.
- Posee contadores digitales el cual se visualiza en la pantalla del equipo puede variar según el régimen de trabajo deseado o establecido, también contiene un conjunto de probetas graduadas el cual acoge el caudal de ingreso y de retorno de cada inyector donde permite obtener medidas para posteriormente ingresar dichos datos y compararlos.



CSF clamp multimeter MT 5211

Un multímetro es un instrumento que permite medir directamente magnitudes eléctricas activas como corrientes y diferencia de potenciales o pasivas como resistencias, capacidades y otras. Las medidas pueden realizarse para corriente continua o alterna.



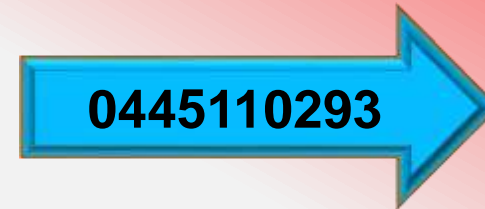
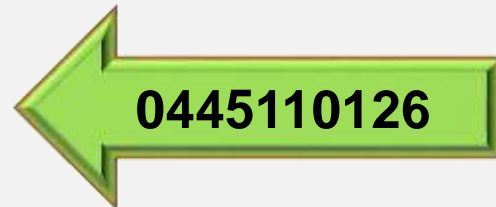
Pinza amperimétrica Brain Bee

- Una pinza amperimétrica es un comprobador eléctrico que combina un voltímetro con un medidor de corriente tipo pinza. Al igual que el multímetro, la pinza amperimétrica ha pasado de la época analógica a la era digital actual.
- En la siguiente tabla se detalla las especificaciones de la pinza amperimétrica .

Categoría	Especificación
Entrada	60A Max AC/DC
Salida	10mV/A - 100mV/A
Máximo voltaje	240V- AC / 300V – DC



Especificaciones de los inyectores CRDI Bosch



Inyector Bosch 0445110126



Categoría	Especificación
Marca	Hyundai/Kia
Modelo	Tucson/Sportage
Motor	D4EA/2.0 TURBO DIESEL CRI
Cilindros	4
Normas de emisión	EURO III
Bomba alta presión vehículos livianos	CP3, CP1H
Presión máxima	1600 bar
Certificación	ISO/TS 16949



Inyector Bosch 0445110293



Great Wall

Categoría	Especificación
Marca	Great Wall
Modelo	Gingle
Motor	GW2.8TC
Cilindros	4
Normas de emisión	EURO III
Bomba alta presión vehículos livianos	CP3, CP1H
Presión máxima	1600 bar
Certificación	ISO/TS 16949



Protocolo de pruebas para los inyectores CRDI Bosch

- Para la elaboración del protocolo de pruebas, se fundamentó en las variaciones de parámetros y características que ofrece el Tester VNP – 3500 CRDI, así como los demás equipos tecnológicos antes mencionados.
- Para poder trabajar dentro de un campo de parámetros de trabajo de los inyectores razonable, se estableció lo siguiente:
 - Presión de operación: (300, 400, 500, 600, 700) bar.
 - Tiempo de inyección: (0,25; 0,5; 1; 1,5; 2) ms.
 - Número de inyecciones (STRK): 250, 500, 750, 990.

Además se determinó la presión de retorno, el ángulo de pulverización y se calculó los grados de activación de cada inyector.

Protocolo de pruebas para los inyectores CRDI Bosch

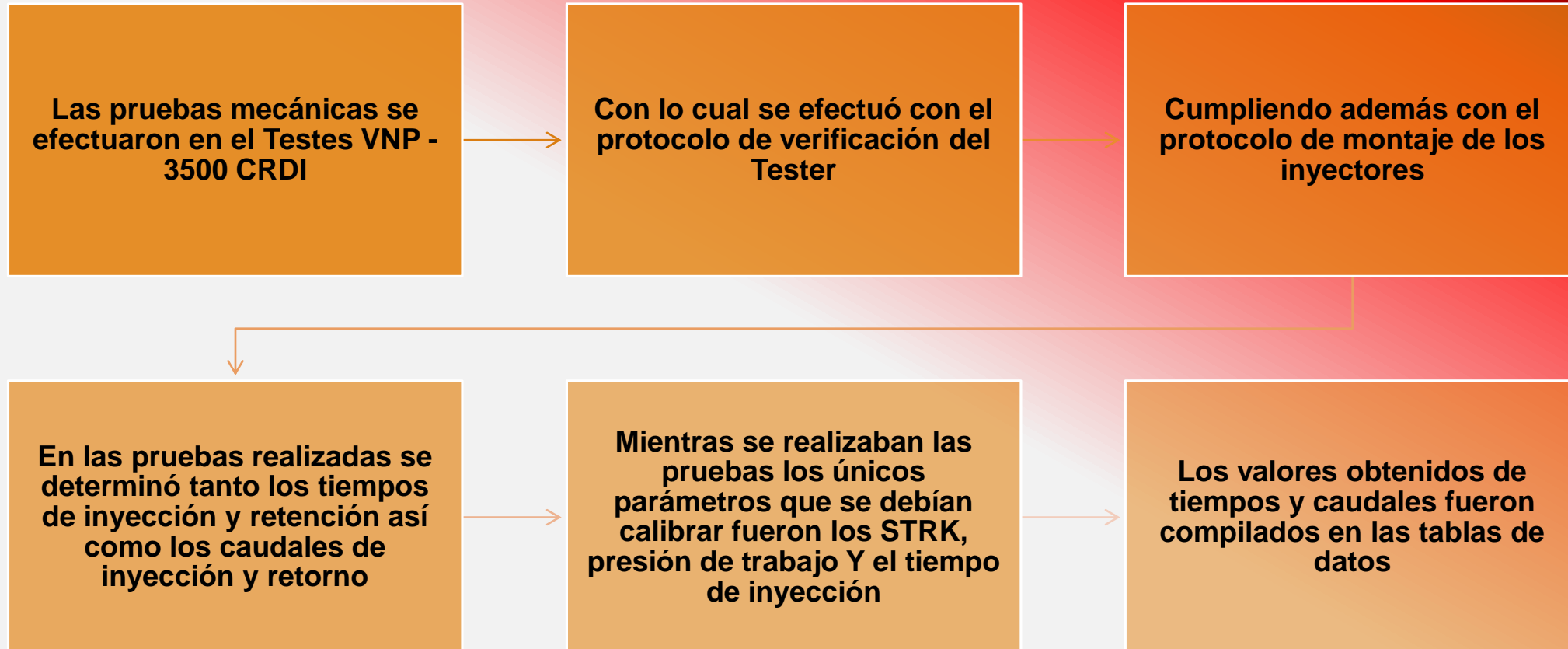
- Para los parámetros eléctricos q se estableció en cada inyector según el protocolo de prueba es:
 - Voltaje de activación
 - Voltaje de retención
 - Corriente de activación
 - Resistencia de la Bobina
 - Inductancia

Cuyos valores fueron establecidos por los equipos tecnológicos como: Pinza amperimétrica Bran Bee, el osciloscopio Hantek 1008c y el CSF clamp multimeter MT 5211

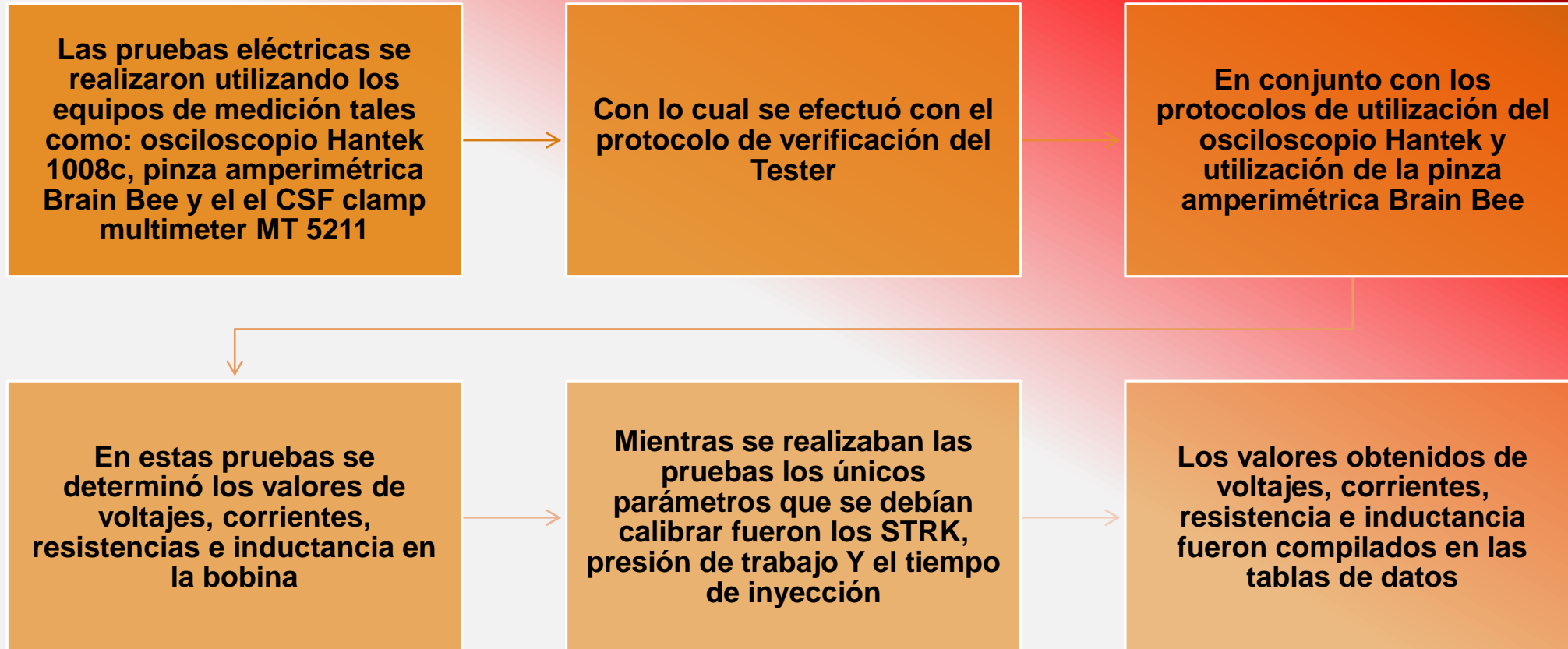
PRUEBAS

- Pruebas Mecánicas – Hidráulicas
- Pruebas Eléctricas
- Grados de activación
- Ángulo de pulverización
- Presión de retorno
- Parámetros del inyector

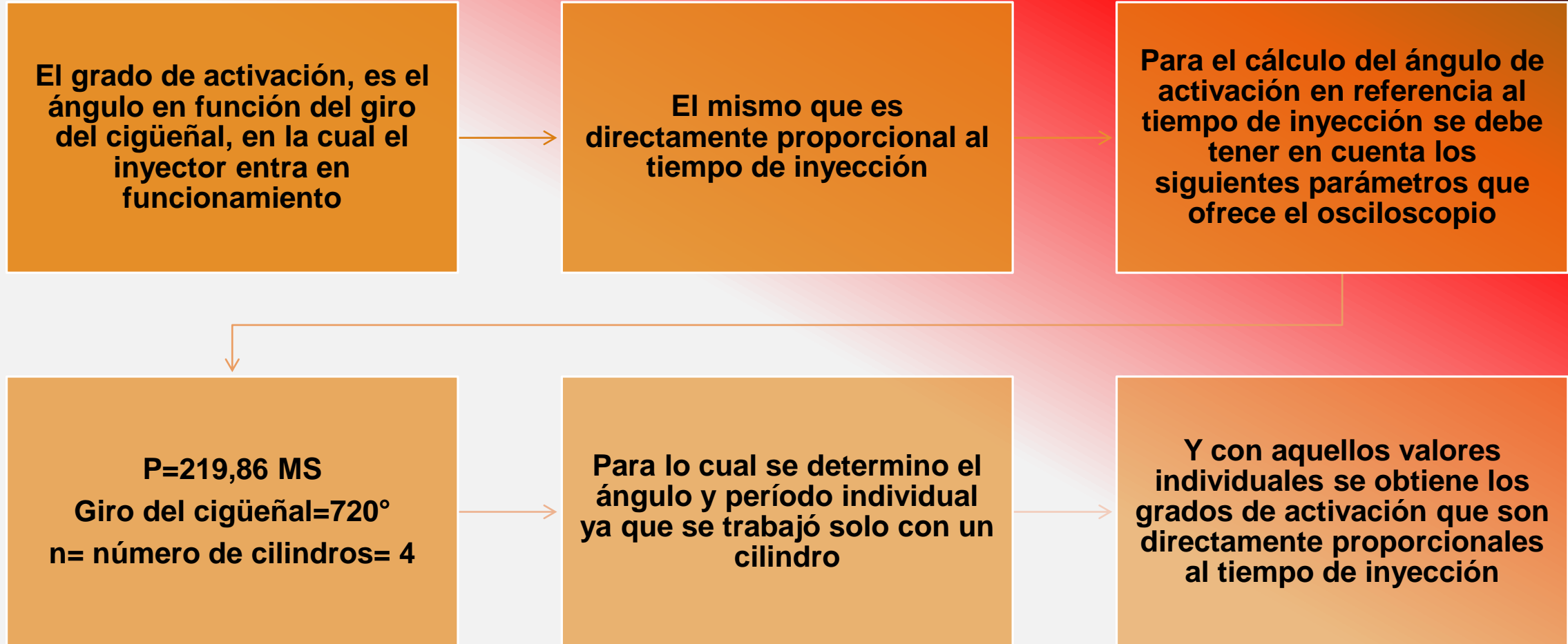
Pruebas mecánicas - hidráulicas



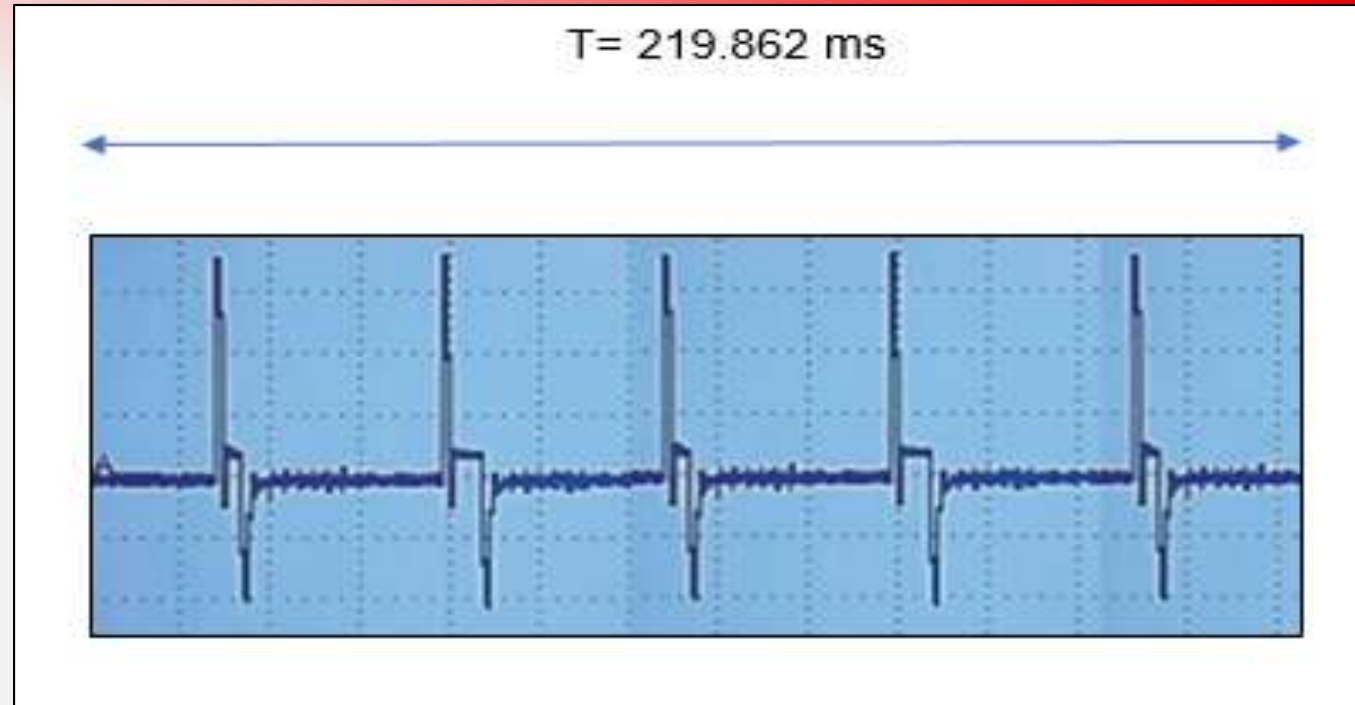
Pruebas eléctricas



Grados de Activación



Grados de Activación



El período es de 219.862 ms valor total para 4 cilindros, es fundamental calcular los valores para un solo cilindro debido a que el análisis es para un inyector.

Grados de Activación

Ángulo individual.

$$\varphi_1 = \text{ángulo individual}$$

$$\varphi_1 = \frac{\varphi}{n}$$

Ángulo individual.

$$\varphi_1 = \frac{720^\circ}{4}$$

$$\varphi_1 = 180^\circ$$

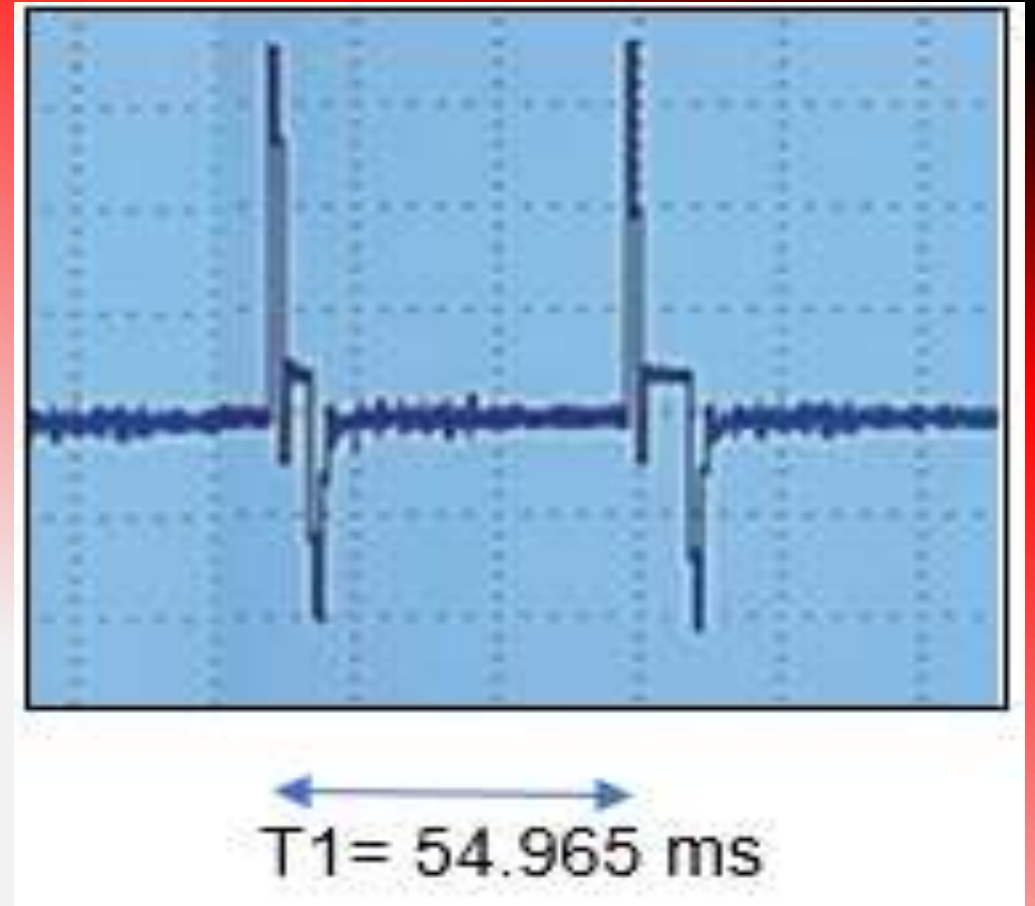
Periodo individual.

$$T_1 = \frac{T}{n}$$

Período individual.

$$T_1 = \frac{219,862 \text{ ms}}{4}$$

$$T_1 = 54,965 \text{ ms}$$



Grados de Activación

Para un $ti_1 = 0,25\ ms$

$$\varphi_{ti_1} = \frac{0,25ms * 180^\circ}{54.965ms}$$

$$\varphi_{ti_1} = 0,819^\circ$$

Para un $ti_2 = 0,50\ ms$

$$\varphi_{ti_2} = \frac{0,50ms * 180^\circ}{54.965ms}$$

$$\varphi_{ti_2} = 1,637^\circ$$

Para un $ti_3 = 1\ ms$

$$\varphi_{ti_3} = \frac{1ms * 180^\circ}{54.965ms}$$

$$\varphi_{ti_3} = 3,275^\circ$$

Para un $ti_4 = 1.5\ ms$

$$\varphi_{ti_4} = \frac{1.5ms * 180^\circ}{54.965ms}$$

$$\varphi_{ti_4} = 4.912^\circ$$

Para un $ti_5 = 2\ ms$

$$\varphi_{ti_5} = \frac{2ms * 180^\circ}{54.965ms}$$

$$\varphi_{ti_5} = 6.550^\circ$$

Para el tiempo de disparo de 0.090 ms.

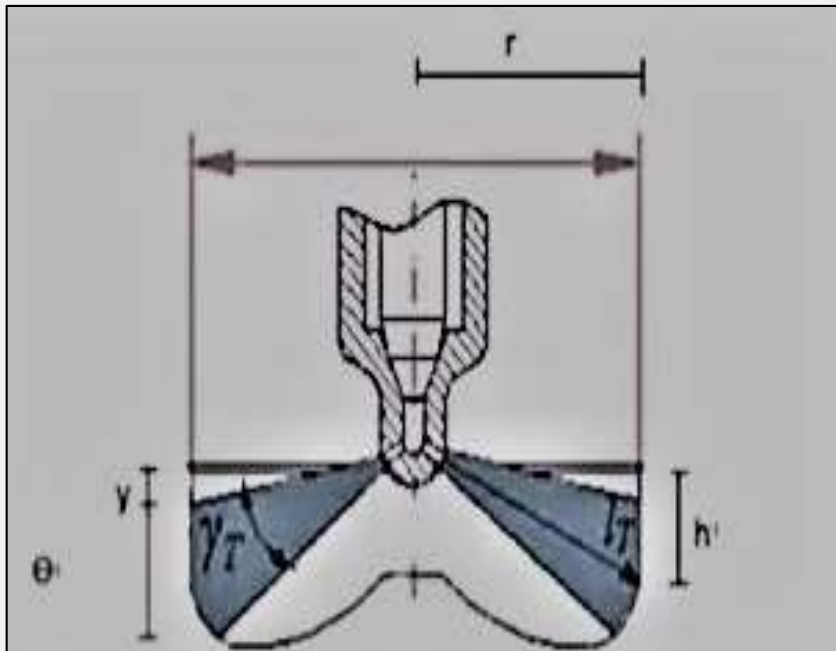
$$\varphi_{\text{tiempo de disparo}} = \frac{\text{tiempo de disparo} * 180^\circ}{54.965}$$

$$\varphi_{\text{tiempo de disparo}} = \frac{0.090ms * 180^\circ}{54.965ms}$$

$$\varphi_{\text{tiempo de disparo}} = 0,295^\circ$$

Ángulo de Pulverización

- Se debe llevar a cabo el protocolo de cálculo de ángulo de pulverización para la toma de datos necesarios del cálculo del ángulo de pulverización
- Para el ángulo de pulverización realizar los siguientes cálculos tomando en cuenta los datos de la cápsula del Tester V – 3500.



Datos:

$h = \text{altura}$

$r = \text{radio del cilindro}$

$\theta = \text{diámetro del chorro}$

$l_T = \text{ángulo de disparo}$

$\gamma_T = \text{ángulo de dispersión}$

$Y = \text{Diferencia de alturas}$

ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Pruebas Mecánicas – Hidráulicas
- Pruebas Eléctricas
- Grados de activación
- Ángulo de pulverización
- Presión de retorno
- Parámetros del inyector

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Inyector CRDI BOSCH 0445110126



BOSCH

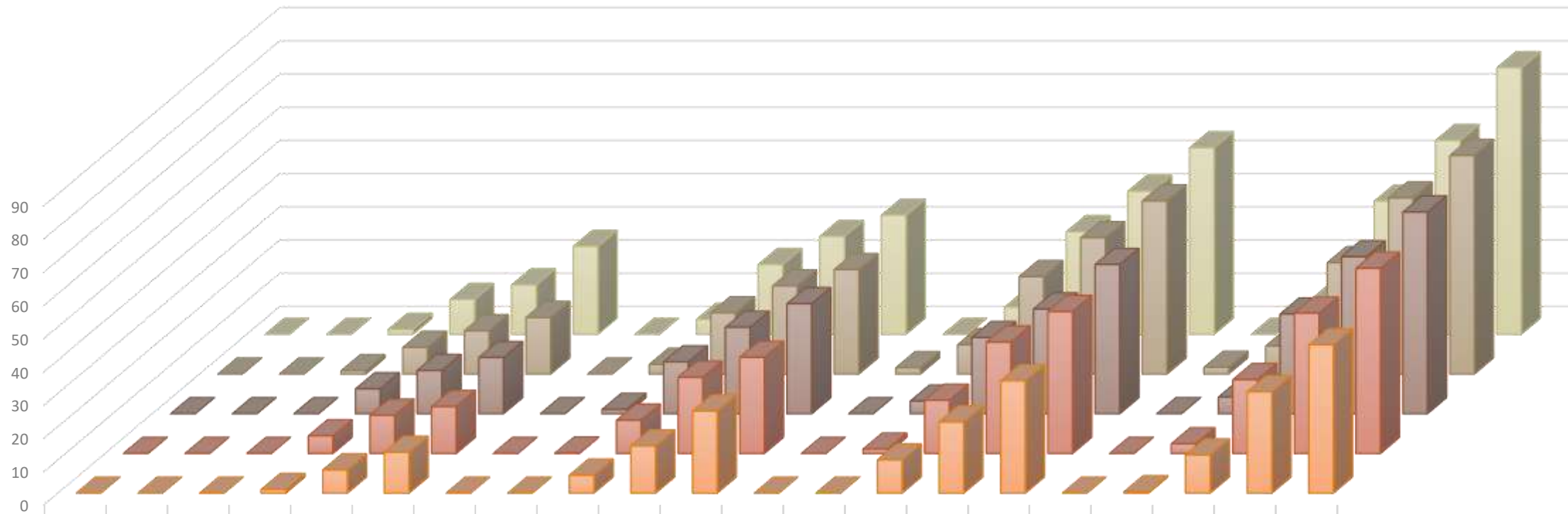


Análisis comparativo de los caudales de inyección del inyector CRDI Bosch 0445110126

		300 bar	400 bar	500 bar	600 bar	700 bar
STRK	Tiempo de inyección	Caudal de Inyección	Caudal de Inyección	Caudal de Inyección	Caudal de Inyección	Caudal de Inyección
N° de inyecciones	Ms	(mm3)	(mm3)	(mm3)	(mm3)	(mm3)
250	0,25	0	0	0	0	0
250	0,5	0	0	0	1	1,5
250	1	1,1	5,3	7,5	8	10,5
250	1,5	7	11,5	13	13	14,9
250	2	12,3	14,1	16,9	17	26,5
500	0,25	0	0	0	0	0
500	0,5	0	0,1	1,3	2,9	4,5
500	1	5,4	10	15,6	18,4	21
500	1,5	14,2	22,9	26	26,5	29,5
500	2	24,7	28,9	33,1	31,4	35,9
750	0,25	0	0	0	1,9	0
750	0,5	0	1,3	3,8	8,8	8,2
750	1	10	16	22,9	29,3	30,9
750	1,5	21,4	33,5	31,5	41	43,1
750	2	33,8	42,7	44,9	52,1	56,2
990	0,25	0	0	0	2	0
990	0,5	0,4	2,9	5	8,4	11
990	1	11,5	22,2	30	33,5	40,1

Análisis comparativo de los caudales de inyección del inyector CRDI Bosch 0445110126

Caudales de inyección con variación del número de inyecciones y número de STRK a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión



	ms	0,25	0,5	1	1,5	2	0,25	0,5	1	1,5	2	0,25	0,5	1	1,5	2	0,25	0,5	1	1,5	2
	STRK	250	250	250	250	250	500	500	500	500	500	750	750	750	750	750	990	990	990	990	990
■ Caudal de Inyección 300 bar	0	0	0	1,1	7	12,3	0	0	5,4	14,2	24,7	0	0	10	21,4	33,8	0	0,4	11,5	30,5	44,6
■ Caudal de Inyección 400 bar	0	0	0	5,3	11,5	14,1	0	0,1	10	22,9	28,9	0	1,3	16	33,5	42,7	0	2,9	22,2	42,2	55,7
■ Caudal de Inyección 500 bar	0	0	0	7,5	13	16,9	0	1,3	15,6	26	33,1	0	3,8	22,9	31,5	44,9	0	5	30	47,2	60,7
■ Caudal de Inyección 600 bar	0	0	1	8	13	17	0	2,9	18,4	26,5	31,4	1,9	8,8	29,3	41	52,1	2	8,4	33,5	53	65,8
■ Caudal de Inyección 700 bar	0	0	1,5	10,5	14,9	26,5	0	4,5	21	29,5	35,9	0	8,2	30,9	43,1	56,2	0	11	40,1	58,4	80,3

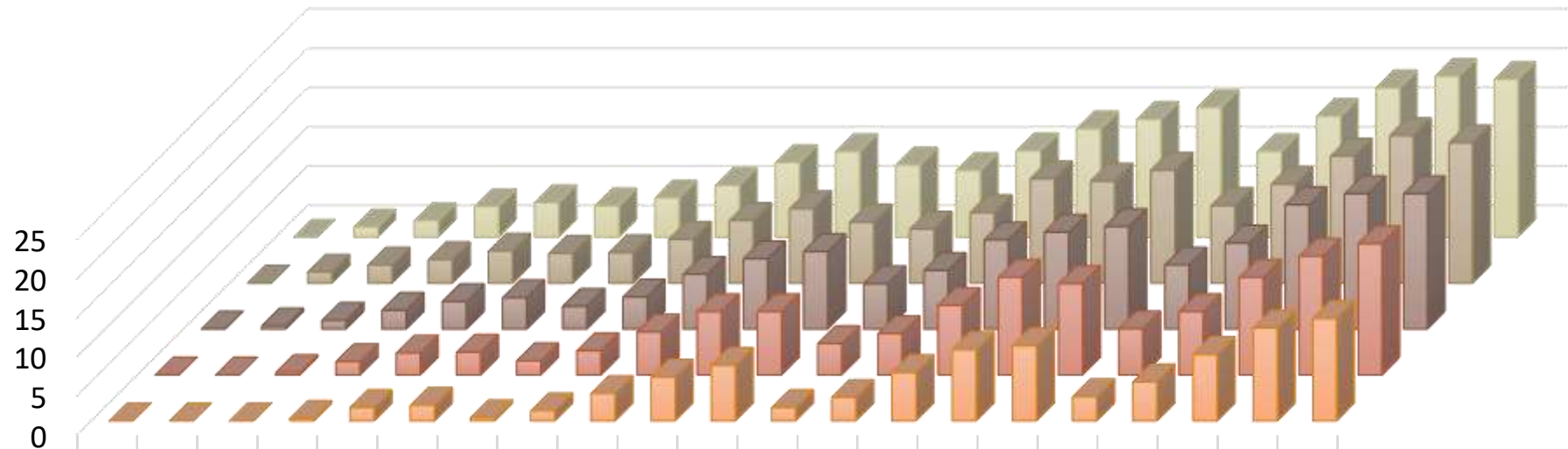
Análisis comparativo de los caudales de retorno del inyector CRDI Bosch 0445110126



	Tiempo de inyección	Caudal de retorno 300 bar	Caudal de retorno 400 bar	Caudal de retorno 500 bar	Caudal de retorno 600 bar	Caudal de retorno 700 bar
STRK	ms	(mm3)	(mm3)	(mm3)	(mm3)	(mm3)
250	0,25	0	0	0,4	1,4	1,3
250	0,5	0	0,3	1,1	2,3	2,1
250	1	0,3	1,7	2,4	3	3,9
250	1,5	1,7	2,8	3,5	4,1	4,4
250	2	2	2,9	4	3,8	4
500	0,25	0,4	1,8	2,9	3,9	5
500	0,5	1,3	3,1	4,1	5,6	6,6
500	1	3,5	5,5	7	8	9,5
500	1,5	5,6	8,1	9	9,5	10,9
500	2	7,1	8,1	9,9	7,8	9,2
750	0,25	1,7	4	5,8	6,9	8,5
750	0,5	3	5,3	7,5	9	11
750	1	6,2	8,9	11,4	13,3	13,8
750	1,5	9,1	12,5	12,4	13	15
750	2	9,6	11,7	13,1	14,4	16,5
990	0,25	3,1	5,9	8,2	9,9	10,9
990	0,5	5	8,1	11	12,6	15,4
990	1	8,5	12,5	15,9	16,2	19
990	1,5	11,9	15,2	17,3	18,8	20,5

Análisis comparativo de los caudales de retorno del inyector CRDI Bosch 0445110126

CAUDALES DE RETORNO CON VARIACIÓN DE NÚMERO DE INYECCIONES Y STRK

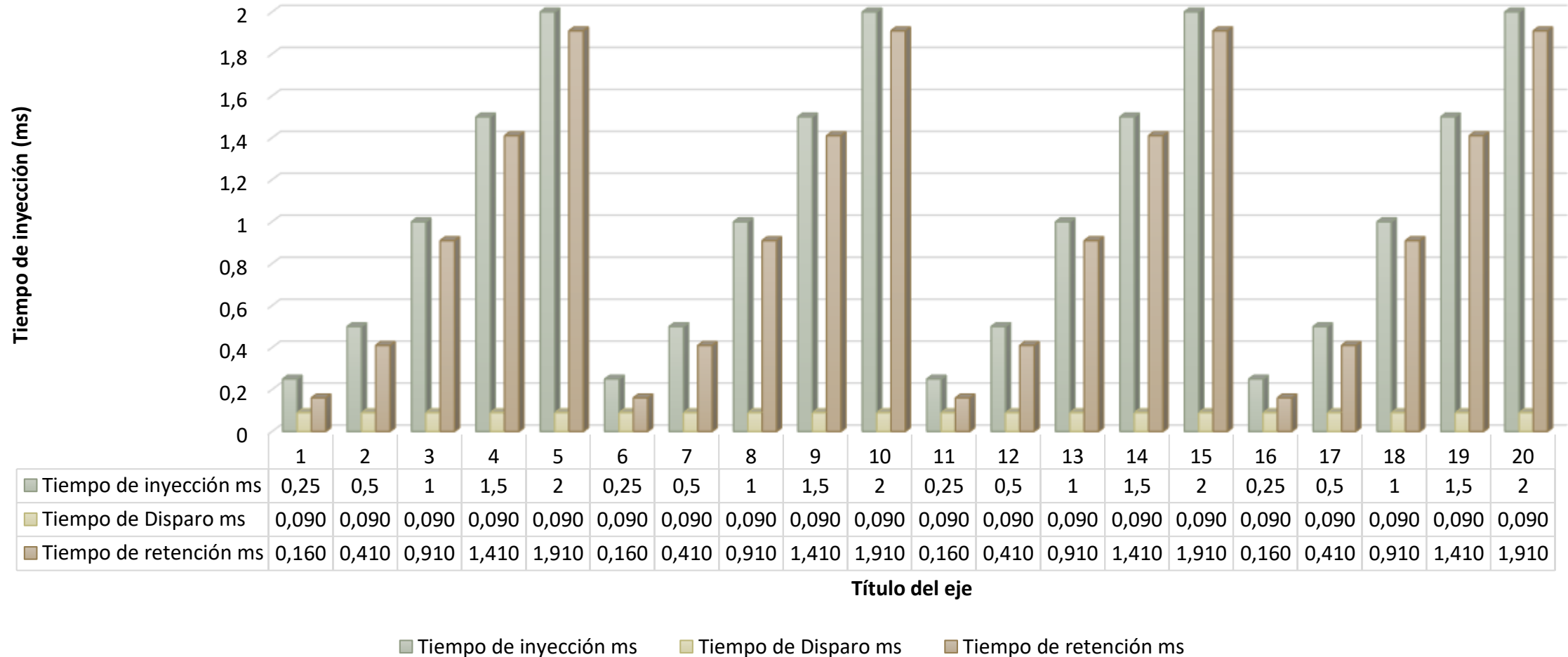


ms	0,2	0,5	1	1,5	2	0,2	0,5	1	1,5	2	0,2	0,5	1	1,5	2	0,2	0,5	1	1,5	2	
STR	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
K	250	250	250	250	250	500	500	500	500	500	750	750	750	750	750	990	990	990	990	990	
■ Caudal de retorno 300 bar	0	0	0	0,3	1,7	2	0,4	1,3	3,5	5,6	7,1	1,7	3	6,2	9,1	9,6	3,1	5	8,5	11,9	13,1
■ Caudal de retorno 400 bar	0	0	0,3	1,7	2,8	2,9	1,8	3,1	5,5	8,1	8,1	4	5,3	8,9	12,5	11,7	5,9	8,1	12,5	15,2	16,8
■ Caudal de retorno 500 bar	0	0,4	1,1	2,4	3,5	4	2,9	4,1	7	9	9,9	5,8	7,5	11,4	12,4	13,1	8,2	11	15,9	17,3	17,3
■ Caudal de retorno 600 bar	0	1,4	2,3	3	4,1	3,8	3,9	5,6	8	9,5	7,8	6,9	9	13,3	13	14,4	9,9	12,6	16,2	18,8	17,9
■ Caudal de retorno 700 bar	0	1,3	2,1	3,9	4,4	4	5	6,6	9,5	10,9	9,2	8,5	11	13,8	15	16,5	10,9	15,4	19	20,5	20,1

Título del eje

Análisis y comparación de los Tiempos de inyección, disparo y retención inyector CRDI Bosch 0445110126

Número de inyecciones o STRK -Tiempo de inyección -Tiempo de disparo -Tiempo de retención a 300 bar de presión



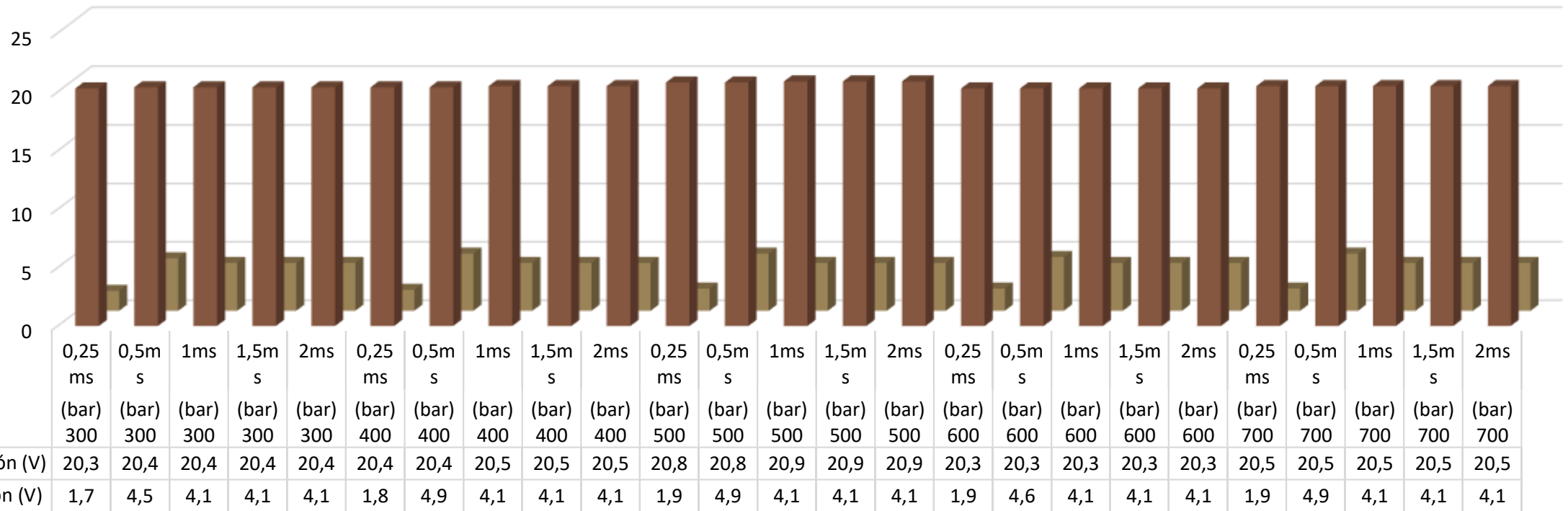
Análisis de las pruebas eléctricas del inyector CRDI Bosch 0445110126



Presión Prueba	Tiempo de inyección	Corriente de Activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención	Resistencia en la Bobina	Inductancia
(bar)	ms	(A)	(V)	(V)	(Ω)	(H)
300	0,25	26,8	20,3	1,7	0,5	164uH
300	0,5	26,7	20,4	4,5	0,5	164uH
300	1	26,6	20,4	4,1	0,5	164uH
300	1,5	26,6	20,4	4,1	0,5	164uH
300	2	26,6	20,4	4,1	0,5	164uH
400	0,25	26,9	20,4	1,8	0,5	164uH
400	0,5	27,2	20,4	4,9	0,5	164uH
400	1	27,4	20,5	4,1	0,5	164uH
400	1,5	27,1	20,5	4,1	0,5	164uH
400	2	27,3	20,5	4,1	0,5	164uH
500	0,25	27,8	20,8	1,9	0,5	164uH
500	0,5	27,2	20,8	4,9	0,5	164uH
500	1	27,8	20,9	4,1	0,5	164uH
500	1,5	27,9	20,9	4,1	0,5	164uH
500	2	27,7	20,9	4,1	0,5	164uH
600	0,25	29,8	20,3	1,9	0,5	164uH
600	0,5	29,9	20,3	4,6	0,5	164uH
600	1	29,8	20,3	4,1	0,5	164uH
600	1,5	29,6	20,3	4,1	0,5	164uH
600	2	29,6	20,3	4,1	0,5	164uH
700	0,25	31,1	20,5	1,9	0,5	164uH
700	0,5	31	20,5	4,9	0,5	164uH
700	1	31,3	20,5	4,1	0,5	164uH
700	1,5	31,2	20,5	4,1	0,5	164uH

Análisis y comparación de los Tiempos de inyección, disparo y retención inyector CRDI Bosch 0445110126

Voltajes de inyección y activación



Oscilogramas de voltaje inyector Bosch 0445110126

(a) voltaje de activación

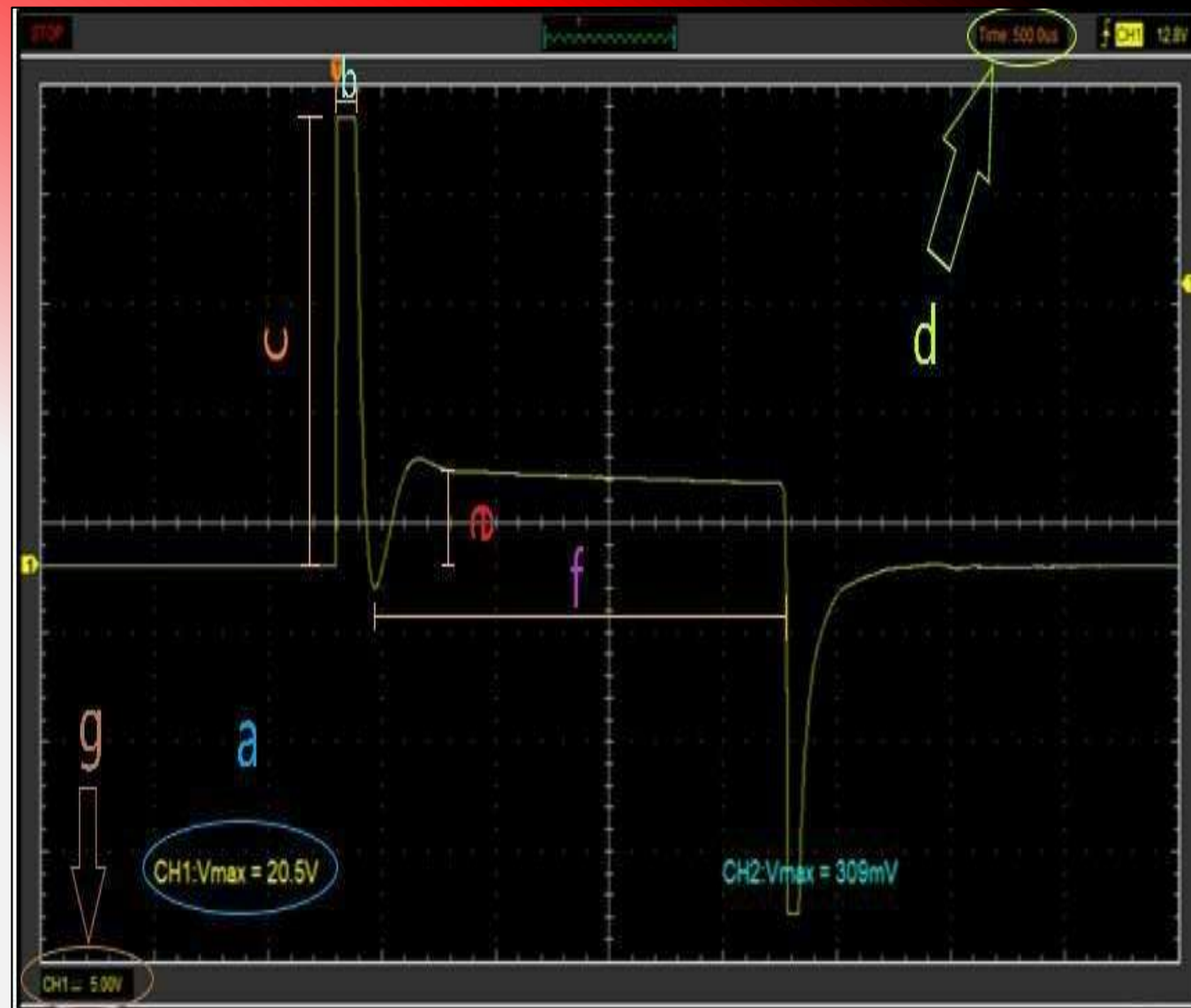
(b) distancia horizontal en donde representa el tiempo de inyección en ms

(c) distancia vertical representa el voltaje de activación en voltios

(d) es la calibración que permite realizar el osciloscopio para el eje de tiempo (abscisa), para el caso es de $500 \mu\text{s}$

(e) distancia vertical del valor para el voltaje de retención, (f) distancia que representa el tiempo de retención de inyección, dicho valor irá aumentando progresivamente en función del tiempo de inyección

(g) es la calibración que permite realizar el osciloscopio para el eje de voltaje (ordenada), para el caso es de 5V.

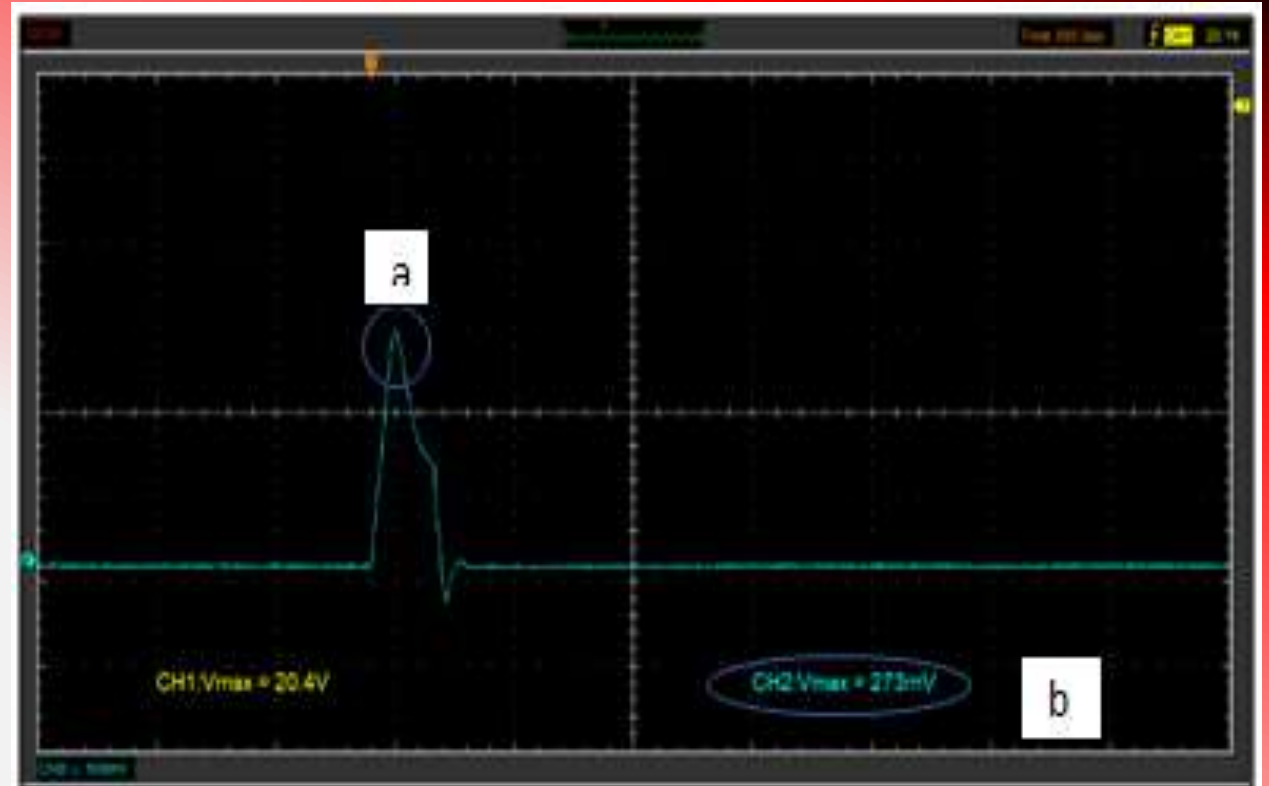


Oscilogramas de corriente inyector Bosch 0445110126

En el siguiente oscilograma se identifica las partes de la onda de corriente que emite el inyector.

(a) es el tiempo de disparo en la gráfica de corrientes

(b) es el valor de activación de la curva de corriente, para visualizar el valor de corriente ingresar a la opción messsaure, las unidades que emite son en mV en donde se transforma con la relación de 10 mV es igual a 1 amperio para obtener el valor de corriente.



Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 0.25 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110126.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 0.25 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.



Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 0.50 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110126.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 0.50 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.



Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110126.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 1 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 μ s para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.



Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1,5 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110126.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 1.5 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.



Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110126.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 2 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.

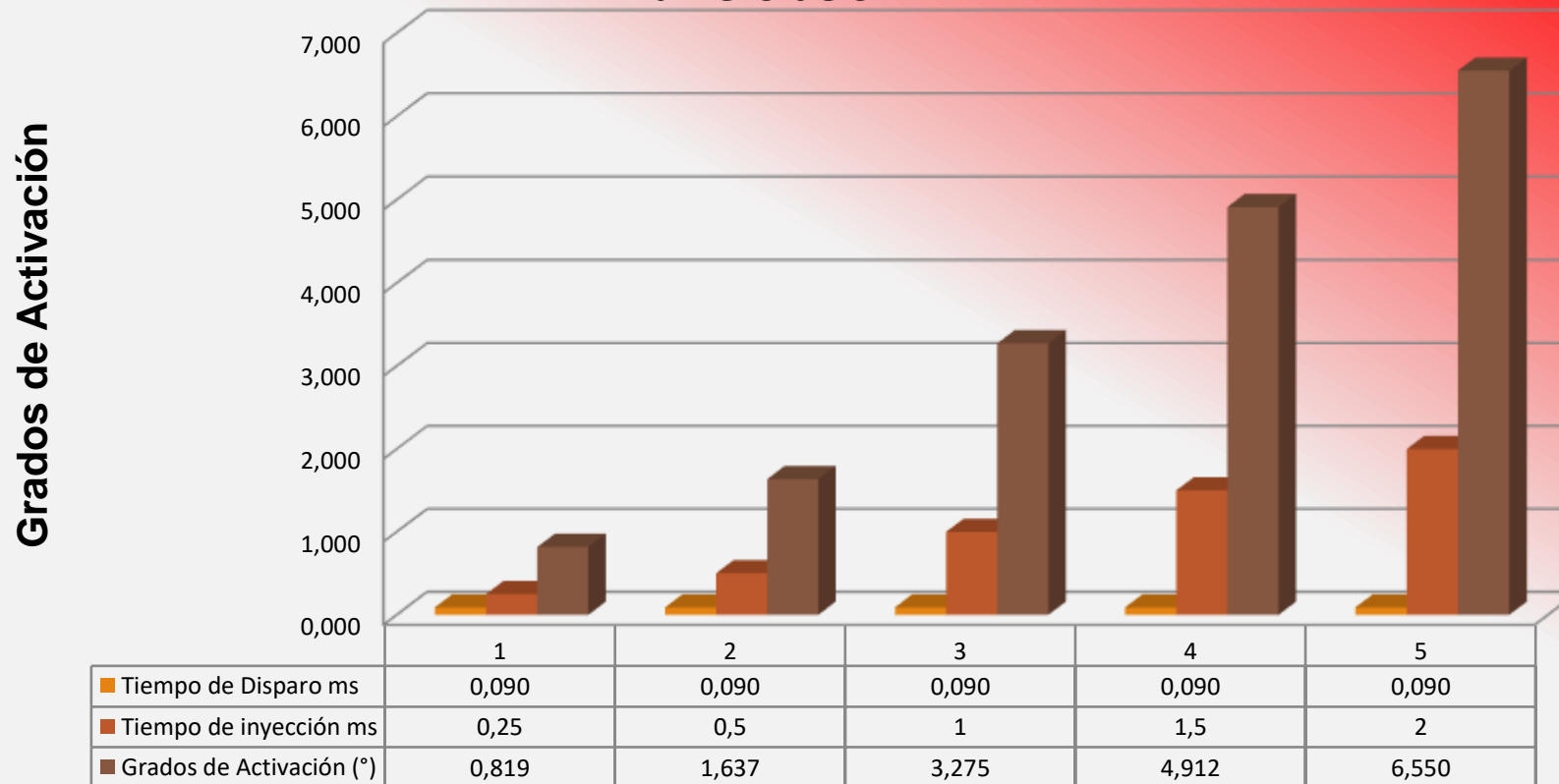


Análisis de los grados de activación con respecto al tiempo de activación y giro del cigüeñal / independientemente del valor de las presiones y el número de STRK.

Tiempo de inyección (ms)	Grados de activación (°)
0.25	0.82
0.50	1.64
1	3.28
1.50	4.91
2	6.55
Tiempo de disparo (ms)	Grado de activación (°)
0.09	0.3

Análisis de los grados de activación con respecto al tiempo de activación y giro del cigüeñal / independientemente del valor de las presiones y el número de STRK.

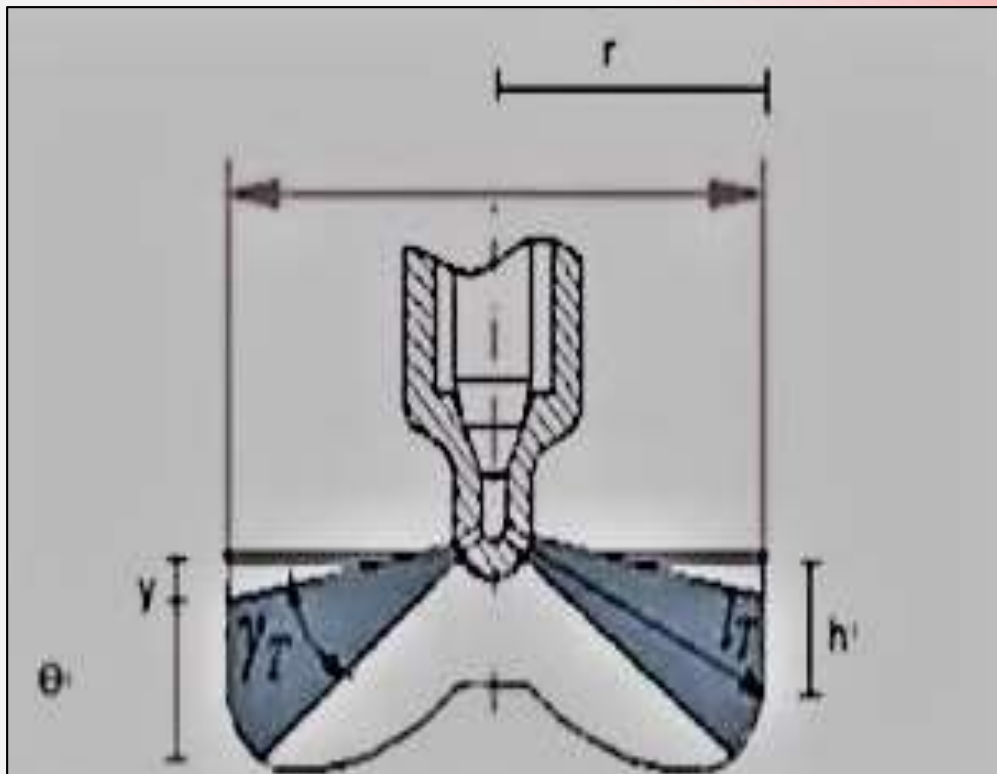
Grados de activación con respecto al tiempo de activación y giro del cigüeñal / independientemente del valor de las presiones y el número de STRK



Ángulo de pulverización del inyector CRDI BOSCH

0445110126

Con los pasos realizados para la determinación de los ángulos de pulverización se obtuvo los siguientes datos



Datos:

$h = altura = 8,5mm$

$r = radio\ del\ cilindro = 34,60\ mm$

$\theta = diámetro\ del\ chorro = 6mm$

$I_T = ángulo\ de\ disparo$

$\gamma T = ángulo\ de\ dispersión$

$Y = Diferencia\ de\ alturas = 5,5mm$

Ángulo de pulverización del inyector CRDI BOSCH 0445110126

Ángulo de disparo

$$I_T \alpha = \arctan\left(\frac{8,5\text{mm}}{34,60\text{mm}}\right)$$

$$I_T = 13,8^\circ$$

Ángulo de dispersión

$$\gamma T \beta = \arctan\left(\frac{6\text{mm} + 5,5\text{mm}}{34,60}\right) - \arctan\left(\frac{5,5\text{mm}}{34,60\text{mm}}\right)$$

$$\gamma T \beta = 9,33^\circ$$

CRDI BOSCH 0445110126	
Ángulo de disparo	13,8°
Ángulo de dispersión	9,33°

Presión de retorno del inyector CRDI BOSCH 0445110126

Para conseguir la presión del caudal de retorno se utilizó un manómetro de paso de combustible, y se requirió seguir el protocolo de obtención de la presión de retorno. Para el inyector BOSCH 0445110126 la presión de retorno que fue establecida se menciona en la siguiente tabla:



Inyector	Marca	Medida	Unidades
0445110126	BOSCH	2,8	bar

Parámetros del inyector CRDI Bosch 0445110126

Indicador	Ítem	Técnica	Medición
Presión máxima de prueba	Bar	Medición (Tester VNP-3500)	700
Presión mínima de prueba	Bar	Medición (Tester VNP-3500)	300
Número de orificios del inyector	#	Visualización inyector	6
Presión de retorno	Bar	Medición (manómetro)	2.2
Ángulo de dispersión	°	Cálculo (Datos obtenidos)	9,33
Ángulo de disparo	°	Cálculo (Datos obtenidos)	13,8
Bomba	#	Investigación (especificaciones)	0 445 010 279
Tobera	#	Investigación (especificaciones)	DLLA150P1511

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Inyector CRDI BOSCH 0445110293



BOSCH



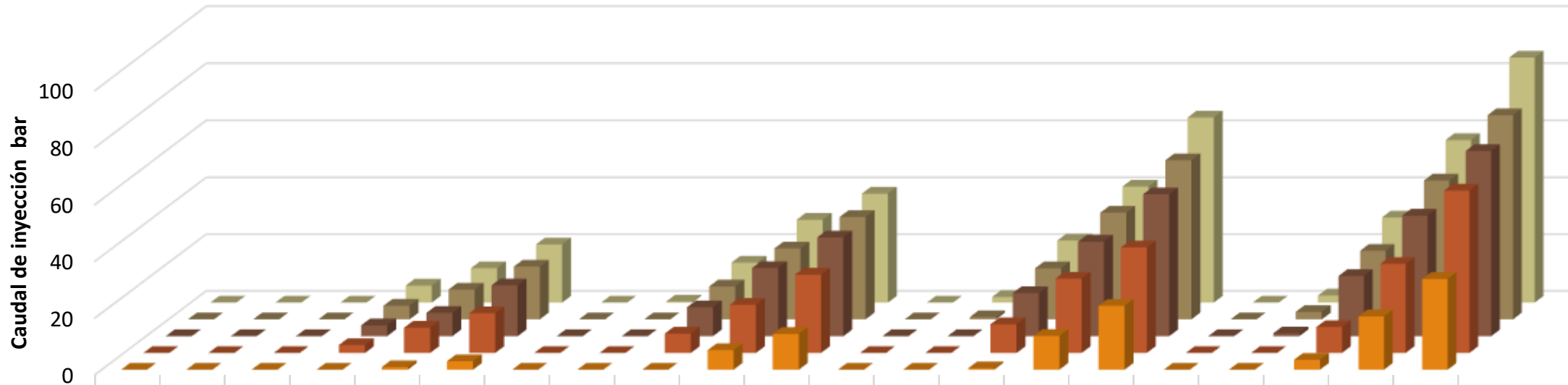
Análisis comparativo de los caudales de inyección del inyector CRDI Bosch 0445110293



	Tiempo de inyección	Caudal de Inyección 300 bar	Caudal de Inyección 400 bar	Caudal de Inyección 500 bar	Caudal de Inyección 600 bar	Caudal de Inyección 700 bar
STRK	ms	(mm3)	(mm3)	(mm3)	(mm3)	(mm3)
250	0,25	0	0	0	0	0
250	0,5	0	0	0	0	0
250	1	0	2,8	3,8	4,8	6
250	1,5	0,9	8,9	8,2	10,5	12,1
250	2	3	14	17,9	18,6	20,5
500	0,25	0	0	0	0	0
500	0,5	0	0	0	0	0,4
500	1	0	6,8	10,2	11,6	14,1
500	1,5	6,9	17	24	25	29,2
500	2	12,6	27,6	34,8	36,1	38,4
750	0,25	0	0	0	0	0
750	0,5	0	0	0	0,8	2
750	1	0,5	10,1	15,2	18	21,9
750	1,5	11,9	26,2	33,3	37,6	40,9
750	2	22,5	37,2	50	56	65,1
990	0,25	0	0	0	0	0
990	0,5	0	0	1	2,6	2,5
990	1	3,5	9,1	21,2	24,2	30
990	1,5	18,8	31,4	42,5	48,9	57,2
990	2	32	57,2	65,2	71,8	86,1

Análisis comparativo de los caudales de inyección del inyector CRDI Bosch 0445110293

Tiempo de inyección -Número de inyecciones STRK -Caudal de inyección a (300, 400, 500, 600, 700)bar de presión



	ms	0,25	0,5	1	1,5	2	0,25	0,5	1	1,5	2	0,25	0,5	1	1,5	2	0,25	0,5	1	1,5	2
	STRK	250	250	250	250	250	500	500	500	500	500	750	750	750	750	750	990	990	990	990	990
■ Caudal de Inyección 300 bar		0	0	0	0,9	3	0	0	0	6,9	12,6	0	0	0,5	11,9	22,5	0	0	3,5	18,8	32
■ Caudal de Inyección 400 bar		0	0	2,8	8,9	14	0	0	6,8	17	27,6	0	0	10,1	26,2	37,2	0	0	9,1	31,4	57,2
■ Caudal de Inyección 500 bar		0	0	3,8	8,2	17,9	0	0	10,2	24	34,8	0	0	15,2	33,3	50	0	1	21,2	42,5	65,2
■ Caudal de Inyección 600 bar		0	0	4,8	10,5	18,6	0	0	11,6	25	36,1	0	0,8	18	37,6	56	0	2,6	24,2	48,9	71,8
■ Caudal de Inyección 700 bar		0	0	6	12,1	20,5	0	0,4	14,1	29,2	38,4	0	2	21,9	40,9	65,1	0	2,5	30	57,2	86,1

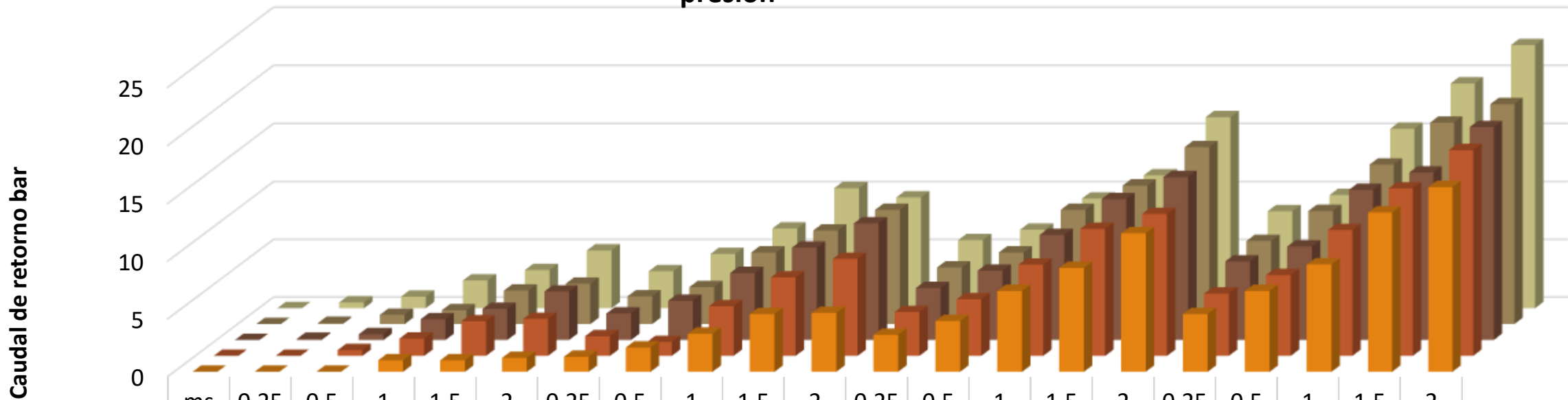
Análisis comparativo de los caudales de retorno del inyector CRDI Bosch 0445110293



	Tiempo de inyección	Caudal Retorno 300 bar	Caudal Retorno 400 bar	Caudal Retorno 500 bar	Caudal Retorno 600 bar	Caudal Retorno 700 bar
	ms	(mm3)	(mm3)	(mm3)	(mm3)	(mm3)
STRK						
250	0,25	0	0	0,1	0,1	0,5
250	0,5	0	0,5	0,5	0,8	1
250	1	1	1,5	1,8	1,2	2,4
250	1,5	1	3	2,7	2,9	3,3
250	2	1,2	3,2	4,2	3,5	5
500	0,25	1,3	1,7	2,3	2,4	3,2
500	0,5	2,1	1,2	3,4	3,2	4,7
500	1	3,3	4,3	5,8	6,2	6,9
500	1,5	5	6,8	8	8,1	10,4
500	2	5,1	8,4	10,1	9,9	9,6
750	0,25	3,2	3,8	4,5	4,9	5,9
750	0,5	4,4	4,9	6	6,2	6,8
750	1	7	7,9	9,1	9,9	9,5
750	1,5	9	11	12,2	12	11,5
750	2	12	12,3	14,1	15,3	16,5
990	0,25	5	5,4	6,8	7,2	8,4
990	0,5	7	7	8,1	9,8	9,8
990	1	9,3	10,9	13	13,8	15,5
990	1,5	13,8	14,5	14,5	17,4	19,4
990	2	16	17,8	18,4	19	22,7

Análisis comparativo de los caudales de retorno del inyector CRDI Bosch 0445110293

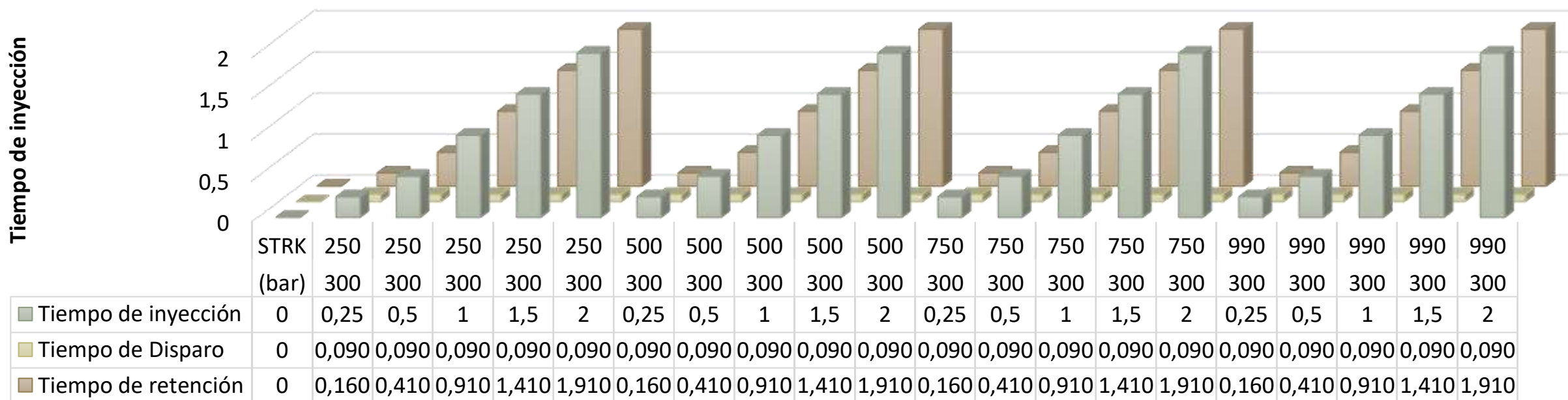
Tiempo de inyección -Número de Inyecciones STRK -Caudal de retorno a (300, 400, 500, 600, 700)bar de presión



	ms	0,25	0,5	1	1,5	2	0,25	0,5	1	1,5	2	0,25	0,5	1	1,5	2	0,25	0,5	1	1,5	2
	STRK	250	250	250	250	250	500	500	500	500	500	750	750	750	750	750	990	990	990	990	990
■ Caudal Retorno 300 bar	0	0	0	1	1	1,2	1,3	2,1	3,3	5	5,1	3,2	4,4	7	9	12	5	7	9,3	13,8	16
■ Caudal Retorno 400 bar	0	0	0,5	1,5	3	3,2	1,7	1,2	4,3	6,8	8,4	3,8	4,9	7,9	11	12,3	5,4	7	10,9	14,5	17,8
■ Caudal Retorno 500 bar	0	0,1	0,5	1,8	2,7	4,2	2,3	3,4	5,8	8	10,1	4,5	6	9,1	12,2	14,1	6,8	8,1	13	14,5	18,4
■ Caudal Retorno 600 bar	0	0,1	0,8	1,2	2,9	3,5	2,4	3,2	6,2	8,1	9,9	4,9	6,2	9,9	12	15,3	7,2	9,8	13,8	17,4	19
■ Caudal Retorno 700 bar	0	0,5	1	2,4	3,3	5	3,2	4,7	6,9	10,4	9,6	5,9	6,8	9,5	11,5	16,5	8,4	9,8	15,5	19,4	22,7

Análisis y comparación de los Tiempos de inyección, disparo y retención inyector CRDI Bosch 0445110293

Número de inyecciones o STRK -Tiempo de inyección -Tiempo de disparo -Tiempo de retención a 300 bar de presión



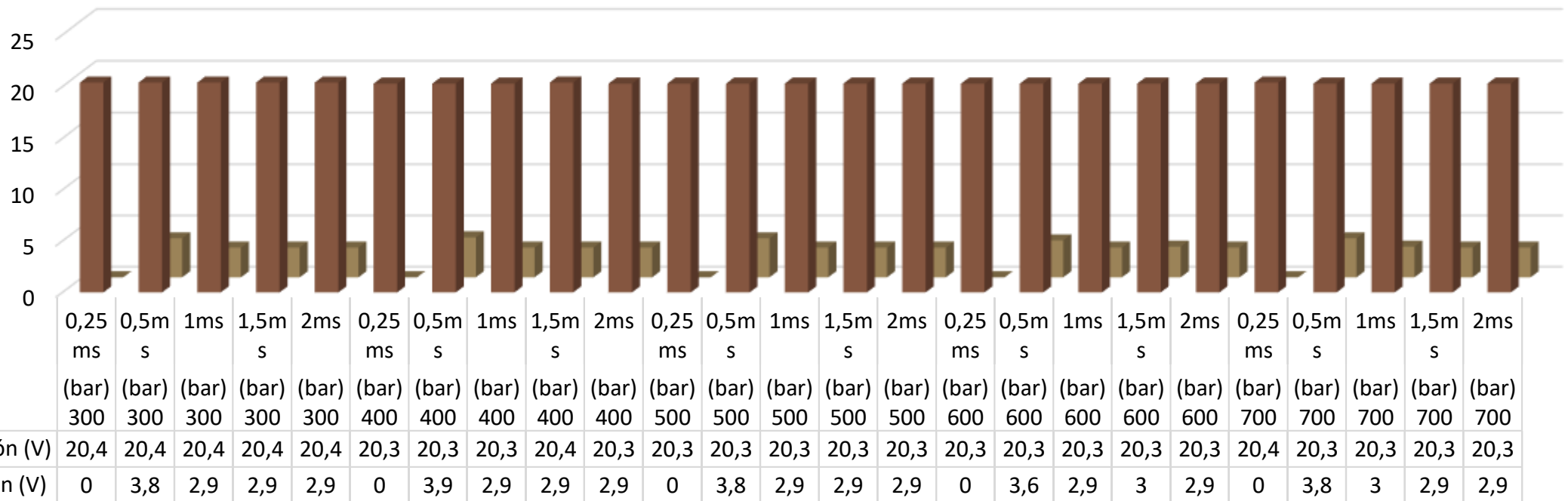
Análisis de las pruebas eléctricas del inyector CRDI Bosch 0445110293



Presión Prueba	Tiempo de inyección	Corriente de Activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención	Resistencia en la Bobina	Inductancia
(bar)	ms	(A)	(V)	(V)	(Ω)	(H)
300	0,25	30	20,4	0	0,5	228 uH
300	0,5	30	20,4	3,8	0,5	228 uH
300	1	29,4	20,4	2,9	0,5	228 uH
300	1,5	29,9	20,4	2,9	0,5	228 uH
300	2	29,6	20,4	2,9	0,5	228 uH
400	0,25	29,4	20,3	0	0,5	228 uH
400	0,5	27,9	20,3	3,9	0,5	228 uH
400	1	28,6	20,3	2,9	0,5	228 uH
400	1,5	28,6	20,4	2,9	0,5	228 uH
400	2	28,6	20,3	2,9	0,5	228 uH
500	0,25	30,5	20,3	0	0,5	228 uH
500	0,5	30	20,3	3,8	0,5	228 uH
500	1	30,1	20,3	2,9	0,5	228 uH
500	1,5	29,3	20,3	2,9	0,5	228 uH
500	2	29,2	20,3	2,9	0,5	228 uH
600	0,25	32,3	20,3	0	0,5	228 uH
600	0,5	31,3	20,3	3,6	0,5	228 uH
600	1	31,7	20,3	2,9	0,5	228 uH
600	1,5	32	20,3	3	0,5	228 uH
600	2	31,4	20,3	2,9	0,5	228 uH
700	0,25	31,7	20,4	0	0,5	228 uH
700	0,5	31,1	20,3	3,8	0,5	228 uH
700	1	30,9	20,3	3	0,5	228 uH
700	1,5	31,2	20,3	2,9	0,5	228 uH

Análisis comparativo voltajes de inyección y retorno

ANÁLISIS COMPARATIVO VOLTAJES INYECCIÓN Y RETENCIÓN



Oscilogramas de corriente inyector Bosch 0445110293

En el siguiente oscilograma se identifica las partes de la onda de corriente que emite el inyector.

(a) es el tiempo de disparo en la gráfica de corrientes

(b) es el valor de activación de la curva de corriente, para visualizar el valor de corriente ingresar a la opción messsaure, las unidades que emite son en mV en donde se transforma con la relación de 10 mV es igual a 1 amperio para obtener el valor de corriente.



Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 0.25 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110293.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 0.25 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.



Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 0.50 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110293.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 0.50 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.



Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110293.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 1 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.



Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1,5 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110293.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 1.5 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.



Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110293.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 2 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.

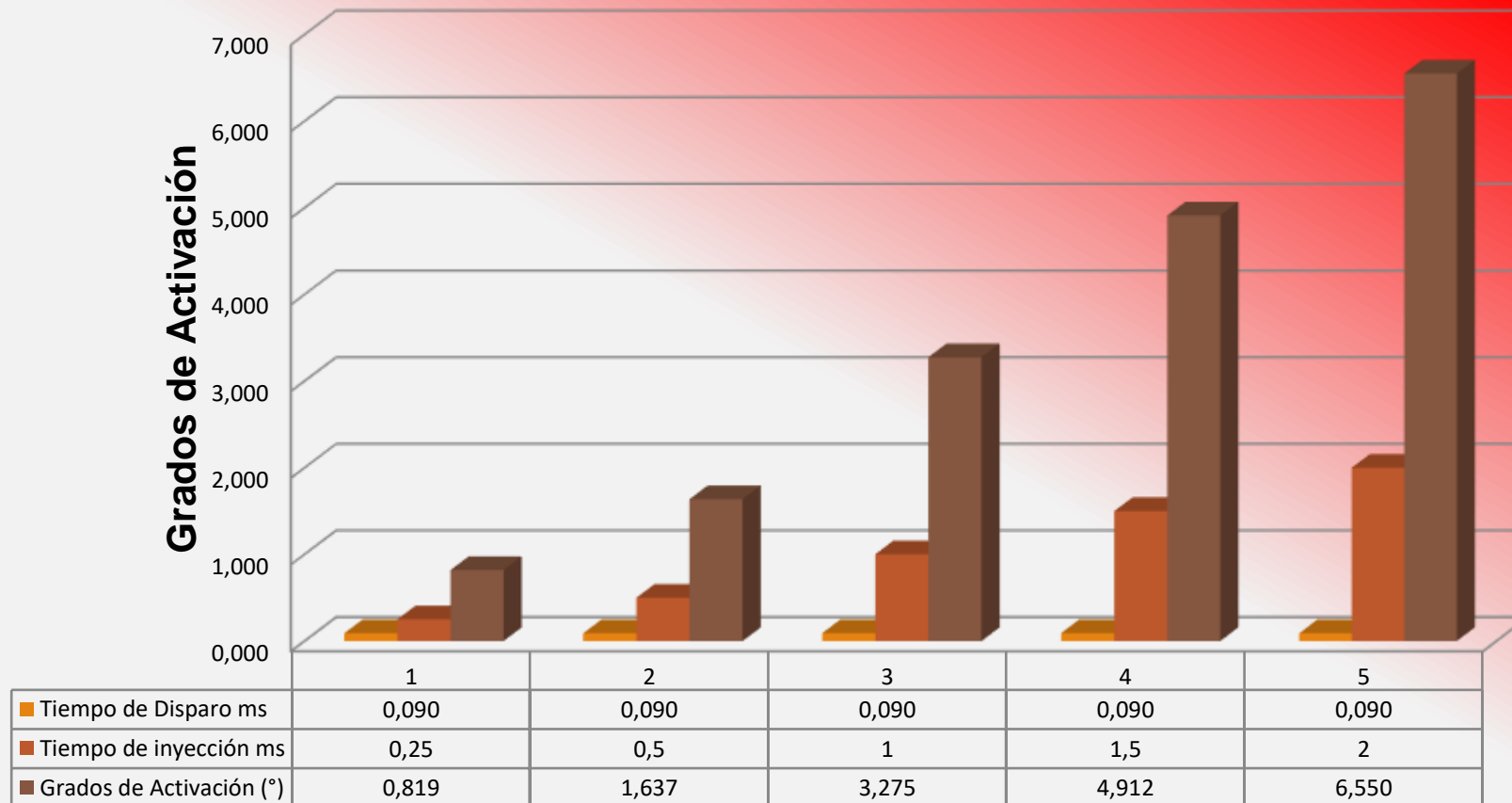


Análisis de los grados de activación con respecto al tiempo de activación y giro del cigüeñal

Tiempo de inyección (ms)	Grados de activación (°)
0.25	0.82
0.50	1.64
1	3.28
1.50	4.91
2	6.55
Tiempo de disparo (ms)	Grado de activación (°)
0.09	0.3

Análisis de los grados de activación con respecto al tiempo de activación y giro del cigüeñal

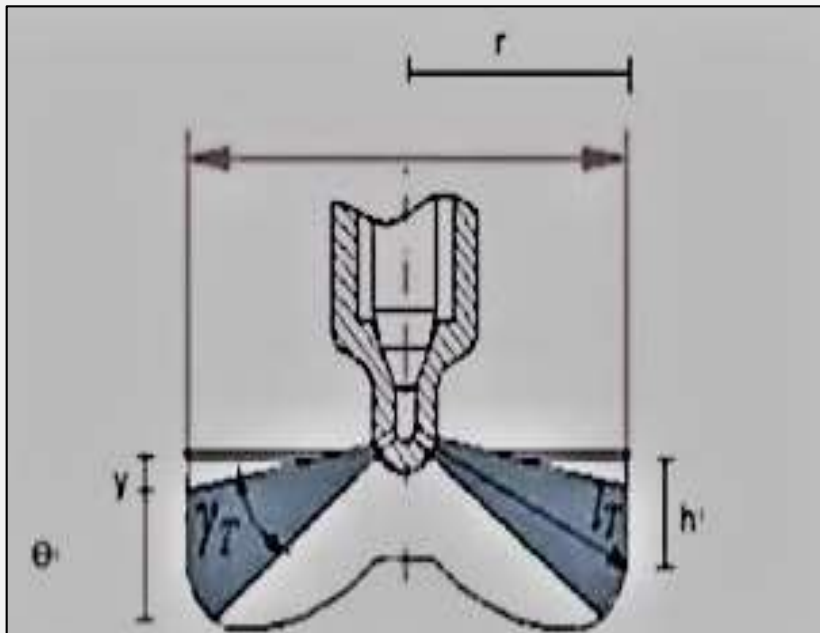
Grados de activación con respecto al tiempo de activación y giro del cigüeñal / independientemente del valor de las presiones y el número de STRK



Ángulo de pulverización del inyector CRDI

Bosch 0445110293

Para efectuar el cálculo del ángulo de pulverización es indispensable obtener los siguientes datos aplicando el protocolo establecido anteriormente.



- $h = altura = 11,5mm$
- $r = radio\ del\ cilindro = 34,60\ mm$
- $\theta = diámetro\ del\ chorro = 6\ mm$
- $I_T = ángulo\ de\ disparo$
- $\gamma T = ángulo\ de\ dispersión$
- $Y = Diferencia\ de\ alturas = 8,5mm$

Ángulo de pulverización del inyector

CRDI Bosch 0445110293

Ángulo de disparo

$$I_T \quad \alpha = \arctan\left(\frac{11,5\text{mm}}{34,60\text{mm}}\right)$$

$$I_T = 18,36^\circ$$

Ángulo de dispersión

$$\gamma T \quad \beta = \arctan\left(\frac{6\text{mm} + 8,5\text{mm}}{34,60}\right) - \arctan\left(\frac{8,5\text{mm}}{34,60\text{mm}}\right)$$

$$\gamma T \quad \beta = 8,94^\circ$$

Ángulo de disparo	18,36 °
Ángulo de dispersión	8,94 °

Presión de retorno del inyector Bosch 0445110293

Para medir la presión de retorno del fluido fue necesario un manómetro y seguir el protocolo establecido para dicha prueba

Marca	Inyector	Medida	Unidades
Bosch	0445110293	2.2	Bar



Parámetros del inyector CRDI Bosch 0445110293

Indicador	Ítem	Técnica	Medición
Presión máxima de prueba	Bar	Medición (Tester VNP-3500)	700
Presión mínima de prueba	Bar	Medición (Tester VNP-3500)	300
Número de orificios del inyector	#	Visualización inyector	6
Presión de retorno	Bar	Medición (manómetro)	2.2
Ángulo de dispersión	°	Cálculo (Datos obtenidos)	8,94 °
Ángulo de disparo	°	Cálculo (Datos obtenidos)	18,36 °
Bomba	#	Investigación (especificaciones)	0 445 010 159
Tobera	#	Investigación (especificaciones)	DLLA150P1666

Conclusiones



- Se analizó las fuentes bibliográficas, manuales y datos técnicos confiables sobre el sistema CRDI e inyectores Bosch, para el desarrollo del proyecto planteado.
- Se constató la marca y año de los vehículos haciendo uso de este tipo de inyectores marca Bosch.
- Se realizó el protocolo de pruebas para medir los parámetros mecánicos y eléctricos de los inyectores Bosch.
- Se estableció el tiempo de funcionamiento óptimo de los inyectores Bosch mediante la variación de parámetros de tiempo, número de inyecciones y presión.

Conclusiones

- Se ejecutaron pruebas mecánicas a los inyectores Bosch, las cuales son: pruebas de caudal y pulverización.
- Se realizaron las pruebas eléctricas correspondientes a los inyectores Bosch las cuales son: de corriente de activación, voltaje de activación, resistencia de la bobina e inductancia.
- Se tabulo los resultados obtenidos generando una base de datos de las variaciones de los tiempos de activación y de retención, así como de los voltajes respectivamente comparando los parámetros medidos

Conclusiones

- Se estableció que para cada prueba efectuada al inyector Bosch 0445110126, el caudal de inyección es directamente proporcional al número de inyecciones o STRK, presión y tiempo de inyección con un valor máximo de 80.3 mm^3 a 2ms de tiempo de inyección, 990 STRK y 700 bar de presión.
- Se comprobó que para cada prueba efectuada al inyector 0445110126, el caudal de retorno es directamente proporcional al número de inyecciones o STRK, presión y tiempo de inyección con un valor máximo de 20.5 mm^3 a 1.5ms de tiempo de inyección, 990 STRK y 700 bar de presión.
- Se determinó que para cada prueba efectuada al inyector 0445110126 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, se aprecia un valor máximo de corriente de activación de 32.1 A y un mínimo de 25.3 A.

Conclusiones



- Se estableció que las pruebas eléctricas efectuada al inyector 0445110126 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, el valor promedio de voltaje de activación es de 20.5 V.
- Se comprobó que las pruebas eléctricas efectuada al inyector 0445110126 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, el valor promedio de voltaje de retención es de 3.78 V.
- Se determinó que las pruebas eléctricas efectuada al inyector 0445110126 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, el valor de la resistencia e inductancia para el adecuado funcionamiento de la bobina emite un valor de 0.5Ω y $164 \mu\text{H}$ respectivamente dichos valores son constantes en los distintos parámetros de prueba.
- Se concluyó que en el inyector Bosch 0445110126 a diferentes parámetros de prueba, el tiempo de inyección es directamente proporcional al tiempo de retención, además que el tiempo de disparo se mantiene constante con un valor de 0,090 ms.

Conclusiones



- Se determinó que para cada prueba efectuada al inyector 0445110293, el caudal de inyección es directamente proporcional al número de inyecciones o STRK, presión y tiempo de inyección con un valor máximo de 86.1 mm^3 a 2ms de tiempo de inyección, 990 STRK y 700 bar de presión.
- Se comprobó que para cada prueba efectuada al inyector 04451101293, el caudal de retorno es directamente proporcional al número de inyecciones o STRK, presión y tiempo de inyección con un valor máximo de 22.7 mm^3 a 2ms de tiempo de inyección, 990 STRK y 700 bar de presión.
- Se estableció que para cada prueba efectuada al inyector 0445110293 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, se aprecia un valor máximo de corriente de activación de 33.6 A y un mínimo de 26.5 A.

Conclusiones

- Se determinó que las pruebas eléctricas efectuada al inyector 0445110293 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, el valor promedio de voltaje de activación es de 20.384 V.
- Se estableció que las pruebas eléctricas efectuada al inyector 0445110293 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, el valor promedio de voltaje de retención es de 2.504 V.
- Se comprobó que las pruebas eléctricas efectuada al inyector 0445110293 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, el valor de la resistencia e inductancia para el adecuado funcionamiento de la bobina emite un valor de 0.5 Ω y 228 μH respectivamente dichos valores son constantes en los distintos parámetros de prueba.
- Se concluyó que en el inyector Bosch 0445110293 a diferentes parámetros de prueba, el tiempo de inyección es directamente proporcional al tiempo de retención, además que el tiempo de disparo se mantiene constante con un valor de 0,090 ms.

RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar futuras investigaciones con variación de parámetros como número de inyecciones, tiempo de inyección y presiones esta última en intervalos de 100 hasta 900 bares de presión con la finalidad de obtener mayor base de datos e información a diferentes rangos establecidos.
- Obtener el ángulo de pulverización mediante imágenes sucesivas obteniendo un patrón específico para cada inyector y conocer la dimensión del chorro de inyección.
- Es recomendable efectuar investigaciones en inyectores piezo-eléctricos generando una base datos para este tipo de inyectores ya que en la actualidad no existe información de dichos inyectores.

RECOMENDACIONES

- Es importante para la realización de las pruebas en el TESTER VNP – 3500 CRDI que los inyectores sean adquiridos totalmente nuevos para obtener datos de valores o parámetros precisos, ya que en caso de que los inyectores sean remanufacturados ocasionará que los parámetros oscilen significativamente.
- Es necesario el uso de equipo de seguridad personal para evitar cualquier tipo de percance, que pueda resultar perjudicial para la integridad de los operadores de la máquina y equipos al momento de la realización de las pruebas dentro del laboratorio.
- Los racores deben ser colocados y ajustados con precisión previamente a la realización de las pruebas y de esta manera evitar cualquier tipo de fuga de combustible, ya que esto podría ocasionar daños en el circuito electrónico dentro del circuito electrónico del TESTER VNP – 3500 CRDI.

RECOMENDACIONES

- Es aconsejable no encender el banco de pruebas si los inyectores no están instalados con anterioridad, ya que esto podría ocasionar algún tipo de accidente puesto que la máquina trabaja con altas presiones.
- Una vez que se ha finalizado las pruebas y antes de retirar los inyectores es necesario purgar el sistema de presión al girar la válvula de presión en sentido anti horario, misma que se encuentra ubicada al costado derecho de la máquina y así proceder a desmontar los inyectores.