



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“ANÁLISIS DE DURABILIDAD DE LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN DEL INYECTOR DENSO 6521 DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI AL TRABAJAR CON LA MEZCLA COMBUSTIBLE OBTENIDO A PARTIR DEL ACEITE DE MOTOR RECICLADO”

AUTORES: RICARDO SANTIAGO ANALUISA TIPANTUÑA  
EDISON GEOVANNI VISCAINO DE LA CRUZ  
DIRECTOR: PhD. MARCOS GUTIÉRREZ

# GRUPO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

**SAEM R&D**

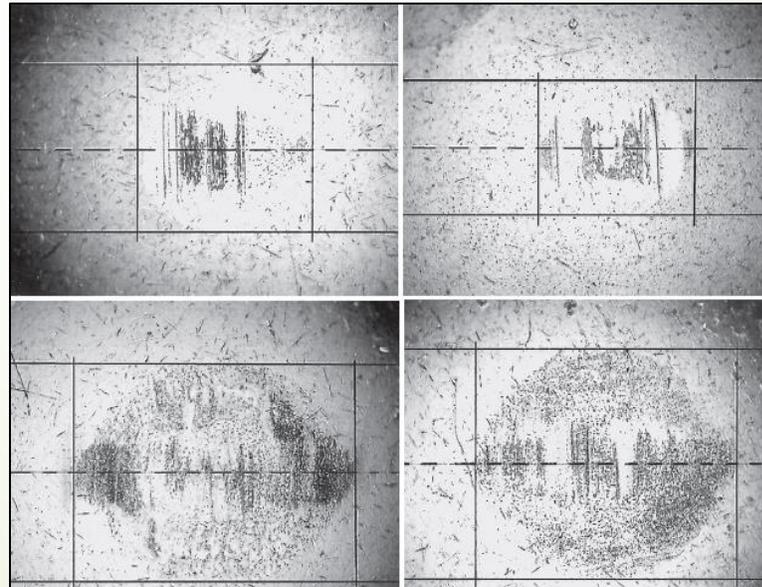


# ***ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS***

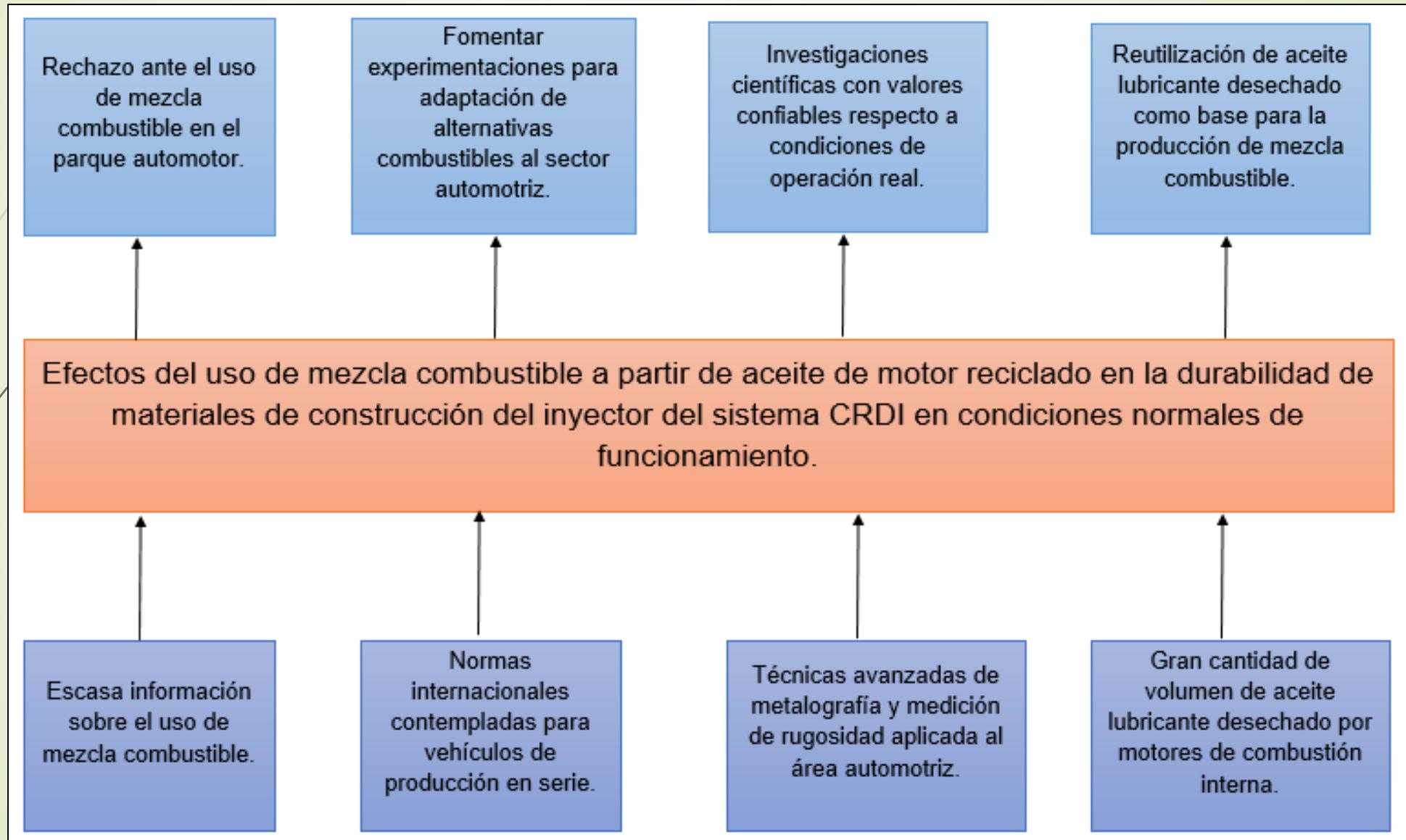
- Streitwieser A., Almeida, Guzmán F., Játiva, Ortega B., y Aguirre (2010) afirman que el manejo de aceites lubricantes usados, es en la actualidad, un grave problema medio ambiental. Por esta razón, desde los años 90 países y organizaciones alrededor del mundo han incentivado la investigación de métodos de reciclaje de aceites lubricantes usados.
- Según Rodríguez G. y Ribeiro M. (2000) la aplicación de combustibles alternativos en sistemas de inyección de motores de combustión interna es una de las opciones de fuentes de energía en la actualidad, se debe tener precaución en las propiedades de lubricidad que estos presentan al ser éste el medio de lubricación.

# ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

- Según Common Position Statement (2009) formada por los fabricantes de equipos de combustible diésel Delphi, Denso, Bosch, Continental y Stanadyne establecen que la lubricidad del combustible debe cumplir con el requisito de un diámetro de cicatriz de desgaste no mayor de 460 micras medida por la prueba HFRR especificada en ISO 12156-1.



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



## **OBJETIVO GENERAL**

- ➔ Analizar la durabilidad de los materiales de fabricación del inyector Denso 6521 del sistema de inyección CRDI al trabajar con mezcla combustible obtenido a partir del aceite de motor sintético reciclado para determinar la factibilidad en su aplicación como combustible en el sistema de inyección CRDI.

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

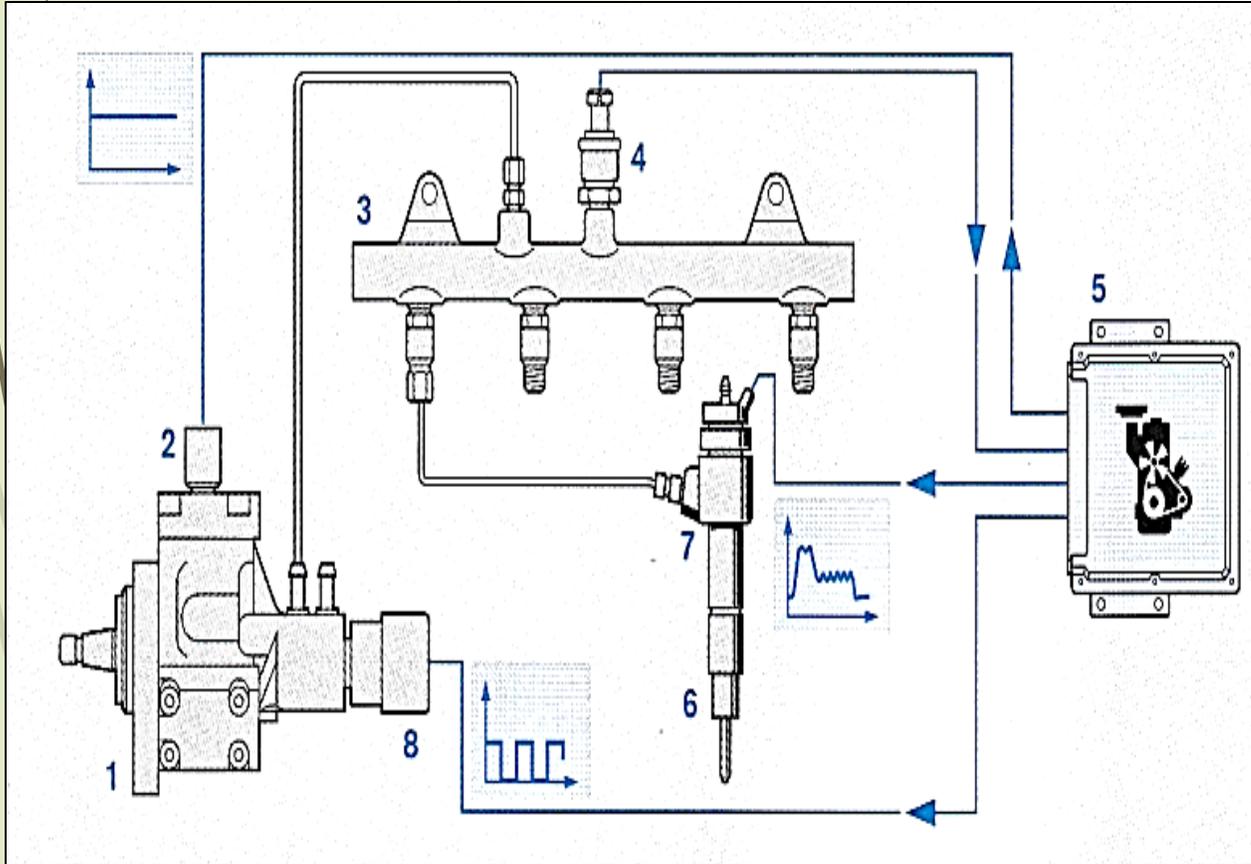
- Obtener la información teórica de fuentes confiables para el desarrollo y ejecución del proyecto de investigación.
- Generar la mezcla combustible, aplicando el proceso establecido en investigaciones anteriores.
- Realizar el protocolo de pruebas de durabilidad con mezcla combustible en los inyectores Denso 6521 en intervalos de 50, 100, 150 y 200 horas de funcionamiento con mezcla combustible.
- Realizar pruebas eléctricas de inductancia y resistencia a la bobina, volumen de inyección a carga completa, carga parcial, carga baja y volumen de retorno en los inyectores denso 6521.

- Visualizar la superficie de los elementos de los inyectores mediante un Microscopio Invertido.
- Verificar el estado de la superficie de los inyectores mediante valores rugosidad.
- Determinar los pesos de los elementos del inyector mediante balanza analítica.
- Analizar la durabilidad de los elementos del inyector al trabajar con mezcla combustible a partir de aceite de motor reciclado mediante comparación de medidas.
- Establecer la factibilidad del uso de mezcla combustible a partir de aceite de motor reciclado como fuente de energía alternativa.

# ***HIPÓTESIS***

- La mezcla combustible a base de aceite de motor usado aumentará la lubricidad del combustible incrementando la vida útil del inyector denso 6521 del sistema de inyección CRDI.

# SISTEMA COMMON RAIL



La presión en el riel de inyectores y con ello la presión de inyección, es generada por la bomba de alta presión de forma independiente de las revoluciones por minuto del motor y del caudal de inyección.

# COMBUSTIBLE

Diésel

Volatilidad

Peso Específico

Viscosidad

Poder Calorífico

Cetanaje

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN1493 Procedimiento A
$\varphi$ Contenido de agua y sedimento	%	-	0,05	NTE INEN 1494
<b>W</b> Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1491
<b>W</b> Contenido de cenizas	%	-	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40°C	$mm^2/s$	2,0	5,0	NTE INEN 810
<b>W</b> Contenido de azufre	%	-	0,7	ASTM D4294
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación		No.3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiesel, $\varphi_{B\text{diésel}}$	%	...	5	EN 14078
		Nota		

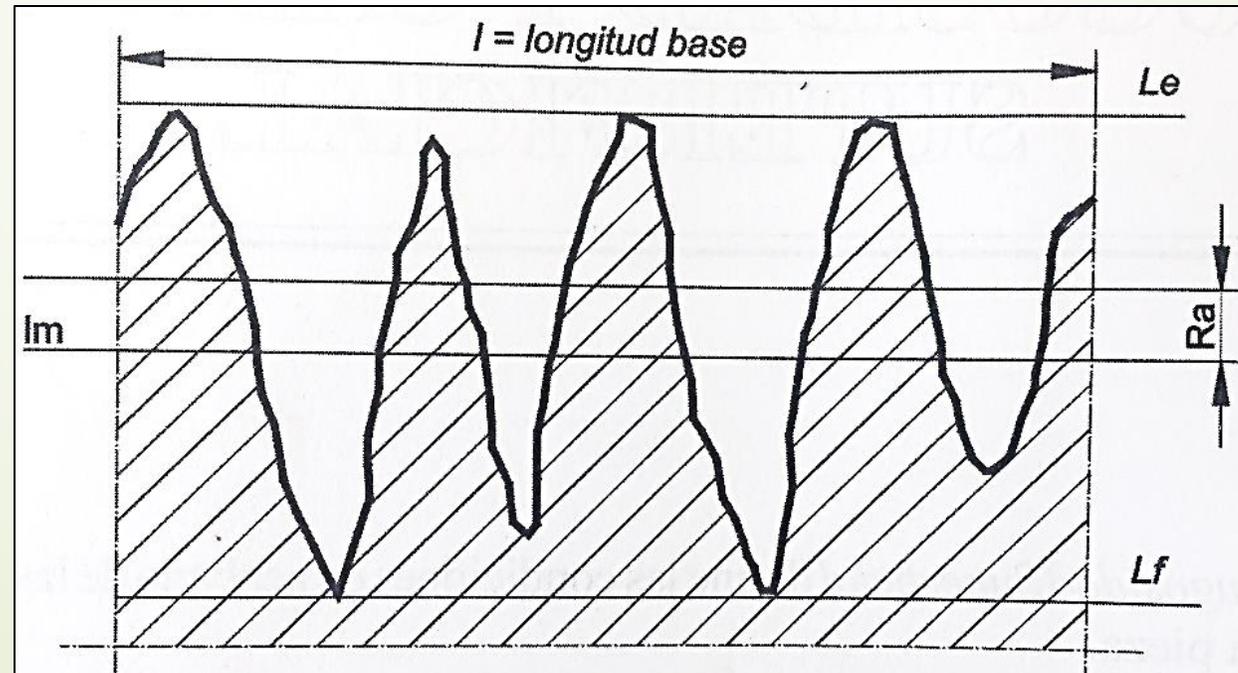
# RUGOSIDAD

Longitud Base  
( $l$ )

Línea media  
de perfil ( $l_m$ )

Línea de las  
crestas de  
perfil ( $l_e$ )

Línea de los  
fondos de  
perfil ( $l_f$ )



# DESGASTE

Pérdida de Material.  
Disminuye dimensiones,  
altera tolerancias.

## Abrasivo

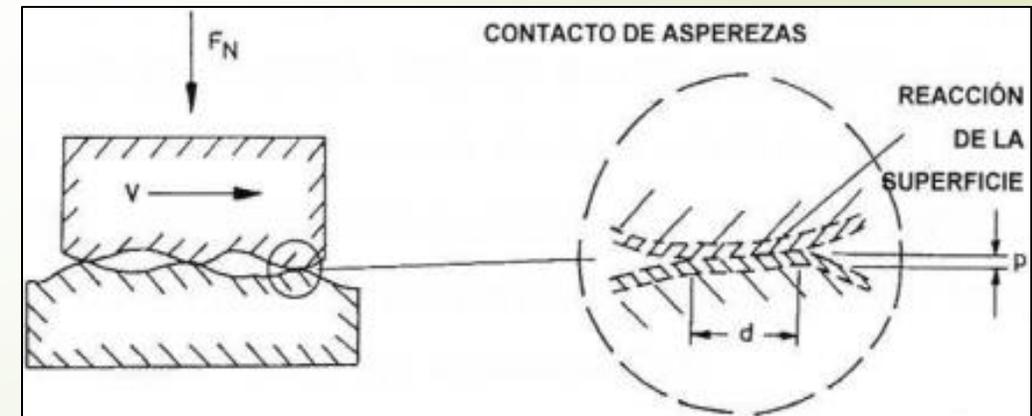
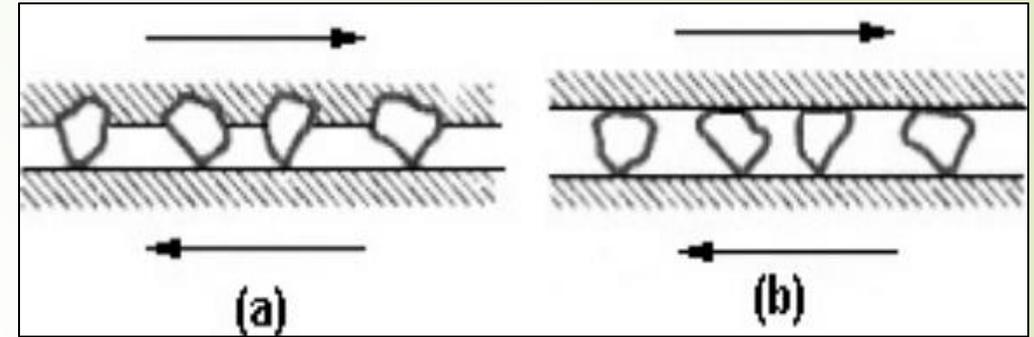
A dos  
Cuerpos

A tres  
Cuerpos

## Corrosivo

Homogénea

Heterogénea



# PROTOCOLO DE PRUEBAS



# MÁQUINAS



Banco para  
comprobación  
de inyectores  
CRDI - ESPE



Comprobador  
de inyectores  
Zapp D52R-A



Microscopio  
Meiji IM-7000



Balanza  
analítica  
ADAM



Rugosímetro  
Tester SRT 6200



# OBTENCIÓN DE MEZCLA-COMBUSTIBLE



Recolección



Filtración



Destilación

## HOJA DE REGISTRO PRIMERA DESTILACIÓN

Equipos de trabajo	Volumen inicial (ml)	Volumen final (ml)
2	2700	1889
2	5100	3852
2	4800	2814

## HOJA DE REGISTRO SEGUNDA DESTILACIÓN

Equipo de trabajo	Volumen inicial (ml)	Volumen final (ml)
2	4500	3532
2	4040	3206

# PREPARACIÓN MEZCLA-COMBUSTIBLE



Filtración aceite  
base



Medición  
volumétrica

# PORCENTAJES CONSTITUTIVO DE MEZCLA COMBUSTIBLE

Mezcla combustible	Temperatura (°C)	Porcentaje (%)	Cantidad (ml)
Aceite base	19	15	3750
Diésel 2	19	85	21250

# ***SELECCIÓN DEL TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PRUEBA***

Según investigaciones de Pérez (2005), afirma que, al realizar los ensayos de desgaste para 120 horas de trabajo, lo que equivale aproximadamente a 70 Km de recorrido de fricción del par émbolo buzo – camisa de una bomba de inyección diésel, se alcanzan resultados satisfactorios.

# FICHA TECNICA HINO DUTRO 616

MODELO	616 XZU710L-HKFML3	616DC XZU710L-QKFML3
Configuración	4X2	
<b>CAPACIDADES</b>		
Capacidad carga eje delantero	2.600 Kg.	
Capacidad carga eje posterior	4.400 Kg.	
Peso bruto vehicular	7.000 Kg. (*5.850 Kg.)	7.000 Kg. (*5.500 Kg.)
Peso vacío	2.295 Kg.	2.475 Kg.
Capacidad de carga	4.705 Kg. (*3.555 Kg.)	4.525 Kg. (*3.025 Kg.)
Neumáticos	205/75 R17.5	
<b>MOTOR</b>		
Tipo	'Diesel Turbo Intercooler	
Sistema de inyección	Inyección electrónica en riel común	
Norma de control de emisiones	Euro 3	
Potencia máxima	148 HP @ 2.800 RPM	
Torque máximo	42.8 KgM @ 1.400 RPM	
Cilindraje	4.009 cm <sup>3</sup>	



# ADECUACIÓN BANCO COMPROBADOR DE INYECTORES CRDI - ESPE



Inspección de filtro de combustible diésel



Para evitar que la mezcla-combustible exceda los 35°C se instaló un intercambiador de calor.

# ADECUACIÓN BANCO COMPROBADOR DE INYECTORES CRDI - ESPE

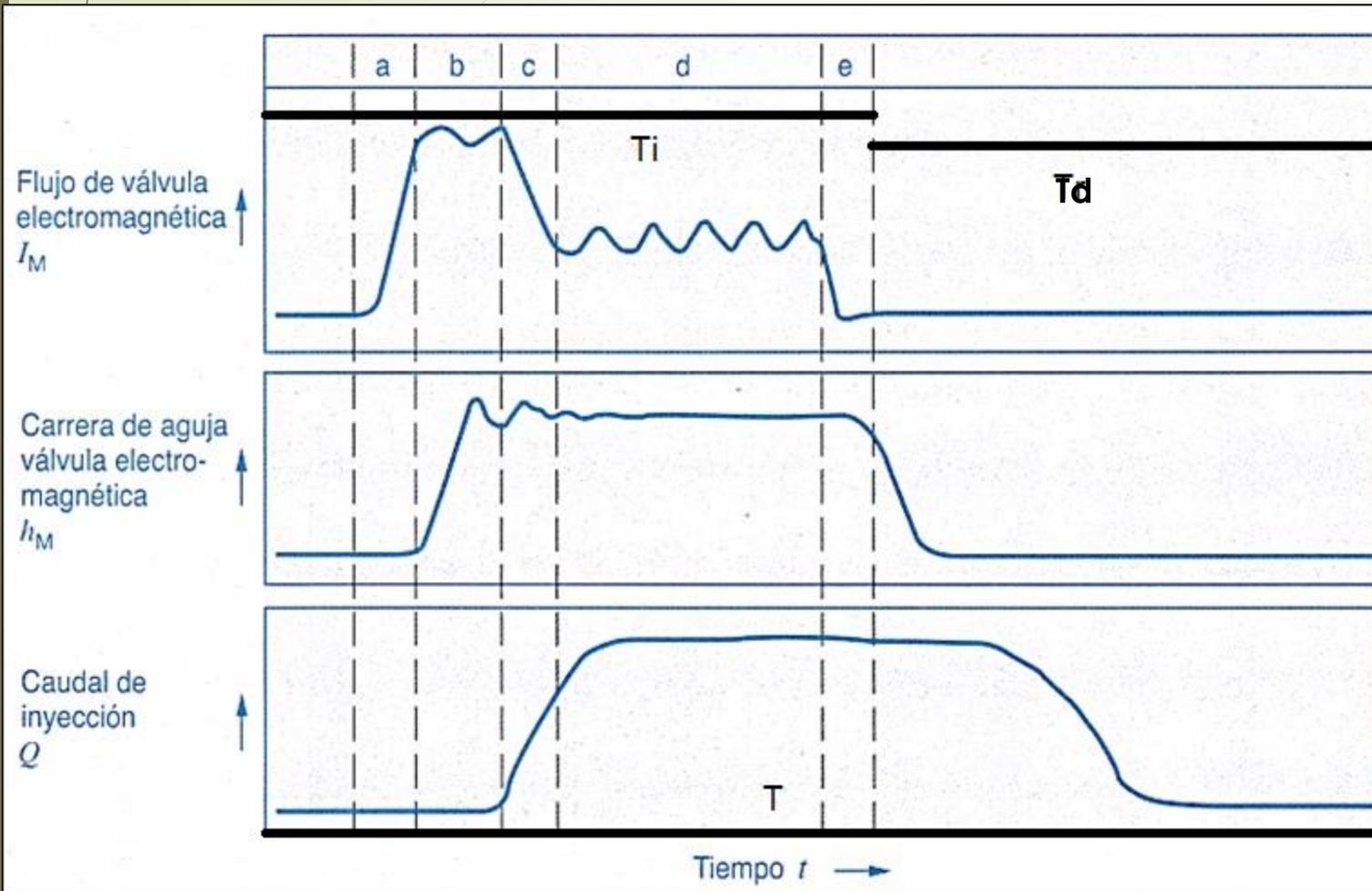


Ensamblaje de sistema common rail



Módulo de activación de inyectores

# SECUENCIA DE ACTIVACION DEL INYECTOR



- Fase de apertura (a)
- Fase de corriente inicial de arranque (b)
- Transición a la fase de corriente de mantenimiento (c)
- Fase de corriente de mantenimiento (d)
- Desconexión (e)

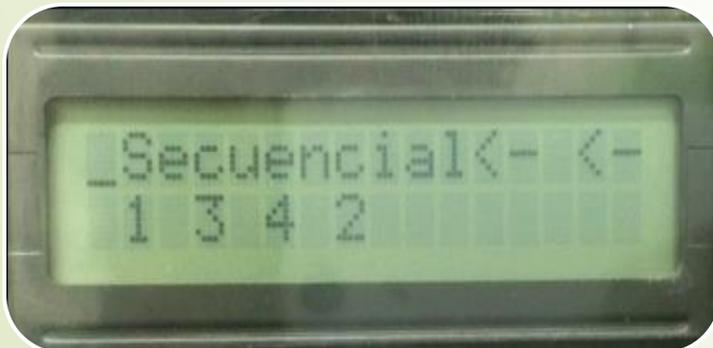
# CONFIGURACIÓN MÓDULO DE ACTIVACIÓN INYECTORES



Tiempo de inyección



Tiempo de descanso



Orden de encendido



# CONFIGURACIÓN MÓDULO DE ACTIVACIÓN INYECTORES



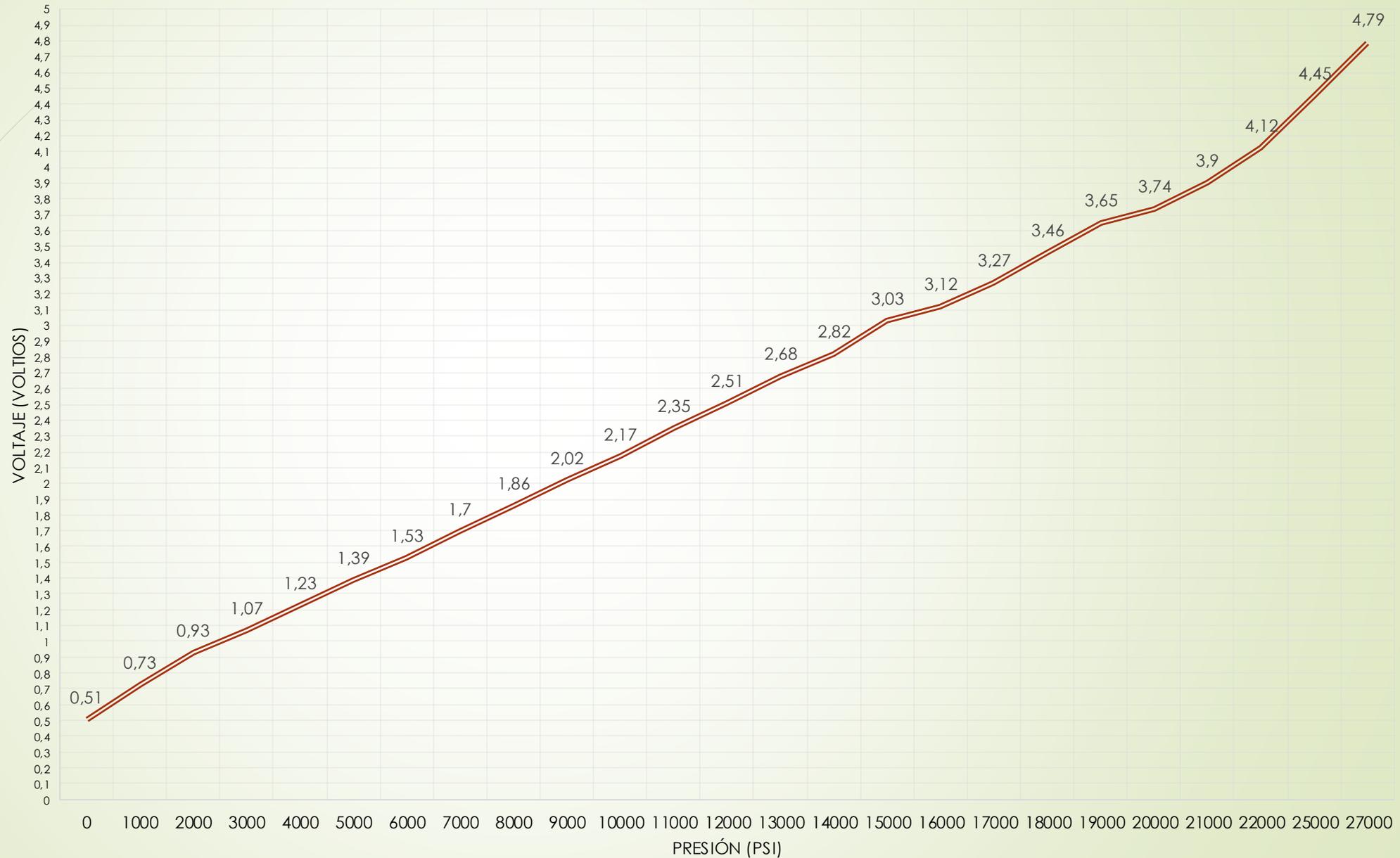
Inyector  
on/off



Tiempo de  
trabajo

# VOLTAJE VS PRESIÓN

FREC	PRE (PSI)	VOL (Volts)
0	0	0,51
1,3	1000	0,73
1,7	2000	0,93
2,9	3000	1,07
4,4	4000	1,23
5,8	5000	1,39
6,9	6000	1,53
7,9	7000	1,7
8,6	8000	1,86
9,4	9000	2,02
10	10000	2,17
10,9	11000	2,35
11,4	12000	2,51
12,3	13000	2,68
13,2	14000	2,82
14	15000	3,03
14,4	16000	3,12
15,3	17000	3,27
16,6	18000	3,46
18,1	19000	3,65
20	20000	3,74
28	21000	3,9
42	22000	4,12
46	25000	4,45
47	27000	4,79



# PROTOCOLO DE EXTRACCIÓN DE LOS INYECTORES



Remoción del socket  
del inyector



Extracción del conducto  
de retorno de diésel



Desactivación de pulso  
de activación del inyector

# PROTOCOLO DE EXTRACCIÓN DE LOS INYECTORES



Extracción  
conducto de alta  
presión



Bloqueo de salida  
de inyector extraído

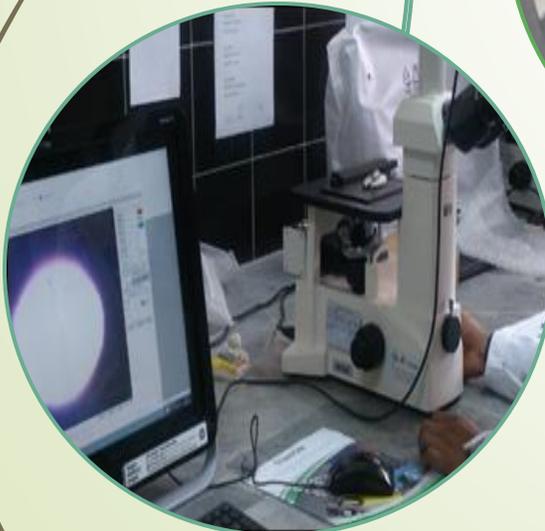
# PROTOCOLO ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL



Colocar elementos  
sobre la platina.



Seleccionar un lente  
adecuado del revolver.



Ajustar Brillo y Nitidez con la perilla  
coaxial, retocar en computador.

# PROTOCOLO MEDICION DE RUGOSIDAD



Calibrar rugosímetro y seleccionar medidad Cutoff.



Colocar el elemento sobre la mordaza de precisión nivelada.



Realizar tres mediciones correspondientes.

# PROTOCOLO PESAJE DE ELEMENTOS



Desmontaje de  
elementos internos



Calibración de  
balanza analítica



Pesaje de  
elementos.

# ANÁLISIS DE RESULTADOS

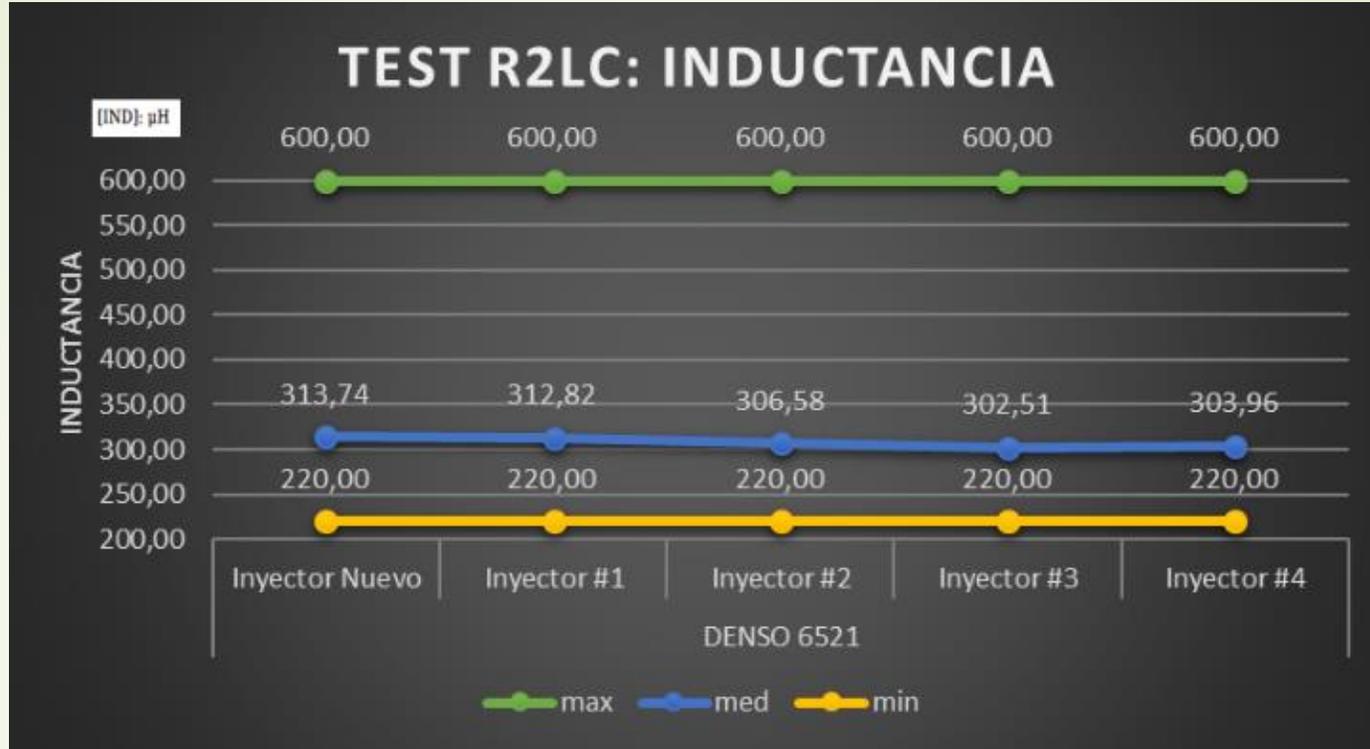
<b>Inyector</b>	<b>Nuevo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Horas de funcionamiento</b>	0	50	100	150	200
<b>Marca</b>	Denso	Denso	Denso	Denso	Denso
<b>Serie</b>	6521	6521	6521	6521	6521
<b>Código bobina</b>	F04085	FS00687	FS01272	DS05774	ES03567
<b>Código cuerpo</b>	05S00047	06S00471	06S00171	04S00008	04S00435

# **ANÁLISIS RESULTADOS BANCO DE PRUEBAS MARCA ZAPP MODELO D52R-A.**

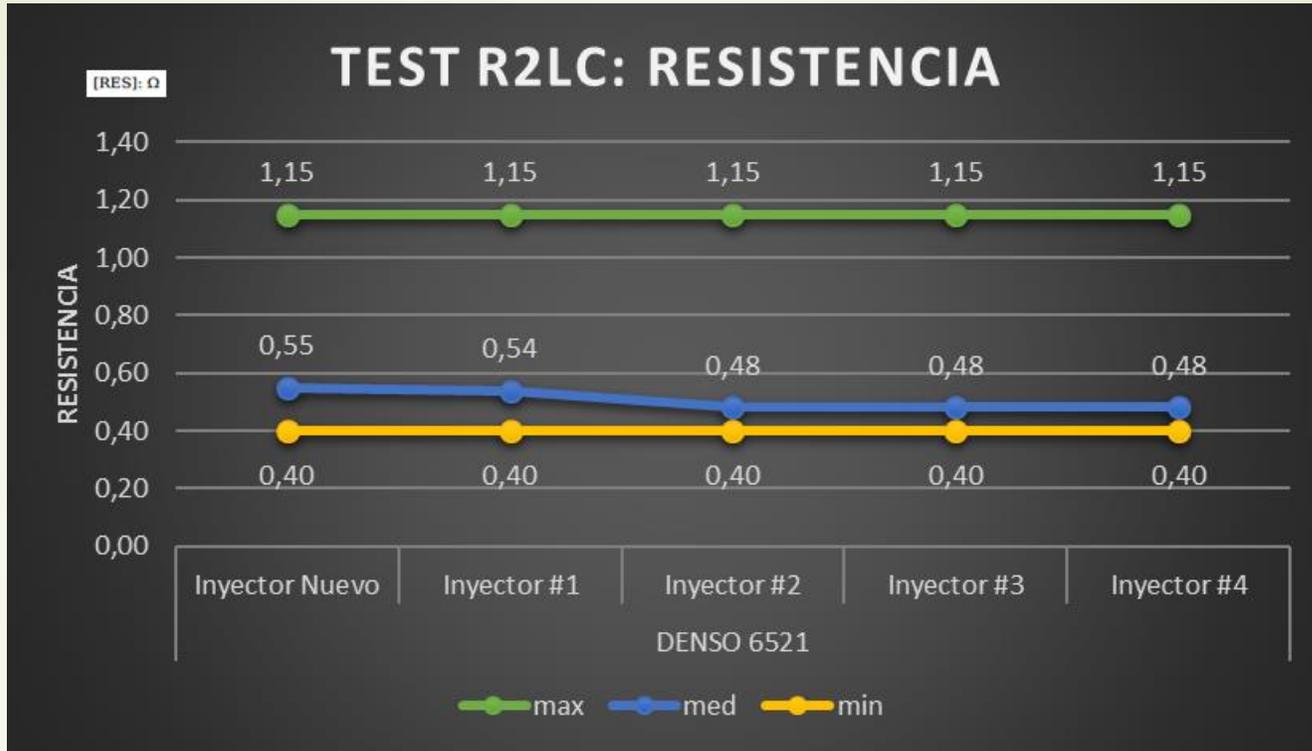


# PRUEBAS ELÉCTRICAS DE INDUCTANCIA Y RESISTENCIA APLICADAS A LA BOBINA ( $\mu H/\Omega$ )

Código inspección	Condiciones de Prueba			Referencia		Parámetro
	STRK	Presión [bar]	Pulsos [ $\mu$ sec]	Máximo	Mínimo	
R2LC	2000	170	955	600,00	220,00	Inductancia [IND]
				1,15	0,40	Resistencia [RES]



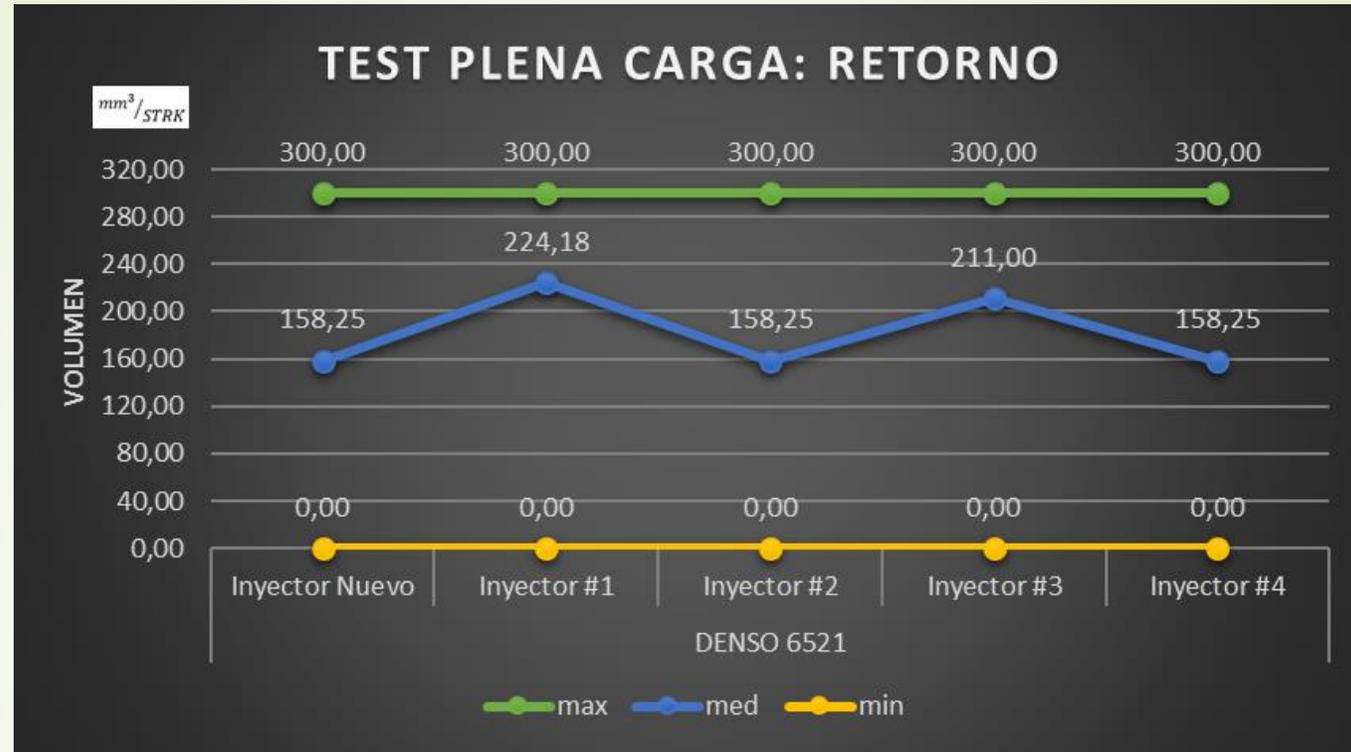
Parámetro	Unidad	Medida	DENSO 6521				
			Inyector Nuevo	Inyector #1	Inyector #2	Inyector #3	Inyector #4
Inductancia [IND]	[μH]	Máximo	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00
		Media	313,74	312,82	306,58	302,51	303,96
		Mínimo	220,00	220,00	220,00	220,00	220,00



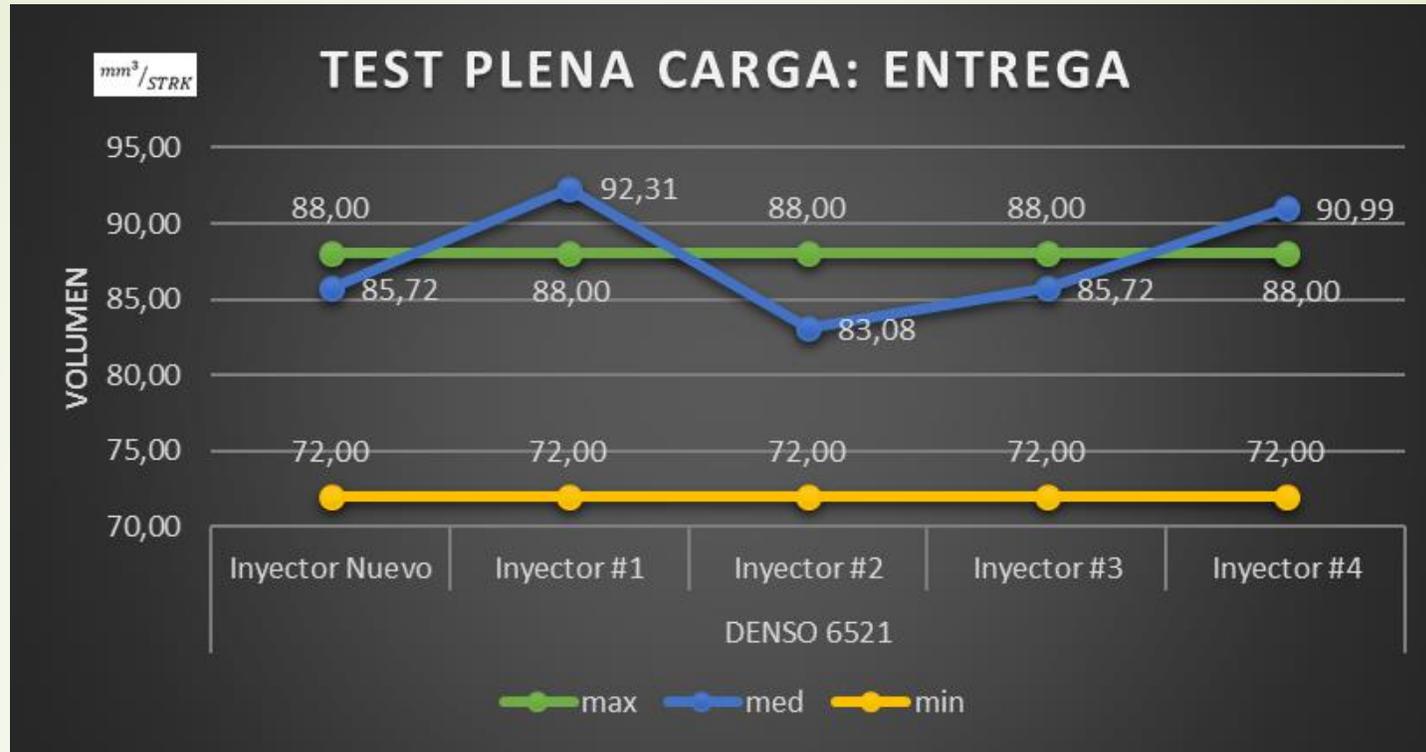
			<b>DENSO 6521</b>				
Parámetro	Unidad	Medida	Inyector Nuevo	Inyector #1	Inyector #2	Inyector #3	Inyector #4
<b>Resistencia</b>	$\Omega$	Máximo	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
		Media	0,55	0,54	0,48	0,48	0,48
		Mínimo	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40

# ANÁLISIS COMPARATIVO TEST PLENA CARGA

Código inspección	Condiciones de Prueba			Referencia		Parámetro
	STRK	Presión [bar]	Pulsos [μsec]	Máximo	Mínimo	
iVM [TP1]	210	1600	955	300,00	0,00	Retorno [R]
				88,00	72,00	Entrega [D]



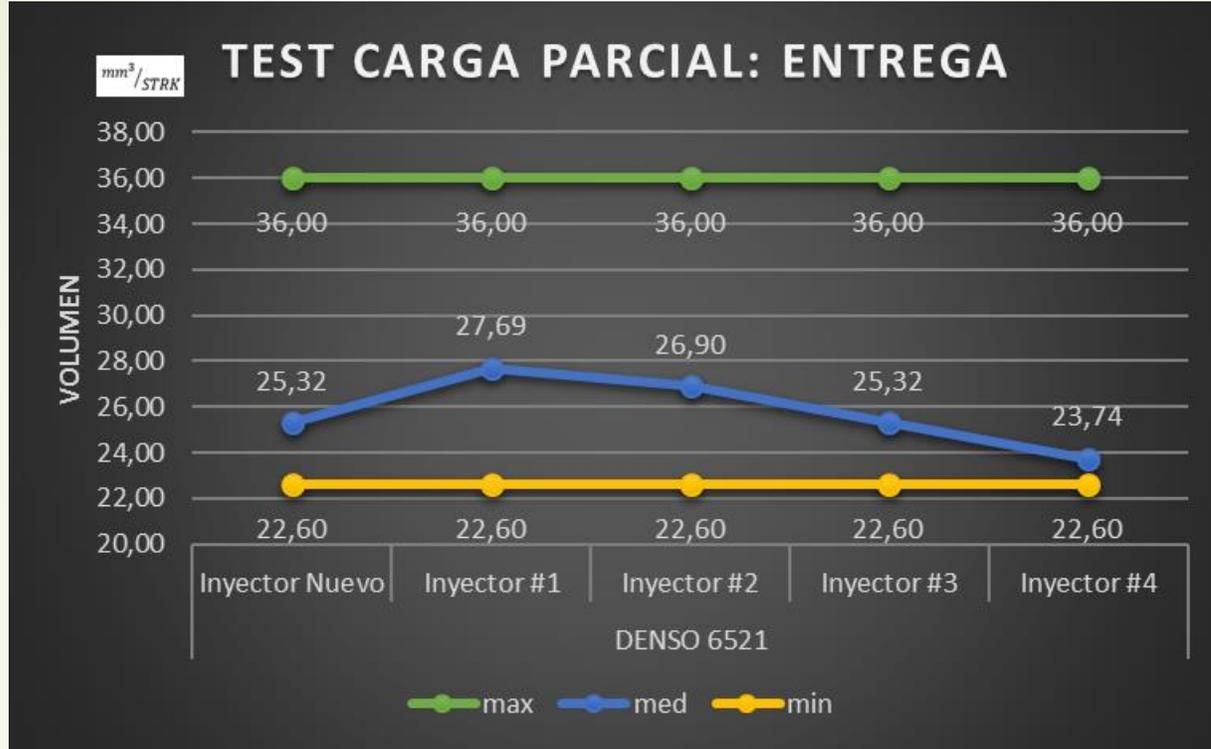
			<b>DENSO 6521</b>				
Parámetro	Unidad	Medida	Inyector Nuevo	Inyector #1	Inyector #2	Inyector #3	Inyector #4
<b>Retorno [R]</b>	$mm^3/STRK$	Máximo	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
		Media	158,25	224,18	158,25	211,00	158,25
		Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



			DENSO 6521				
Parámetro	Unidad	Medida	Inyector Nuevo	Inyector #1	Inyector #2	Inyector #3	Inyector #4
Entrega [D]	$mm^3/STRK$	Máximo	88,00	88,00	88,00	88,00	88,00
		Medio	85,72	92,31	83,08	85,72	90,99
		Mínimo	72,00	72,00	72,00	72,00	72,00

# ANÁLISIS COMPARATIVO TEST CARGA PARCIAL

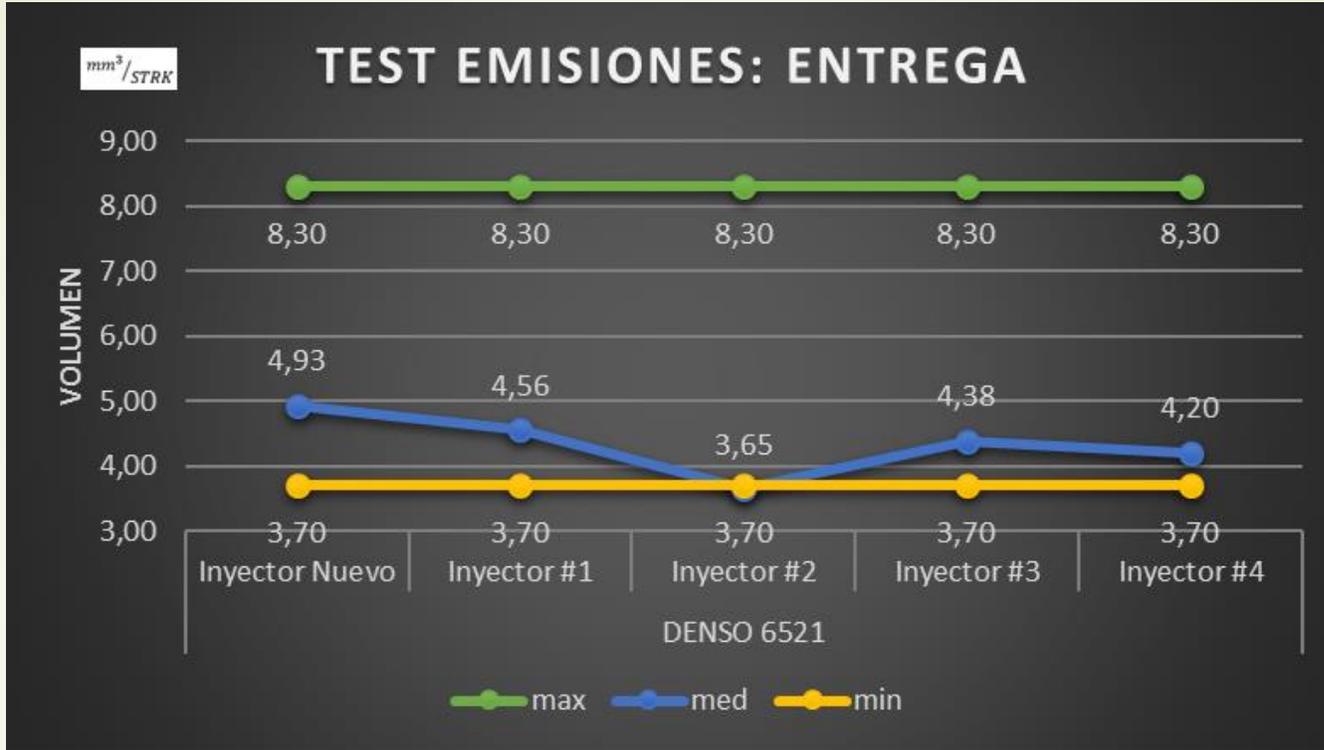
Código inspección	Condiciones de Prueba			Referencia		Parámetro
	STRK	Presión [bar]	Pulsos [μsec]	máx.	min.	
<b>iVM [TP2]</b>	1000	800	735	36,00	22,60	Entrega [D]



			DENSO 6521				
Parámetro	Unidad	Medida	Inyector Nuevo	Inyector #1	Inyector #2	Inyector #3	Inyector #4
Entrega [D]	$mm^3/STRK$	Máximo	36,00	36,00	36,00	36,00	36,00
		Medio	25,32	27,69	26,90	25,32	23,74
		Mínimo	22,60	22,60	22,60	22,60	22,60

# ANÁLISIS COMPARATIVO TEST EMISIONES

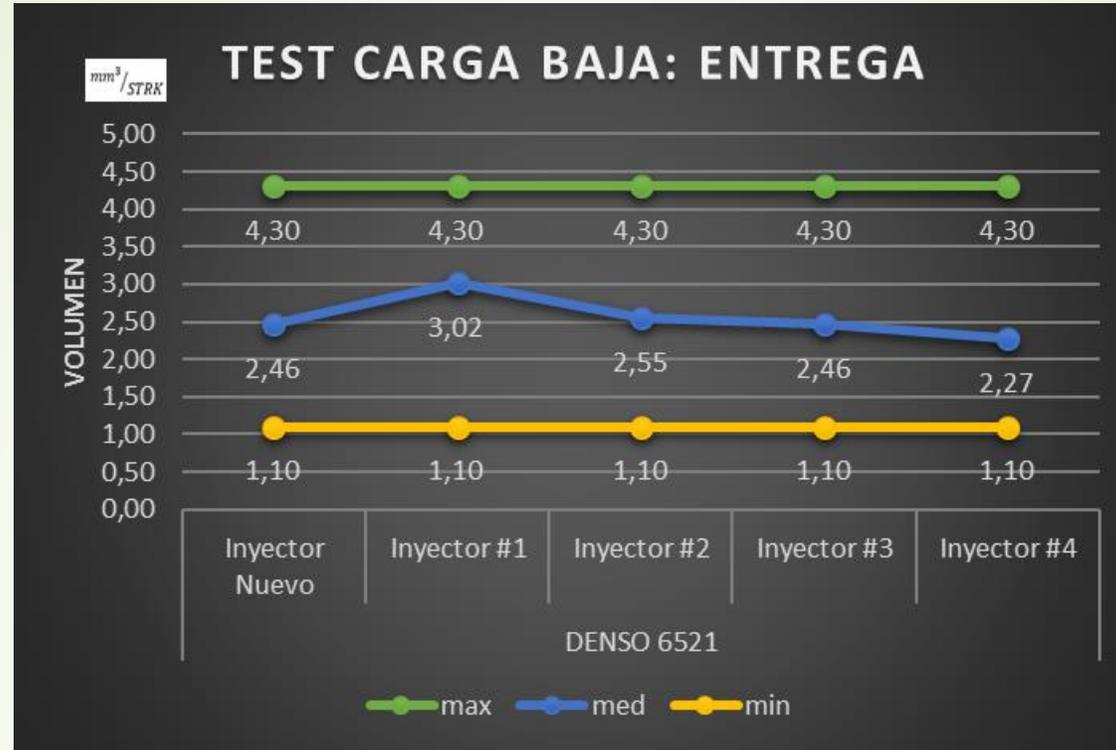
Código inspección	Condiciones de Prueba			Referencia		Parámetro
	STRK	Presión [bar]	Pulsos [μsec]	máx.	min.	
iVM[TP3]	2000	290	765	8,30	3,70	Entrega [D]



			DENSO 6521				
Parámetro	Unidad	Medida	Inyector Nuevo	Inyector #1	Inyector #2	Inyector #3	Inyector #4
Entrega [D]	$mm^3/STRK$	Máximo	8,30	8,30	8,30	8,30	8,30
		Medio	4,93	4,56	3,65	4,38	4,20
		Mínimo	3,70	3,70	3,70	3,70	3,70

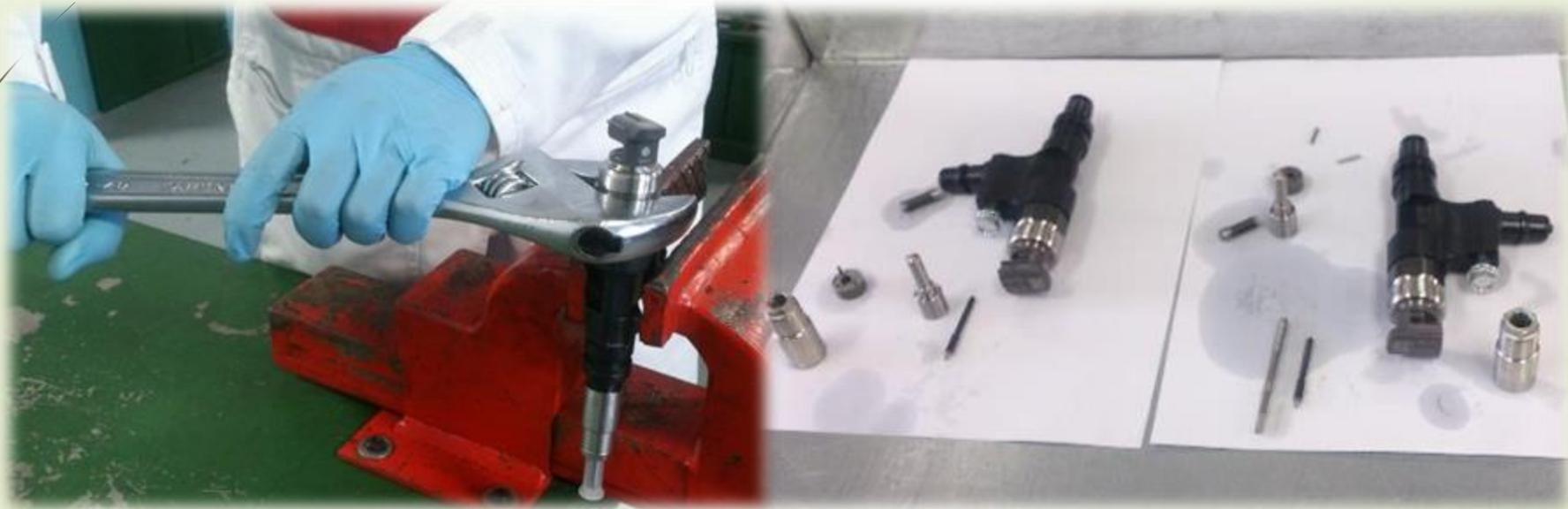
# ANÁLISIS COMPARATIVO TEST CARGA BAJA

Código inspección	Condiciones de Prueba			Referencia		Parámetro
	STRK	Presión [bar]	Pulsos [μsec]	máx.	min.	
iVM[TP4]	2000	800	400	4,30	1,10	Entrega [D]



			DENSO 6521				
Parámetro	Unidad	Medida	Inyector Nuevo	Inyector #1	Inyector #2	Inyector #3	Inyector #4
Retorno [R]	$mm^3/STRK$	Máximo	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
		Medio	2,46	3,02	2,55	2,46	2,27
		Mínimo	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10

# ***INSPECCIÓN VISUAL DE ELEMENTOS DE INYECTOR DENSO 6521 COMMON RAIL***



# ANÁLISIS COMPARATIVO TOBERA

## TOBERA

Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
----------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------



# ANÁLISIS COMPARATIVO AGUJA DE INYECTOR

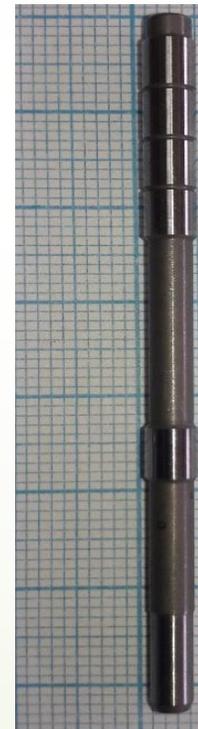
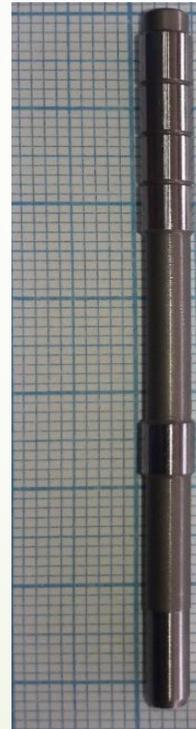
AGUJA				
Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas



# ANÁLISIS COMPARATIVO ÉMBOLO DE MANDO

## ÉMBOLO DE MANDO

Inyector nuevo	Inyector 50 horas	Inyector 100 horas	Inyector 150 horas	Inyector 200 horas
----------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------



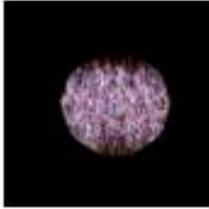
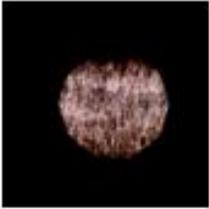
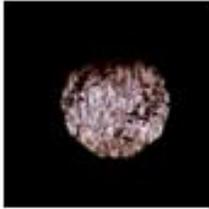
# **ANÁLISIS COMPARATIVO DE MICROESTRUCTURAS MICROSCOPIO MEIJI MODELO 7000**



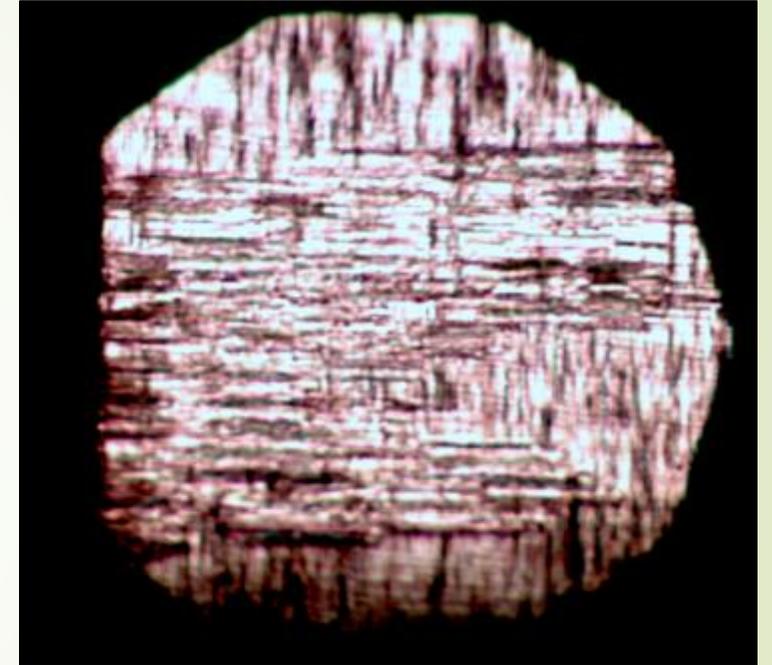
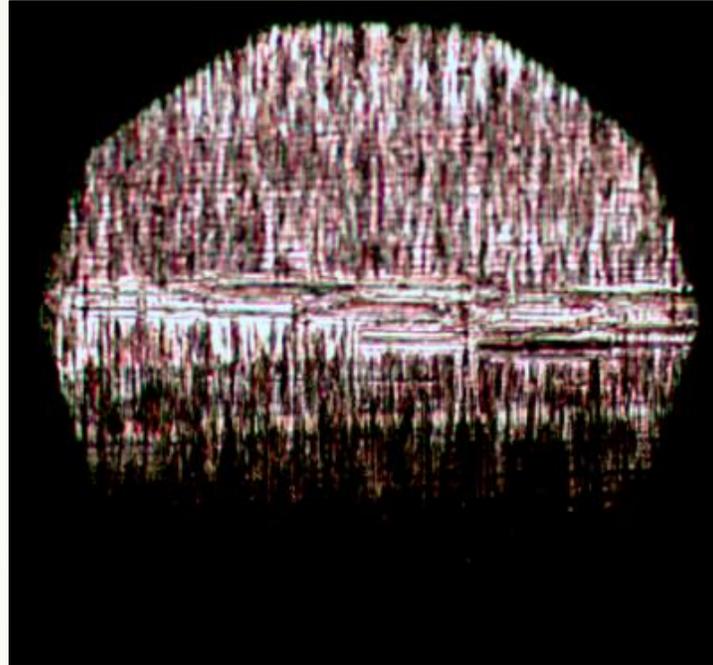
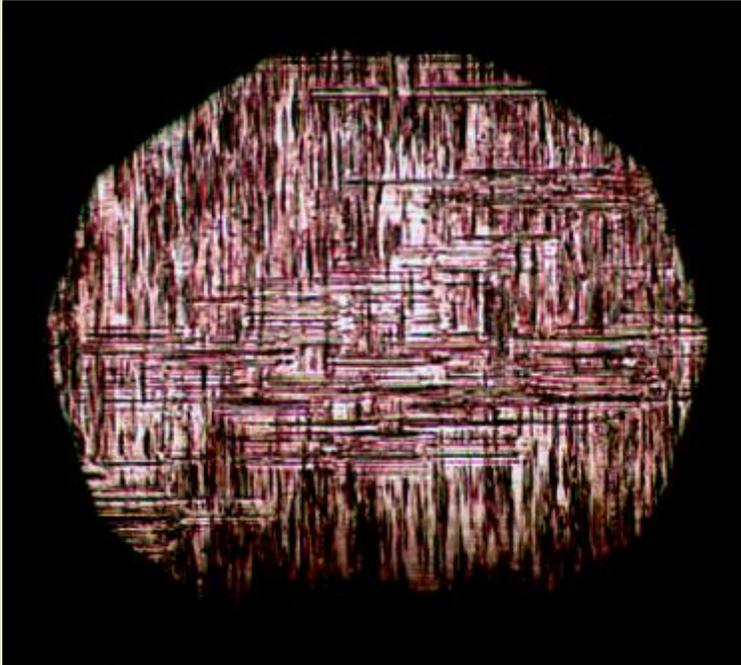
# ANÁLISIS MICROSCÓPICO ÉMBOLO DE MANDO





	Inyector Nuevo	Inyector 1	Inyector 2	Inyector 3	Inyector 4
Sector 1					
Sector 2					
Sector 3					
Sector 4					
Sector 5					

# DESGASTE ABRASIVO



<b>SECTOR</b>	<b>SECTOR</b>	<b>SECTOR</b>
1	3	3
<b>INYECTOR</b>	<b>INYECTOR</b>	<b>INYECTOR</b>
50	150	200

## **CICATRIZ DE DESGASTE**

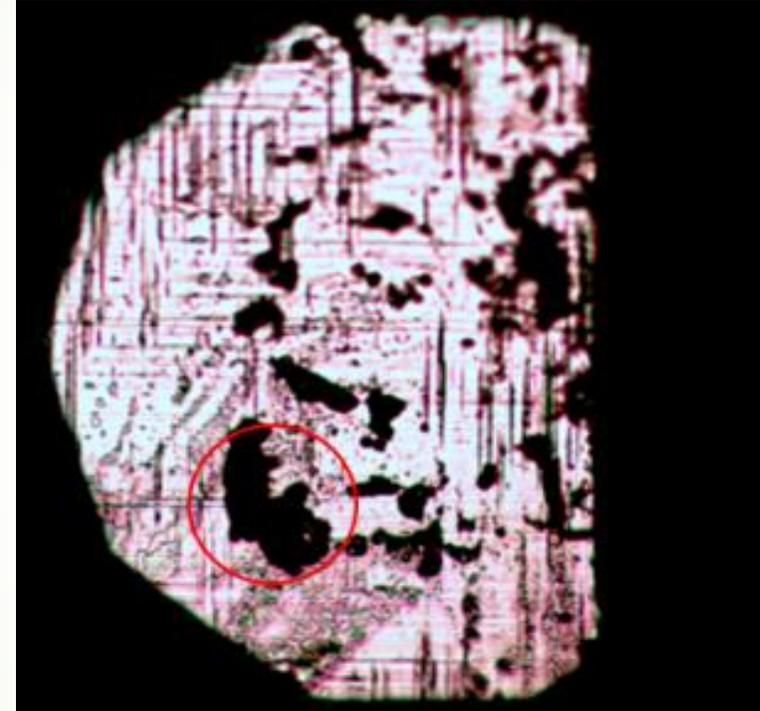
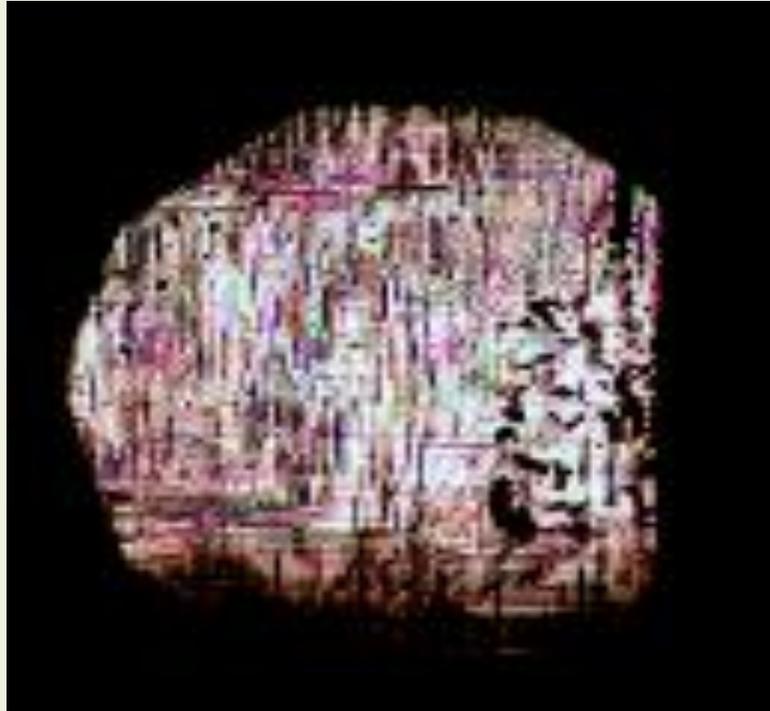
- ▶ La declaración de acuerdo común establece el diámetro de cicatriz de desgaste no debe ser mayor de 460 micras medida por la prueba HFRR especificada en ISO 12156-1, es decir, el área de la cicatriz de desgaste no debe superar los 166190.251 micras cuadradas.

$$\text{Área de Desgate} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$\text{Área de Desgate} = \frac{\pi * (460 \mu m)^2}{4}$$

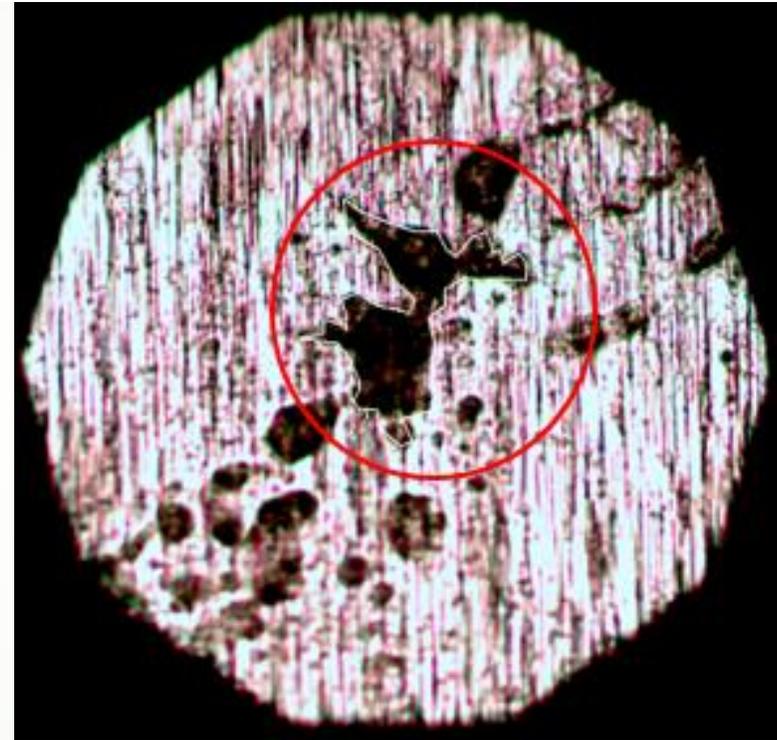
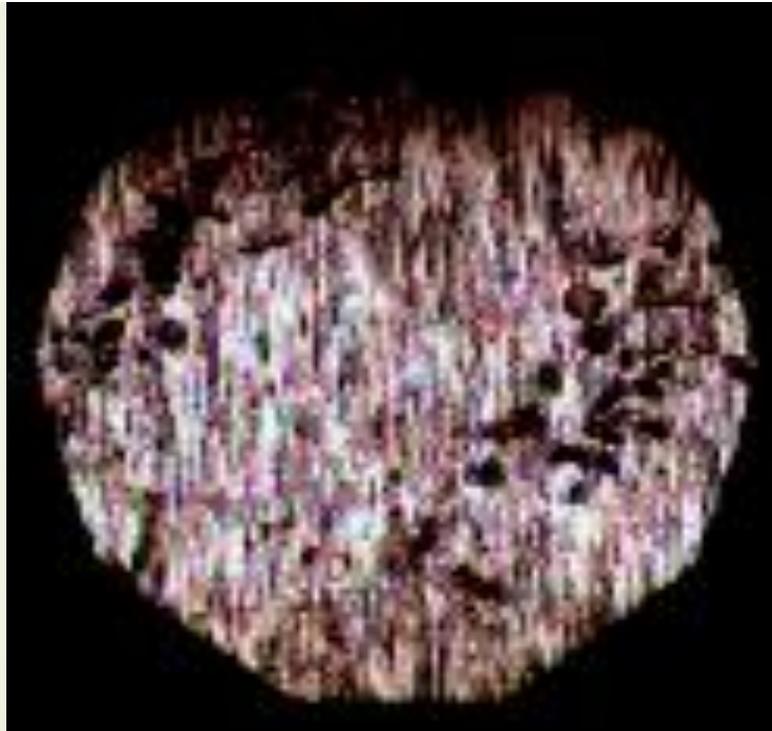
$$\text{Área de Desgate} = 166190.251 \mu m^2$$

<b>SECTOR</b>	<b>HORAS</b>
1	100
<b>AUMENTO</b>	<b>AUMENTO</b>
100X	200X



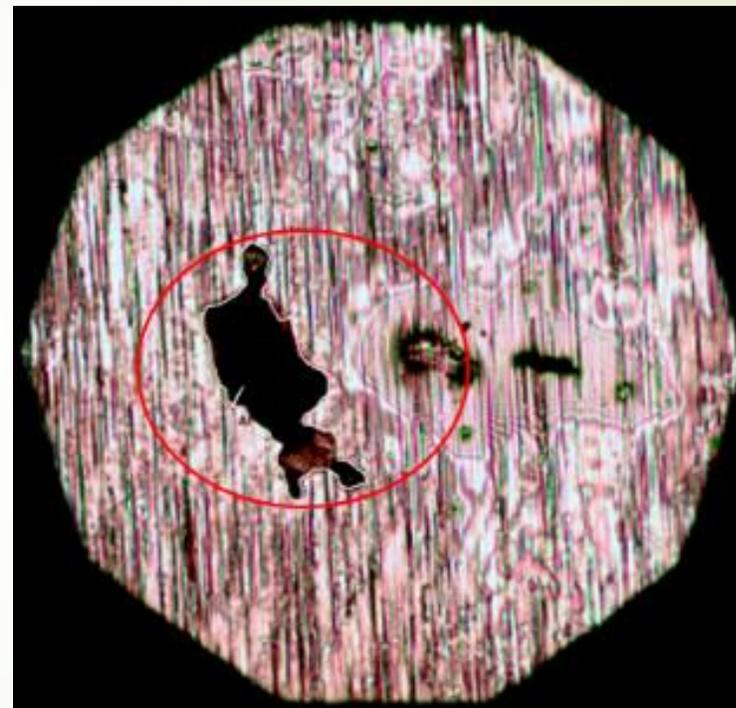
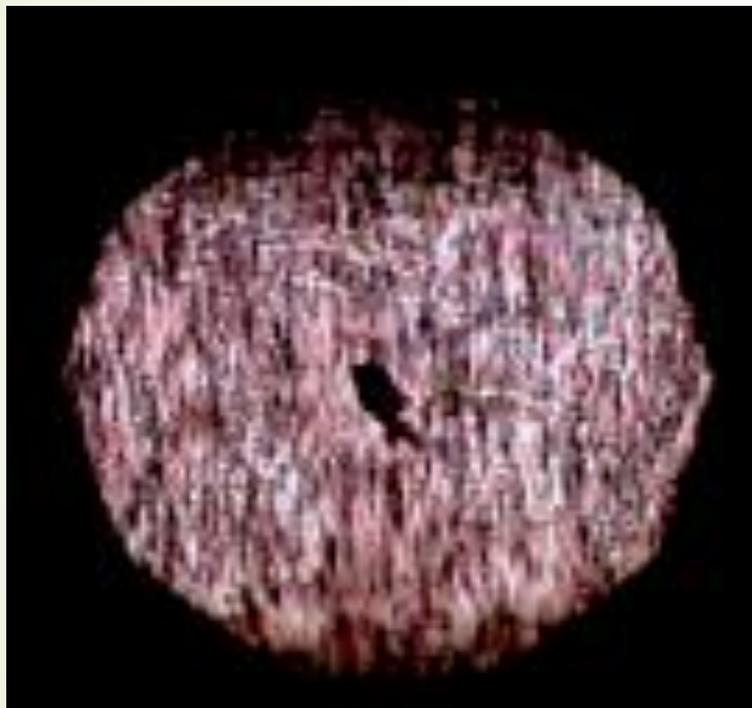
Marca / Color	Área ( $\mu\text{m}^2$ )	Perímetro ( $\mu\text{m}$ )
A1/ Rojo	1675.5	230.1

<b>SECTOR</b>	<b>HORAS</b>
5	100
<b>AUMENTO</b>	<b>AUMENTO</b>
100X	200X



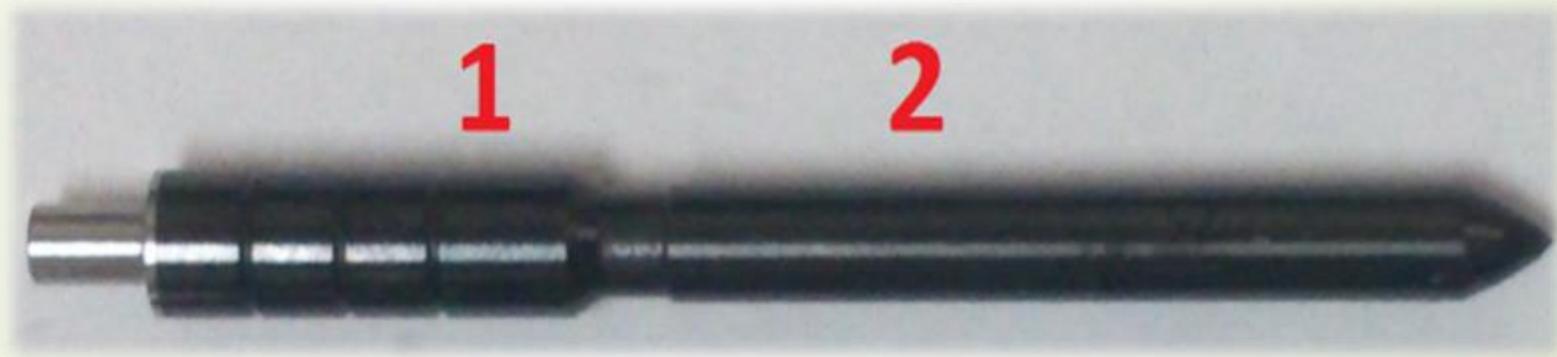
Marca / Color	Área ( $\mu\text{m}^2$ )	Perímetro ( $\mu\text{m}$ )
A1/ Rojo	3207.7	448.0

<b>SECTOR</b>	<b>HORAS</b>
5	200
<b>AUMENTO</b>	<b>AUMENTO</b>
100X	200X



Marca / Color	Área ( $\mu\text{m}^2$ )	Perímetro ( $\mu\text{m}$ )
A1/ Rojo	3039.8	369.5

# **ANÁLISIS MICROSCÓPICO AGUJA DE LA TOBERA**





**Inyector  
Nuevo**

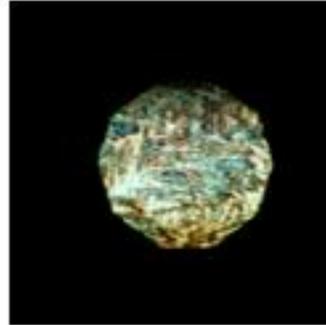
**Inyector 1**

**Inyector 2**

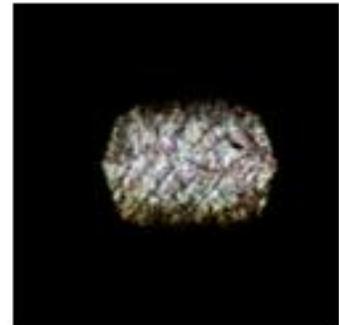
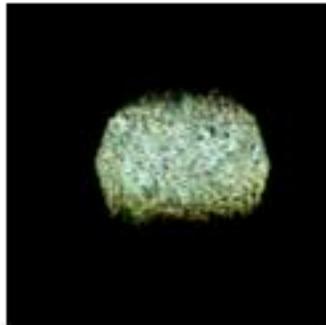
**Inyector 3**

**Inyector 4**

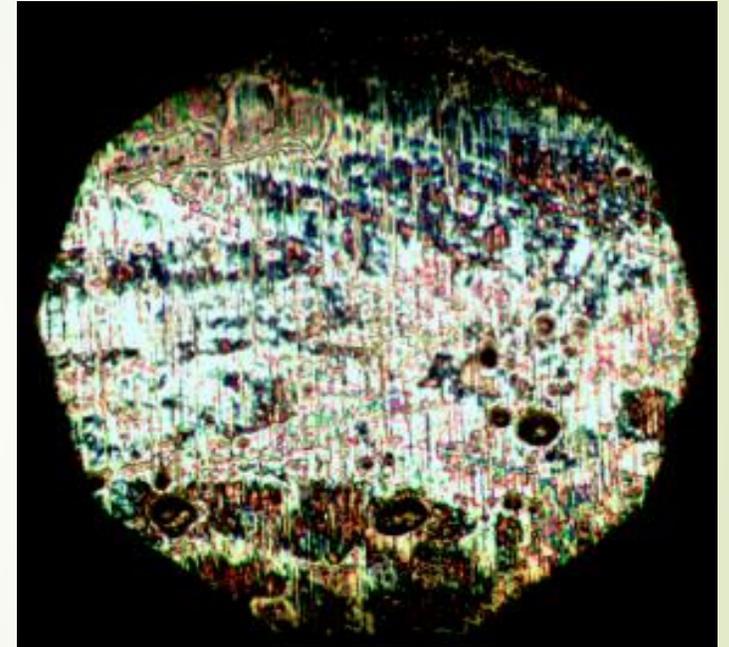
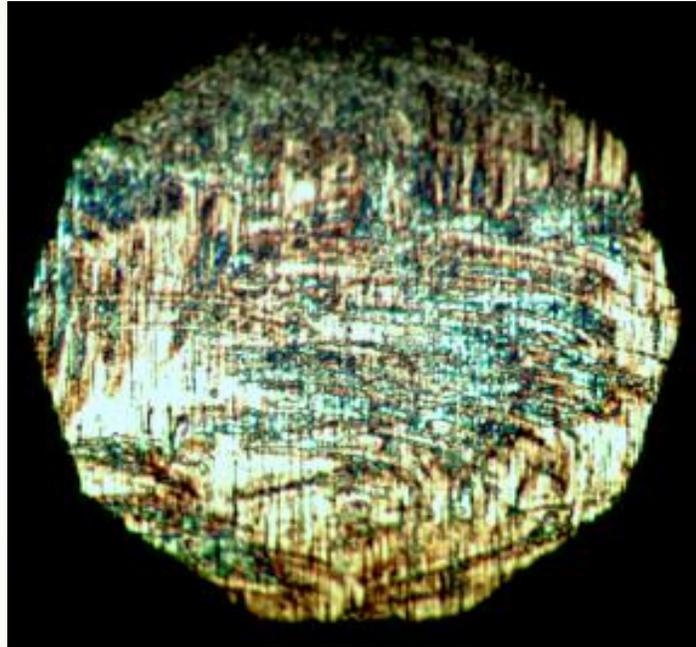
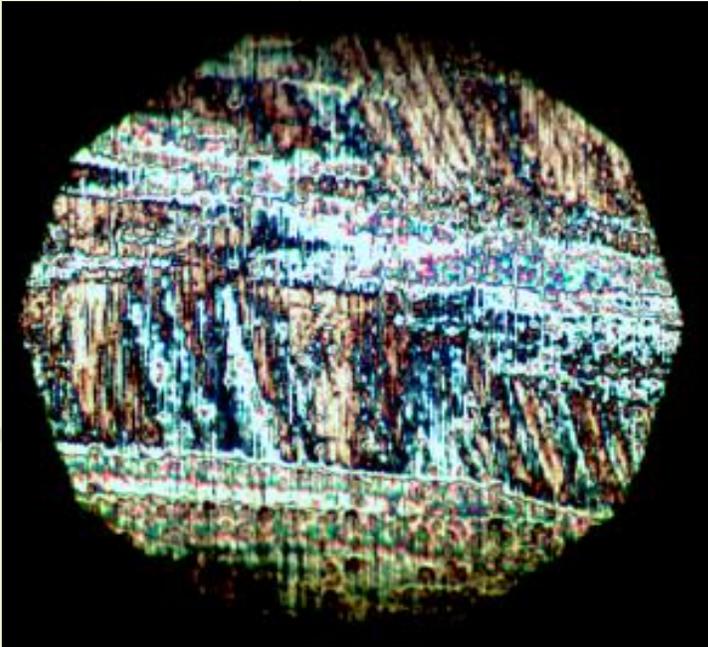
**Sector 1**



**Sector 2**

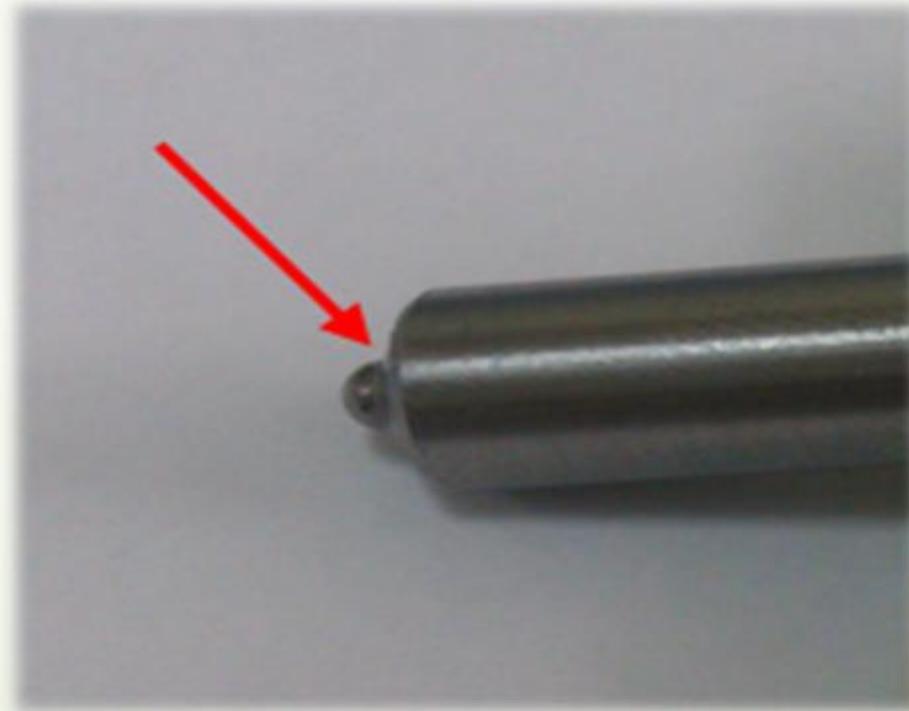


# DESGASTE ABRASIVO



<b>SECTOR</b>	<b>SECTOR</b>	<b>SECTOR</b>
1	1	1
<b>HORAS</b>	<b>HORAS</b>	<b>HORAS</b>
100	150	200

# **ANÁLISIS MICROSCÓPICO ORIFICIO DE PULVERIZACIÓN DE LA TOBERA DEL INYECTOR**





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Inyector  
Nuevo**

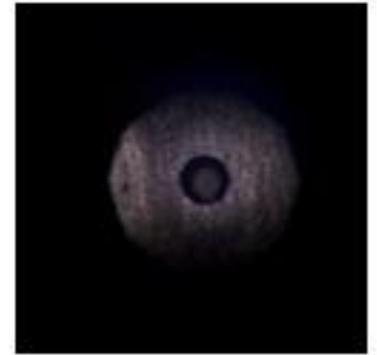
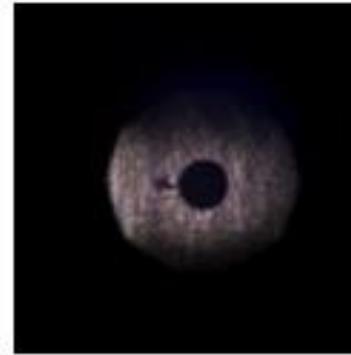
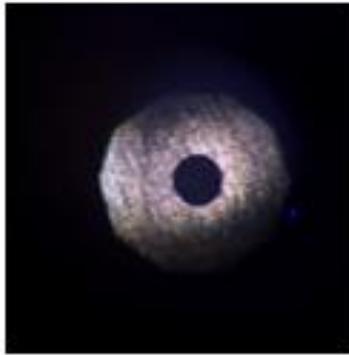
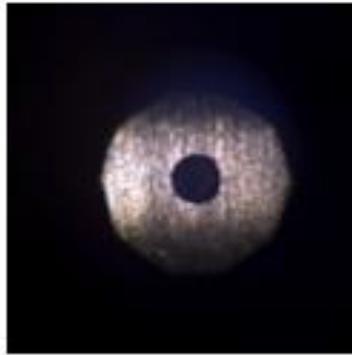
**Inyector 1**

**Inyector 2**

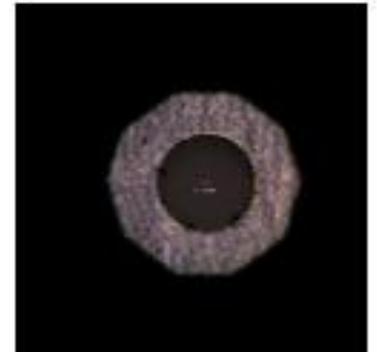
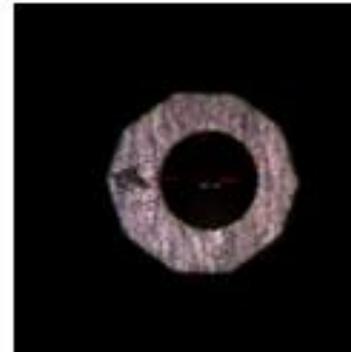
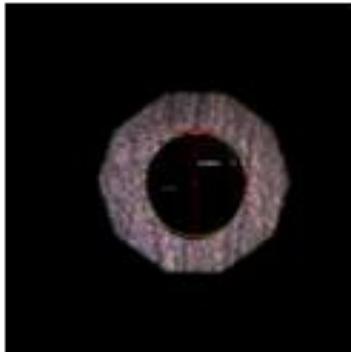
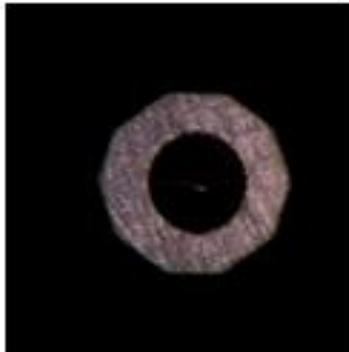
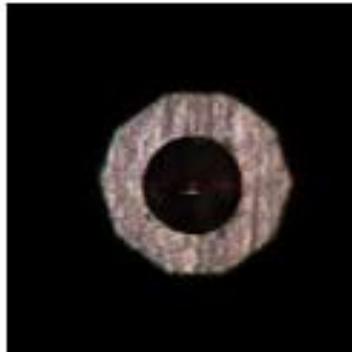
**Inyector 3**

**Inyector 4**

**Orificio**



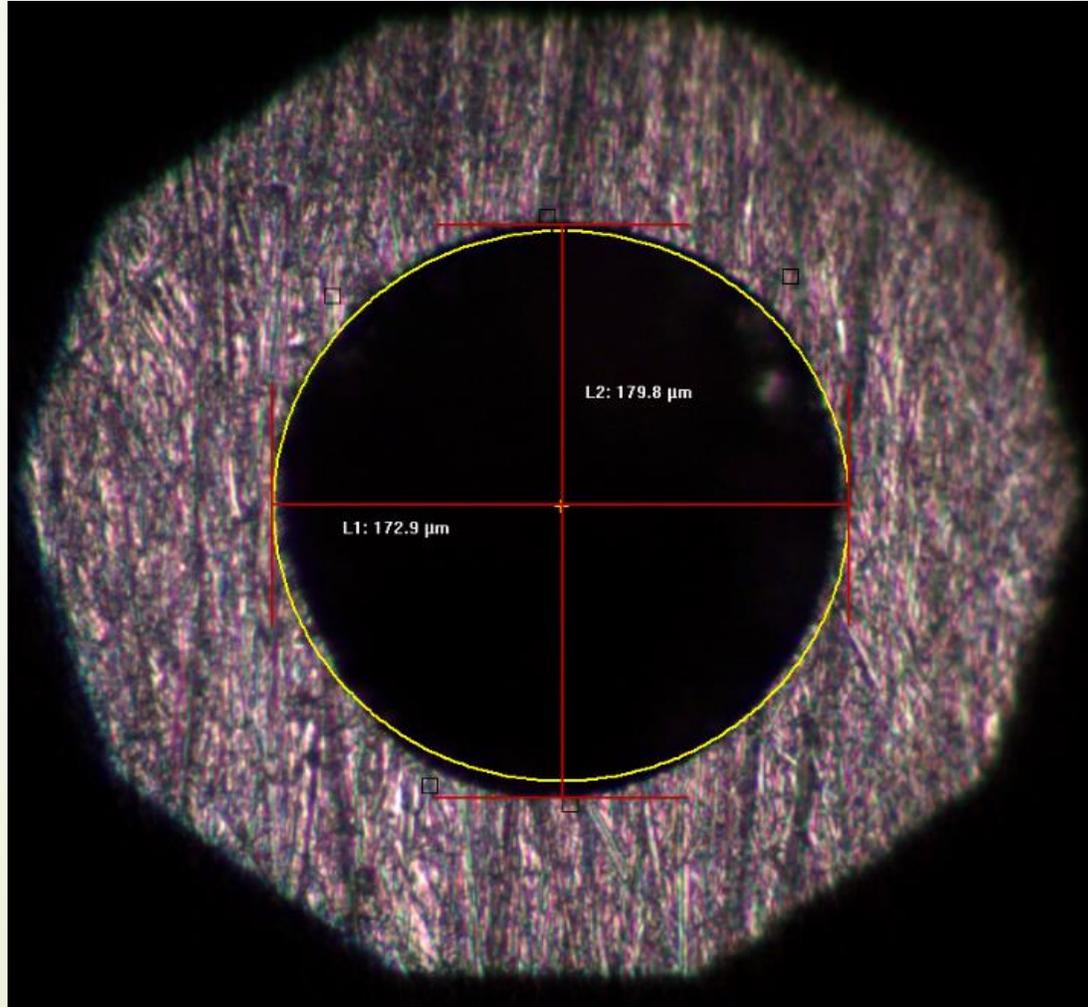
**Diámetro**



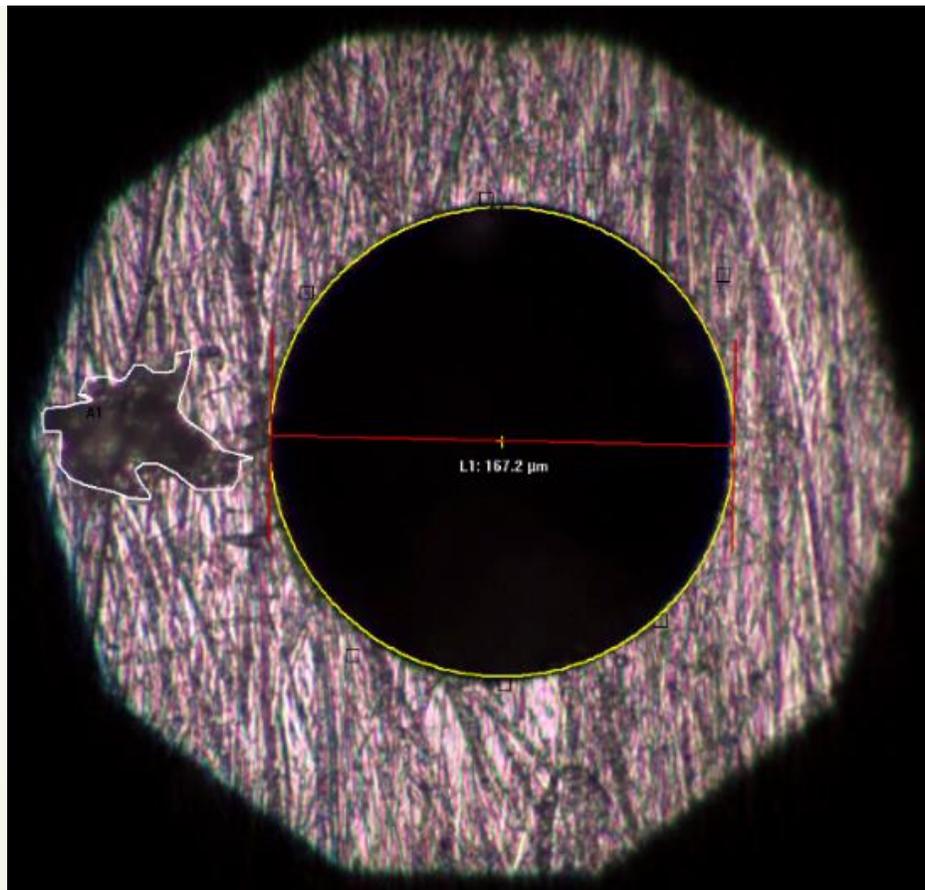
# VALORES DE DIÁMETRO EN ORIFICIOS DE PULVERIZACIÓN

Inyector Horas Funcionamiento	Diámetro ( $\mu\text{m}$ )	El valor en X ( $\mu\text{m}$ )
0	169.9	169.8
50	169	169
100	172.9	172.9
150	167.2	167.1
200	168.6	168.6

HORAS	EJE X	EJE Y
100	172.9	179.8



HORAS	SECTOR
100	Adyacente agujero Pulverización

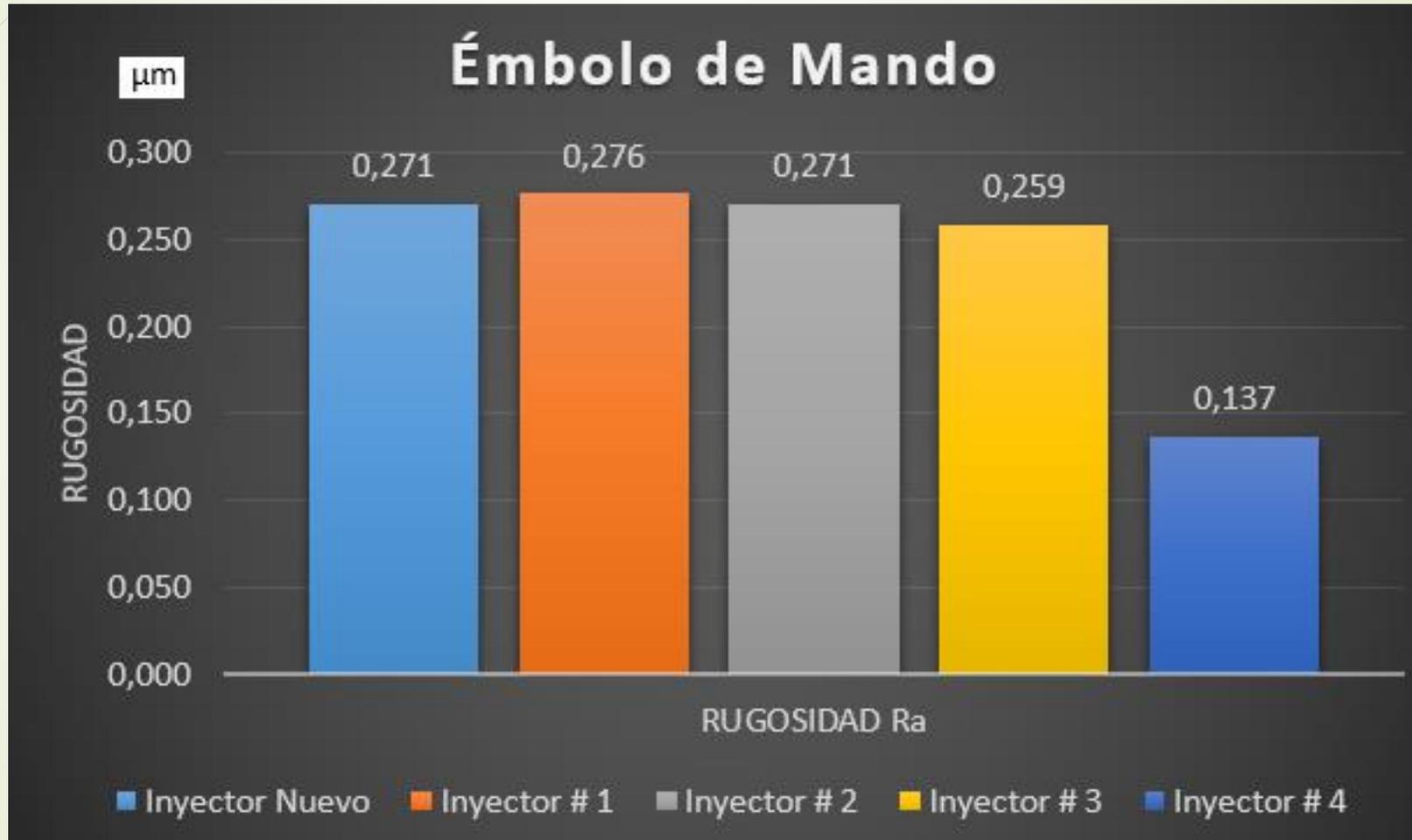


Marca / Color	Área ( $\mu\text{m}^2$ )	Perímetro ( $\mu\text{m}$ )
A1/ Blanco	3038.9	369.5

# ANÁLISIS CUANTITATIVO RUGOSIDAD SUPERFICIAL



# MEDICIÓN SECTOR 5 ÉMBOLO DE MANDO



# MEDICIÓN SECTOR 1 AGUJA DEL INYECTOR

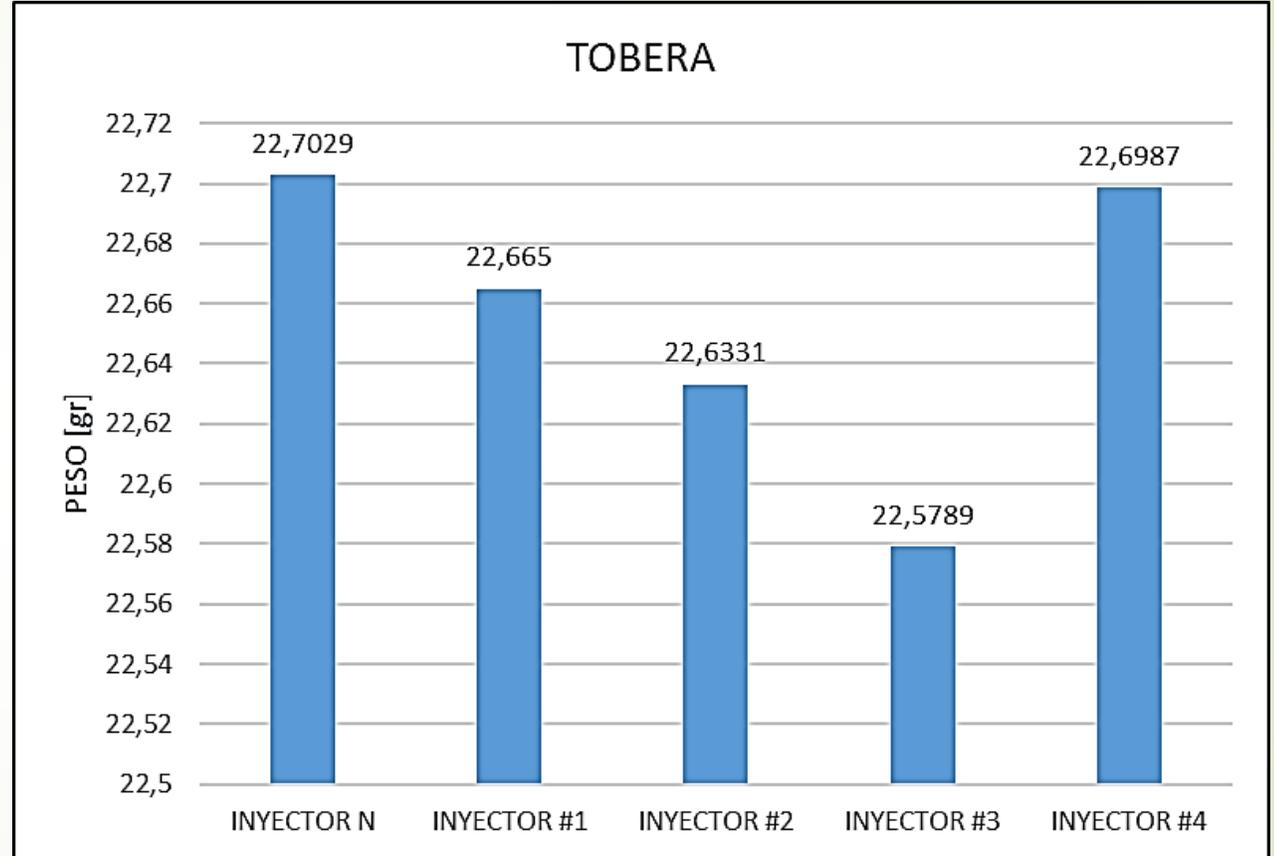


# ***ANÁLISIS DE PESOS DE LOS ELEMENTOS DEL INYECTOR DENSO 6521***



# COMPARACIÓN DE PESOS TOBERA

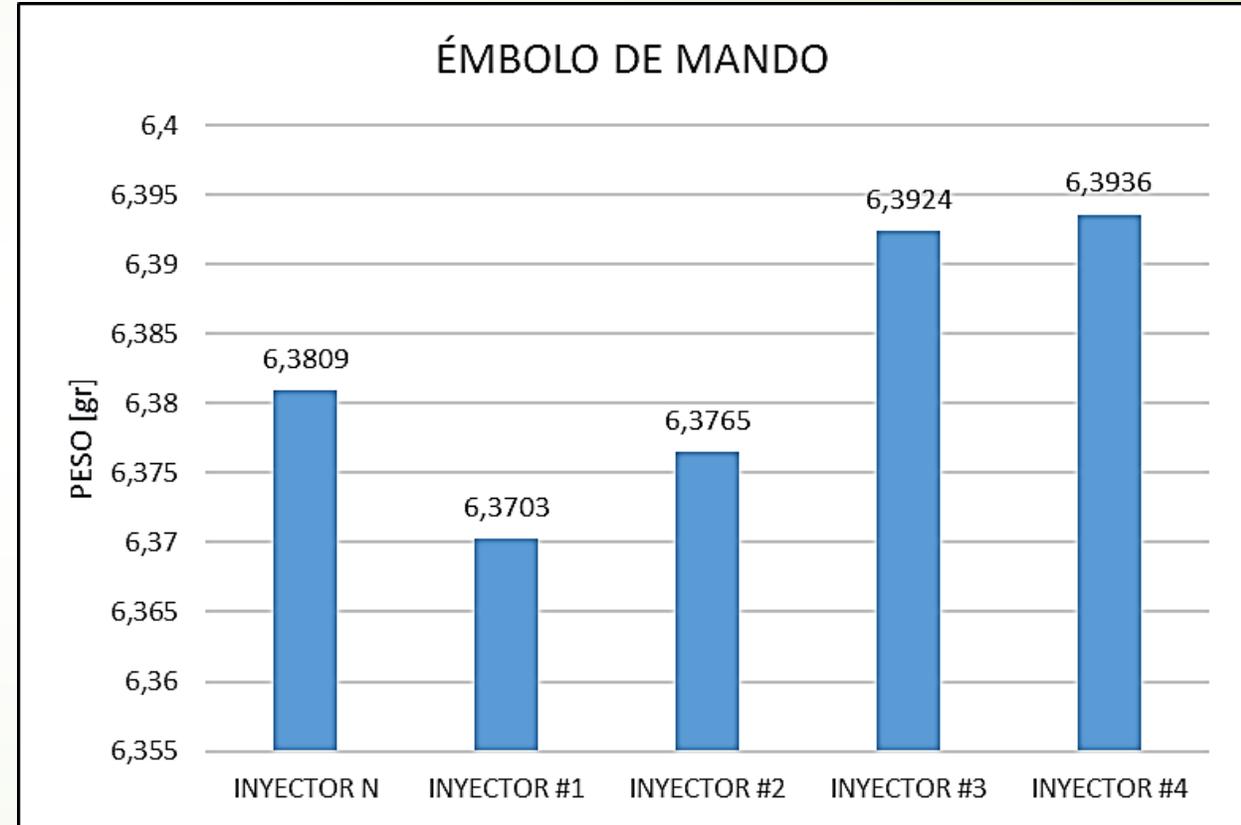
TOBERA	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	22.7029
Número 1 (50 horas)	22.6650
Número 2 (100 horas)	22.6331
Número 3 (150 horas)	22.5789
Número 4 (200 horas)	22.6987



PROMEDIO	DIFERENCIA	PORCENTAJE
22,6557 gr	0,1240gr	0,5%

# COMPARACIÓN DE PESOS ÉMBOLO DE MANDO

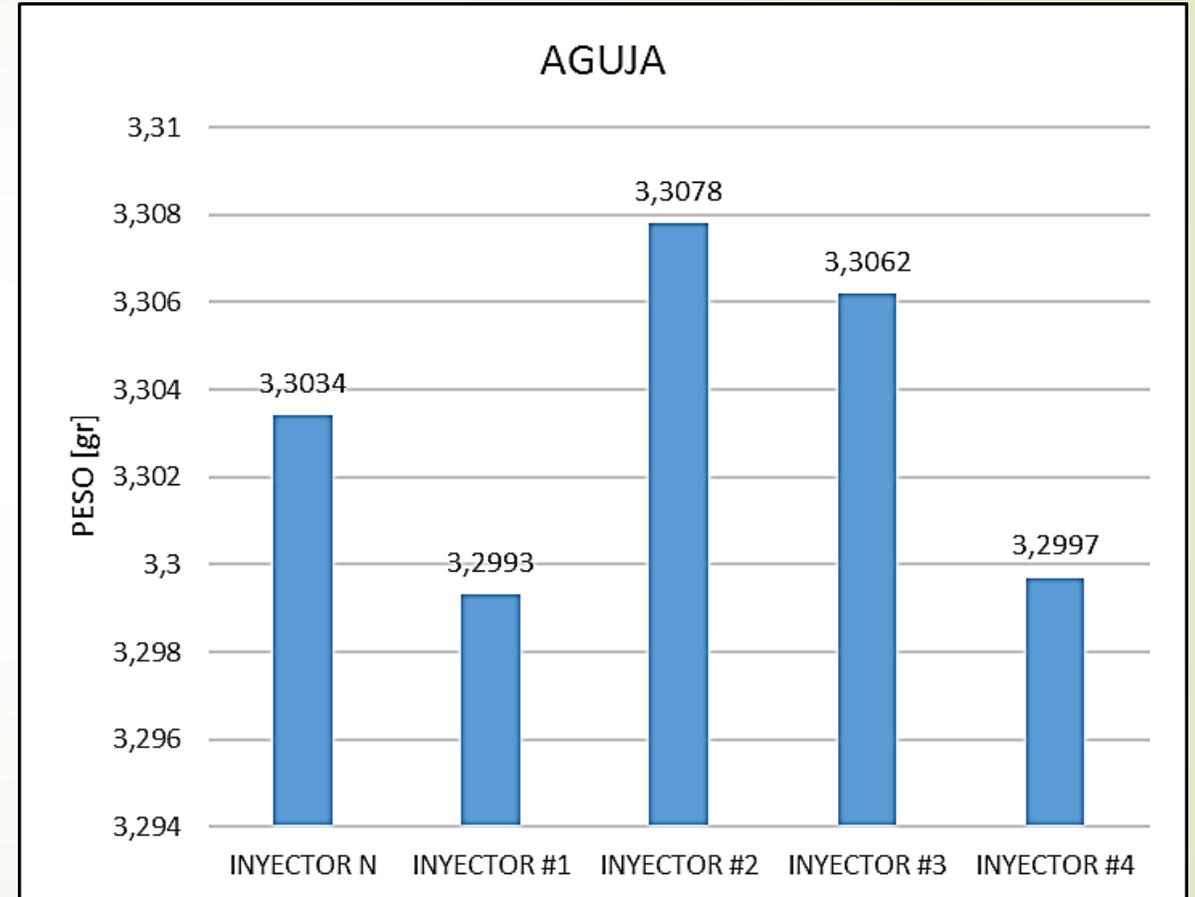
ÉMBOLO DE MANDO	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	6.3809
Número 1 (50 horas)	6.3703
Número 2 (100 horas)	6.3765
Número 3 (150 horas)	6.3924
Número 4 (200 horas)	6.3936



PROMEDIO	DIFERENCIA	PORCENTAJE
6,3827 gr	0,0233 gr	0,4%

# COMPARACIÓN DE PESOS AGUJA

AGUJA	
Inyector	Peso (gr.)
Nuevo	3.3034
Número 1 (50 horas)	3.2993
Número 2 (100 horas)	3.3078
Número 3 (150 horas)	3.3062
Número 4 (200 horas)	3.2997



PROMEDIO	DIFERENCIA	PORCENTAJE
3,3033 gr	0,0085 gr	0,3%

# CONCLUSIONES

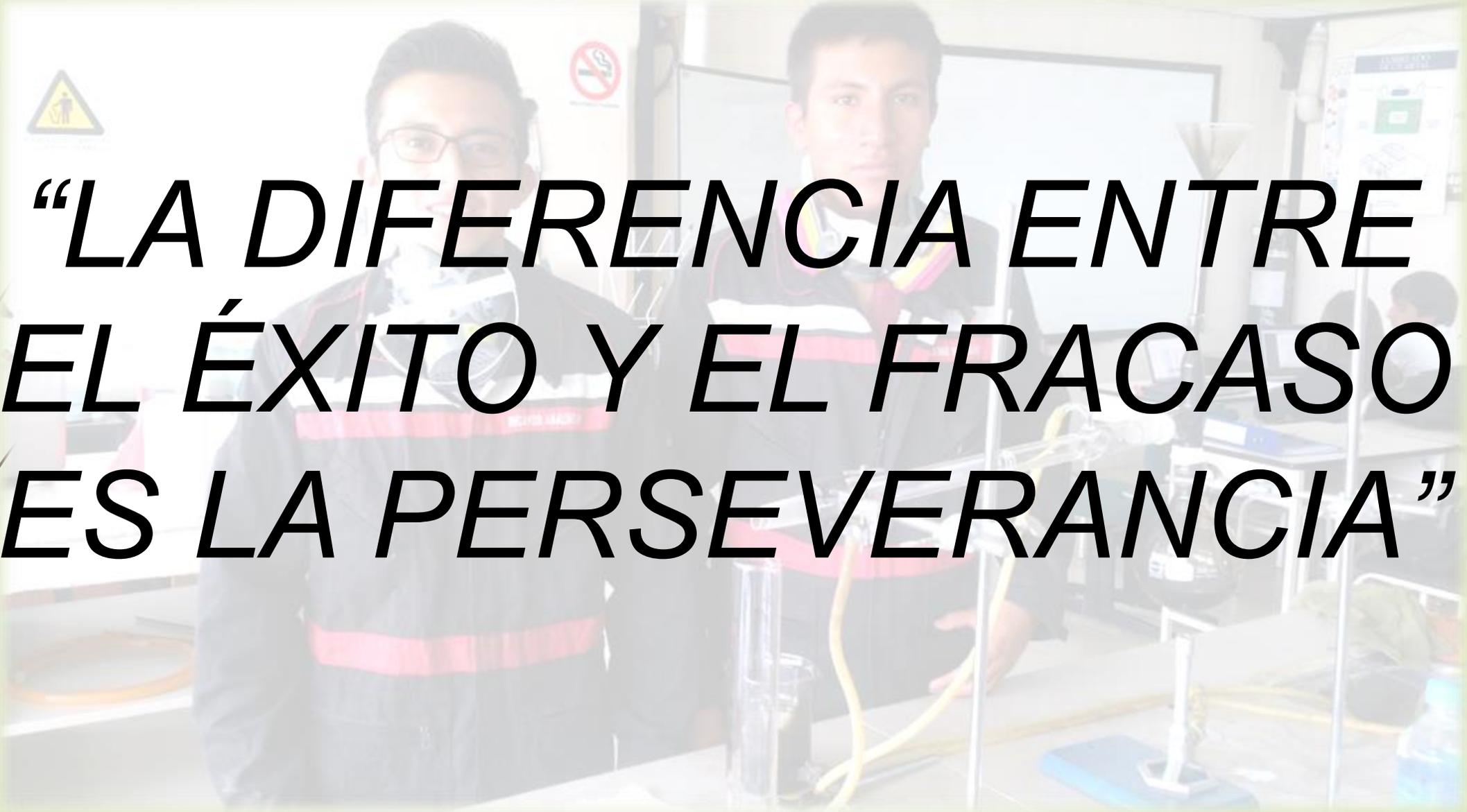
- El test de inductancia y resistencia al cual fueron sometidas las bobinas de activación de los inyectores indican parámetros de funcionamiento normales lo cual indica que no incide la mezcla combustible en el sector eléctrico del inyector.
- El test a plena carga contempla parámetros de volumen de entrega fuera de los rangos en el inyector #1 que excede con  $4.81 \text{ mm}^3$  respecto al inyector con cero horas de funcionamiento provocados por un asiento incorrecto entre la aguja del inyector y la tobera.
- Dentro del análisis de volumen de inyección y retorno se determina rangos de trabajo aceptables lo cual determina la viabilidad del uso de mezcla combustible a base de aceite de motor usado en sistemas de inyección CRDI.
- Dentro del análisis visual a los elementos del inyector se determina una homogeneidad lo cual ratifica rangos de trabajo normales de cada parte analizada.

- El análisis microscópico del embolo de mando y la aguja del inyector determina rangos de desgaste normales según la norma ISO 12156-1 que determina una marca de desgaste menor a 460  $\mu\text{m}$  en los sectores de mayor incidencia.
- El análisis microscopio del agujero de la tobera en los inyectores no presenta deformación por desprendimiento de material en la periferia del mismo.
- El análisis de rugosidad determina un grado de rugosidad N4 para los elementos de mayor exigencia como son el embolo de mando y la aguja del inyector que corresponde a superficies de alta presión según parámetro se rugosidad de superficies.
- El análisis de perdida de material en los elementos del inyector por diferencia de pesos no demuestra desgaste, manteniendo un porcentaje de pérdida mínimo.

# RECOMENDACIONES

- El equipo de seguridad industrial es obligatorio durante el desarrollo de la investigación, este equipo está formado por: guantes G80 de nitrilo resistentes a químicos ideales, guantes resistentes a altas temperaturas hechos a base de aramida, gafas protectoras, mascarilla con filtro para vapores orgánicos y gases ácidos 9-243, mandil.
- En desarrollo de las pruebas de durabilidad se debe controlar la temperatura de la mezcla combustible para evitar picos de presión en el sistema por cuestiones de densidad del fluido.
- Para la manipulación de los elementos internos del inyector se debe emplear guantes estériles con el fin de no contaminar los elementos.

- Los elementos deben estar libre de impurezas y humedad para evitar lecturas erróneas en la medición de su peso.
- Continuar con la investigación introduciendo nuevas pruebas de durabilidad de materiales y análisis de aceites posterior a su aplicación.
- Desarrollar nuevas investigaciones a distintas marcas de inyectores aplicando los protocolos establecidos en esta investigación para comparación y análisis de resultados.



***“LA DIFERENCIA ENTRE  
EL ÉXITO Y EL FRACASO  
ES LA PERSEVERANCIA”***