

# **TEMA:**



**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN DEL INYECTOR Y LA BOMBA DE ALTA PRESIÓN AL TRABAJAR CON MEZCLA COMBUSTIBLE OBTENIDO A PARTIR DEL ACEITE RECICLADO DE FRITURAS”**

# **AUTORES:**

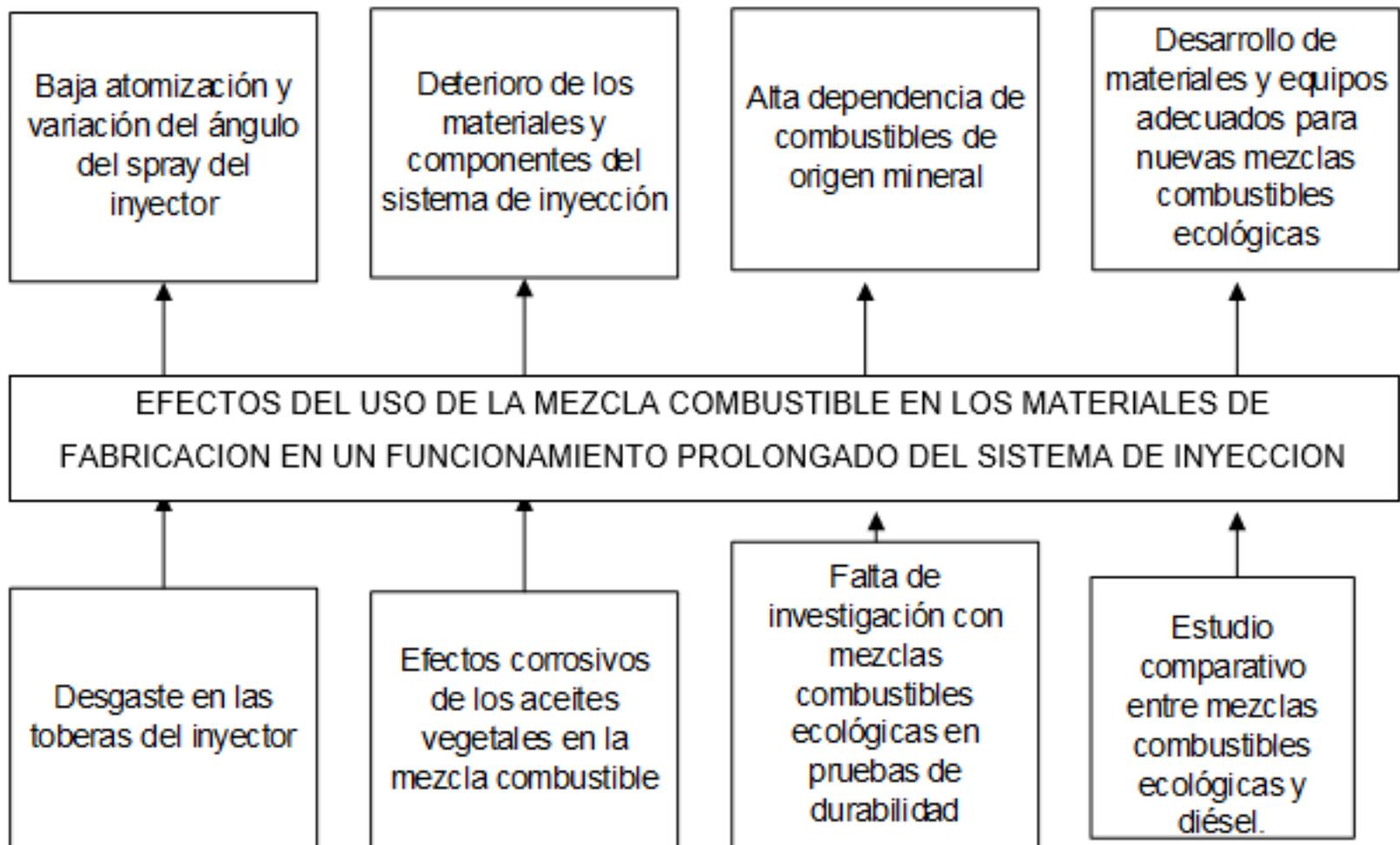
**BYRON SANTIAGO ACUÑA HIDALGO  
SANTIAGO JAVIER MORALES IZAMA**

# **DIRECTOR:**

**PhD. MARCOS GUTIÉRREZ**



# Planteamiento del problema



# Objetivos

## Objetivo General

- Analizar el comportamiento de los materiales de fabricación del inyector y la bomba de alta presión al trabajar con la mezcla combustible ecológica obtenida a partir del aceite reciclado de frituras para certificar su uso como un combustible alternativo.



# Objetivos Específicos



- Levantar información sobre inyectores, bomba de alta presión y temática inherente a la ejecución y realización del proyecto de investigación.
- Obtener la mezcla combustible a partir del aceite reciclado de frituras en el laboratorio de química.
- Seleccionar el inyector, la bomba de alta presión y puesta a punto del banco de pruebas.
- Realizar protocolo de pruebas de trabajo bajo un funcionamiento de 50, 100, 150 y 200 horas.



- Verificar el estado del inyector y la bomba de alta presión acorde a los periodos establecidos de trabajo.
- Analizar los datos obtenidos para determinar el comportamiento de los materiales de fabricación del inyector y la bomba de alta presión al trabajar con mezcla combustible ecológica obtenida a partir del aceite reciclado de frituras con el fin de establecer la viabilidad de la mezcla combustible como fuente energética alternativa en el Ecuador.

# Hipótesis



- El uso de la mezcla combustible ecológica mantendrá las características de durabilidad de los materiales de fabricación del inyector y la bomba de alta presión con respecto al combustible de origen mineral.

# Biodiesel en el Ecuador



El biodiesel no se ha potencializado como fuente energética alternativa en el país, existen diversos factores que impiden que estaciones de servicio abastezcan de este fluido a motores diésel ya sea para el transporte terrestre, aéreo y marítimo.

## *Decreto 1303*

Artículo 1. Declárese se interés nacional el desarrollo de biocombustibles en el país como medio para el impulso de fomento agrícola. La producción, el uso y el consumo de los biocombustibles responderán a una estrategia inclusiva de desarrollo rural, precautelando soberanía alimentaria y sostenibilidad ambiental



# Mezcla combustible B5



# BANCO DE PRUEBAS CRDI



## DATOS TÉCNICOS

Motor	Trifásico: 220V / 23,2 A Potencia: 7,5 HP
Bomba de alta presión	Denso HP3 Mecánica
Capacidad del estanque de fluido	22 GALONES
Filtro de Combustible	GM MWM diésel 93349123
Inyectores	Denso 0091
Depósito de inyección	3 galones

## UNIDADES

	Rango	Unidad	Resolución
Presión	0 – 30000 Psi	psi	1 psi
Caudal	0 – 100 ml / # inyecciones	ml / # inyecciones	0,1 ml / # inyecciones
Tensión	0 – 5 V	V	0.01 V
Volumen	0 -100 ml	MI	0,1 ml



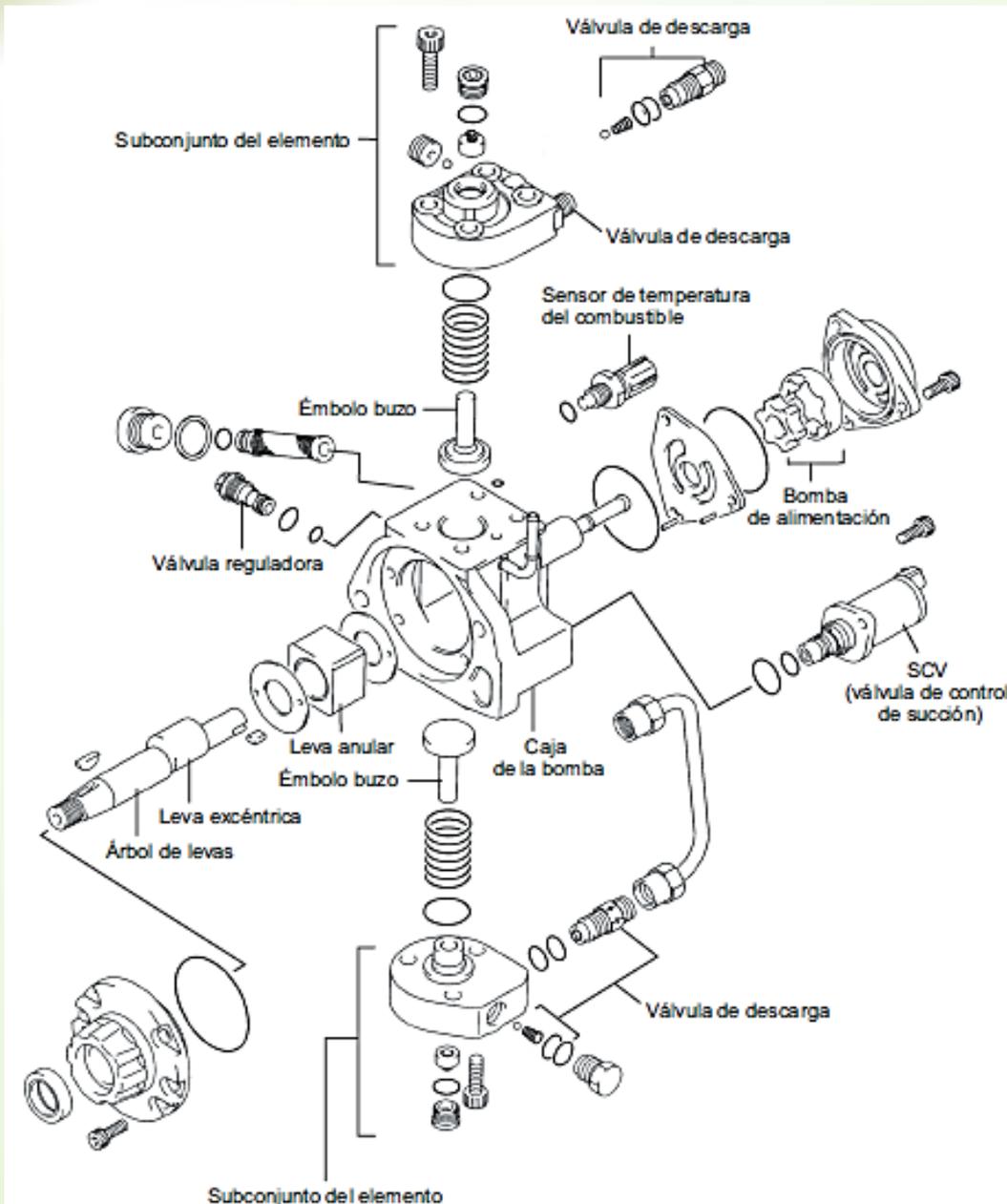


# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

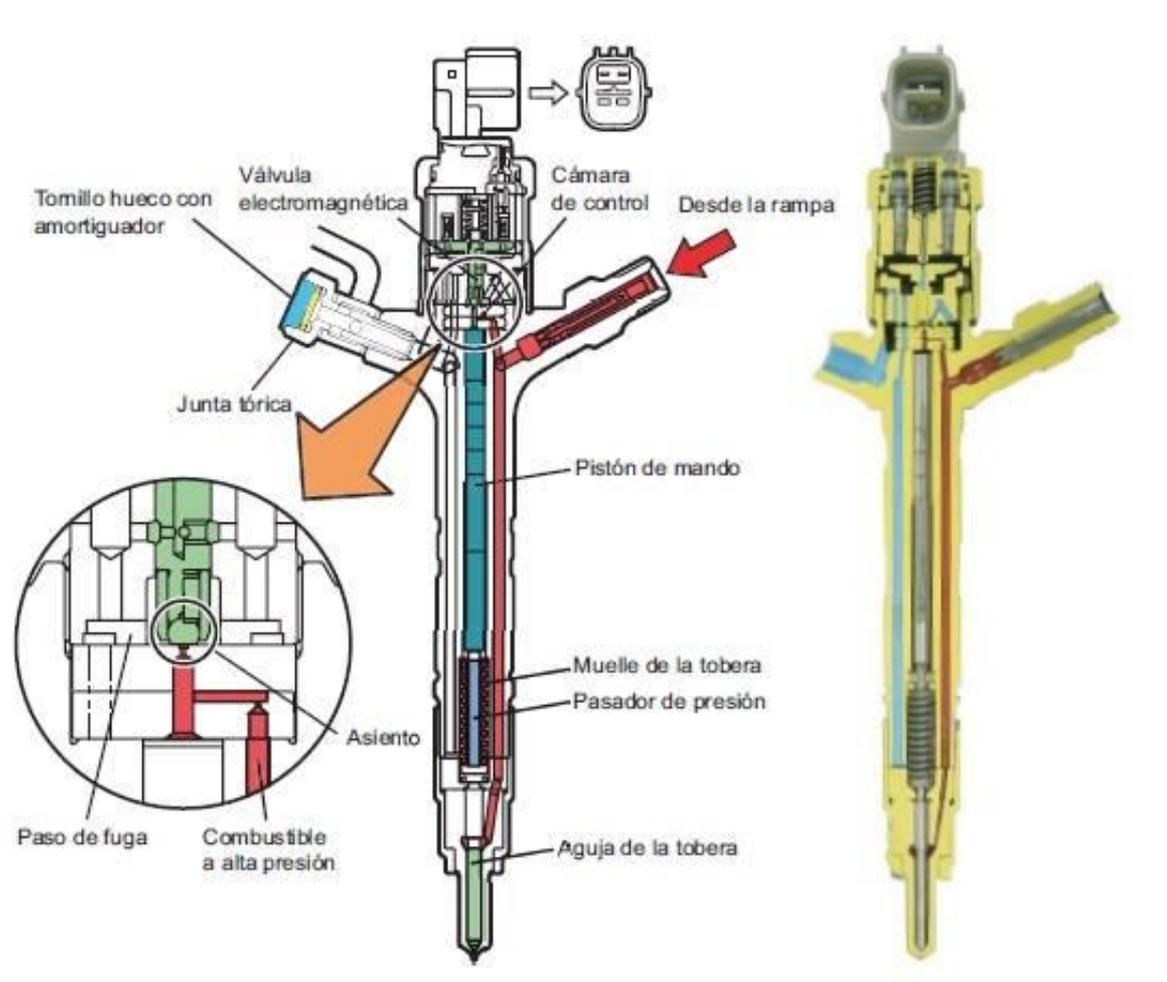


# BOMBA DE ALTA PRESIÓN DENSO



Capacidad de generar hasta 1800bar por lo que son utilizadas normalmente en banco de pruebas CRDI, además son de fácil manejo y desarmado en caso de reparación.

# INYECTOR DENSO X2

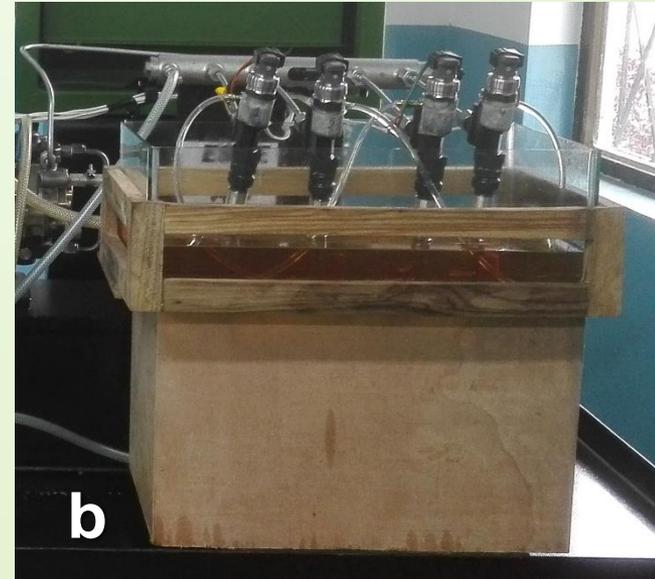


Parámetro	Valor
Voltaje (V)	80V
Amperaje(A)	80A(conjunto) 20A(c/u)
Resistencia(Ohm)	0,5Ω
Presión de apertura	200bar
Presión máxima	1800bar

# PUESTA A PUNTO



## Depósito de inyección sumergida



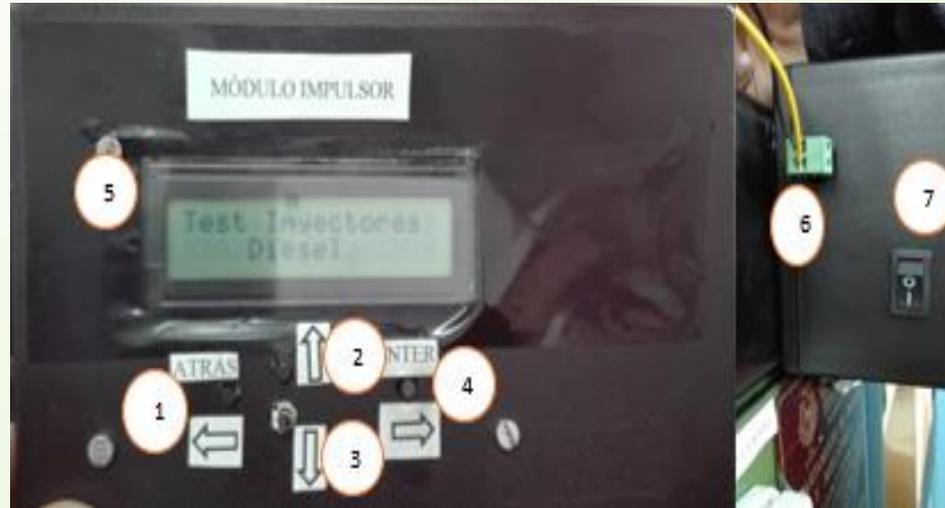
Permitir el proceso de inyección de forma tal que no existe pérdida de combustible, sumergiéndolo en el mismo y evitando que en la inyección el carburante no se atomice

# Sistema de refrigeración del combustible



- Enfriador de aceite del vehículo Suzuki SZ
- Mantiene una temperatura promedio de 25 a 30 °C

# Módulo impulsor de los inyectores



1. Pulsador 1
2. Pulsador 2
3. Pulsador 3
4. Pulsador 4
5. Alimentación de voltaje
6. Switch de encendido



- Orden de encendido
- On/Off inyectores
- Tiempo de inyección
- Tiempo de reposo de inyección
- Tiempo de trabajo

# Cálculo del tiempo de inyección



Elaborado por:	© Ing. Marcos Gutiérrez PhD	
Fecha:	21/3/2016	
Potencia (P)	kW	116
rpm	rpm	2800
Consumo específico de combustible (b)	gr / kW h	358,3
Consumo específico de combustible (b)	L / h	47,10213663
Consumo específico de combustible aproximado a media potencia y a 100km/h (b1/2p)	L / 100km	14,13064099
Número de cilindros (n)		4
Potencia por cilindro (Pc)	kW	29,08225
Motor de 4 tiempos Factor 2		2
Motor de 2 tiempos Factor 1		
Duración de la inyección en grados del cigüeñal (Ge)	° giro del cigüeñal	24
Densidad del biodiesel (ρ)	kg / m <sup>3</sup>	884,9
Cantidad de combustible inyectado (Kv)	L / min	0,78503561
Cantidad de combustible inyectado por cilindro (Kvc)	L / min	0,196258903
Volumen inyectado por cilindro (Vc)	mm <sup>3</sup>	140,1849304
Tiempo de la inyección (Ti)	ms	1,428571429
Período de la inyección (T)	ms	42,85714286
Período de la inyección en el ciclo fin de la compresión inicio del escape (Te)	ms	9,285714286

## Tiempo de la inyección (T<sub>i</sub>)

$$T_i = \frac{G_c}{rpm}$$

$$T_i = \frac{24}{2800 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{360}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60000 \text{ ms}}}$$

$$T_i = 1,4285 \text{ ms}$$

## Período de la inyección en el ciclo fin

### de la compresión inicio de la explosión (T<sub>e</sub>)

$$T_e = \frac{180 - 24}{rpm}$$

$$T_e = \frac{180 - 24}{2800 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{360}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60000 \text{ ms}}}$$

$$T_e = 9,2857 \text{ ms}$$



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

# Banco de pruebas CRDI



# Protocolo de pruebas en la bomba de alta presión DENSO



## Desmontaje



# Desarmado



# Armado



# Montaje



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



# Protocolo de pruebas en la bomba de alta presión e inyector Denso



**Prueba comparativa**



**Prueba gravitatoria**





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

# **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

**Pruebas gravitatorias**

**Bomba de alta presión**

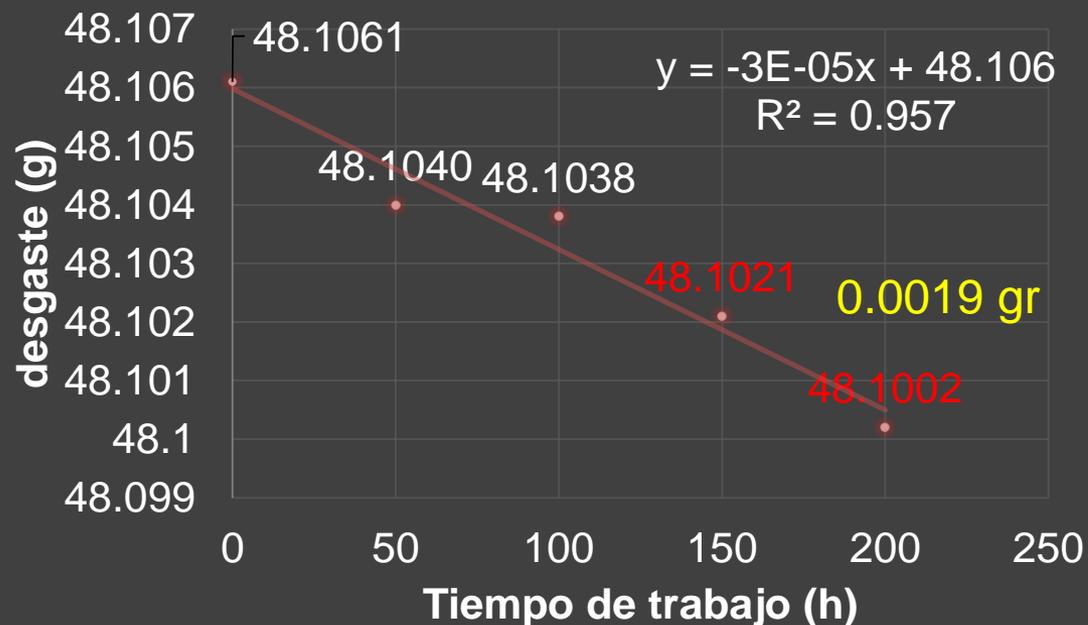
# Separador



Descripción del elemento	0	50	100	150	200	Horas Km
	0	2000	4000	6000	8000	
Separador	48.1061	48.1040	48.1038	48.1021	48.1002	gramos

## Estimación de desgaste del separador

### Desgaste del separador



Desgaste	Horas	Kilómetros
47.356	2500	100000
48.076	1000	40000
48.079	900	36000
48.082	800	32000
48.085	700	28000
48.088	600	24000
48.091	500	20000
48.094	400	16000
48.097	300	12000

$R^2$ = coeficiente de determinación

El promedio de desgaste es de 0,001475 gr

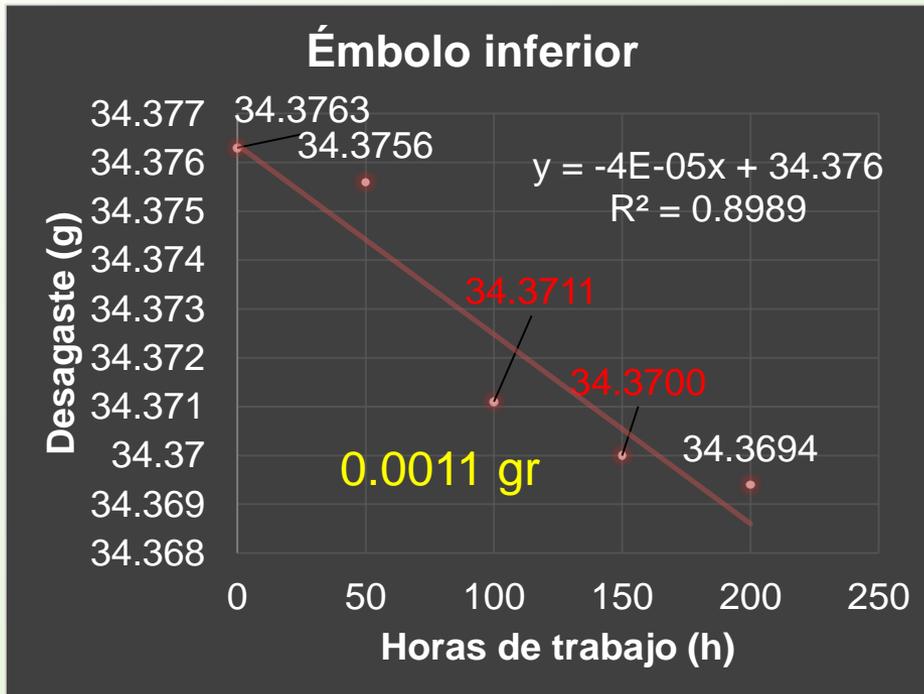
# Émbolo buzo inferior



Descripción del elemento	0	50	100	150	200	Horas Km
	0	2000	4000	6000	8000	
Émbolo buzo inferior	34.3763	34.3756	34.3711	34.3700	34.3694	gramos

## Estimación de desgaste del émbolo buzo inferior

Desgaste	Horas	Kilómetros
33.376	2500	100000
34.336	1000	40000
34.34	900	36000
34.344	800	32000
34.348	700	28000
34.352	600	24000
34.356	500	20000
34.36	400	16000
34.364	300	12000



$R^2 =$  coeficiente de determinación

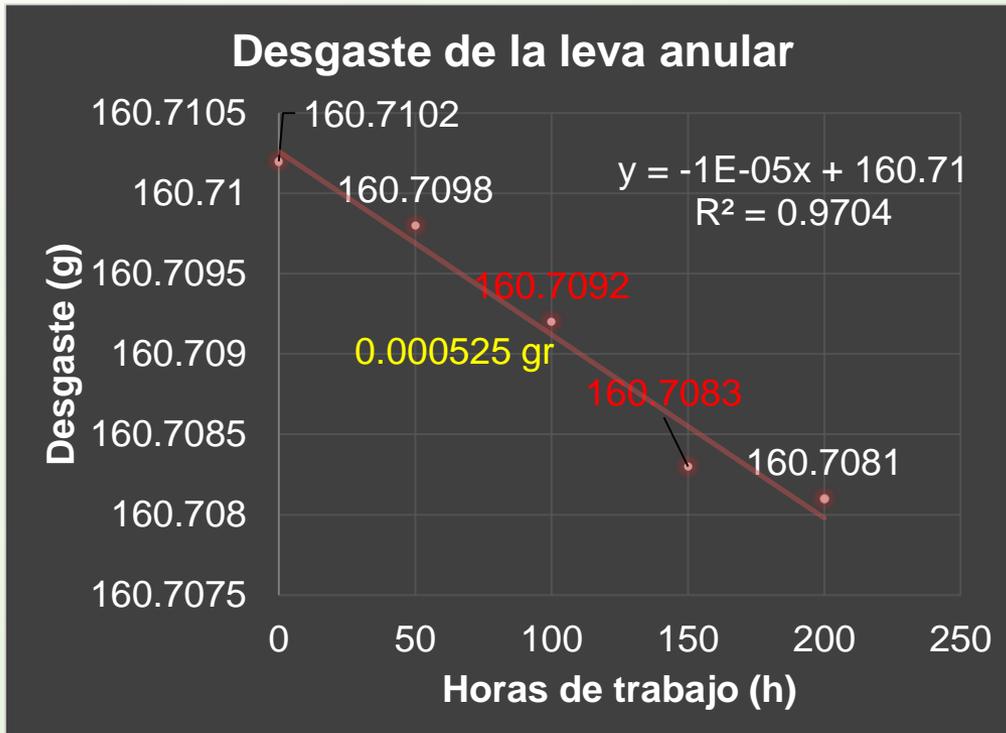
El promedio de desgaste es de 0,001725 gr

# Leva anular



Descripción del elemento	0	50	100	150	200	Horas Km
	0	2000	4000	6000	8000	
Leva anular	160.7102	160.7098	160.7092	160.7083	160.7081	gramos

## Estimación de desgaste de la leva anular



Desgaste	Horas	Kilómetros
160.46	2500	100000
160.7	1000	40000
160.701	900	36000
160.702	800	32000
160.703	700	28000
160.704	600	24000
160.705	500	20000
160.706	400	16000
160.707	300	12000

$R^2$ = coeficiente de determinación

El promedio de desgaste es de 0,000225 gr

## Pruebas comparativas

### Separador cara inferior

0 horas



50 horas



100 horas



150 horas

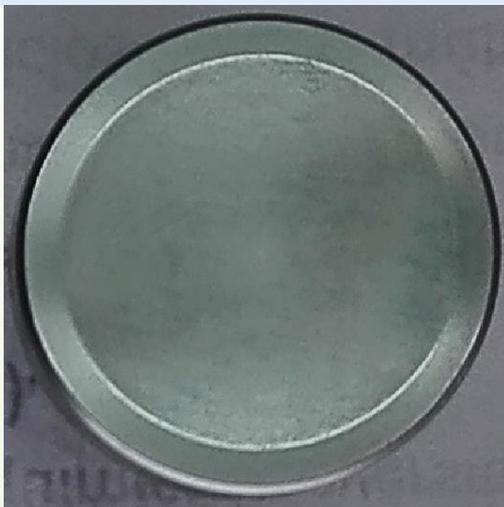


200 horas



## Émbolo buzo inferior

0 horas



50 horas



100 horas



150 horas



200 horas

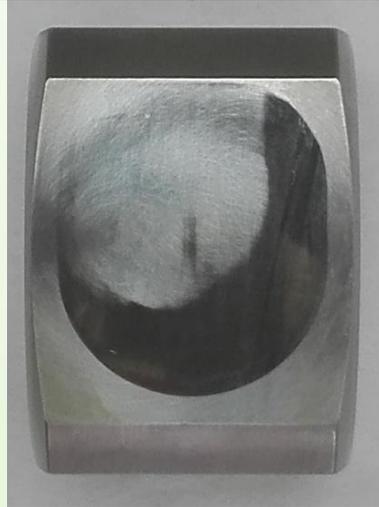


## Leva frontal

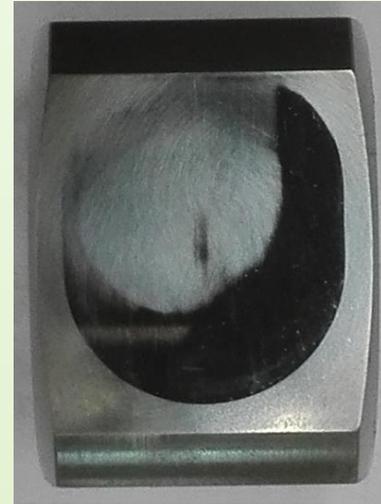
0 horas



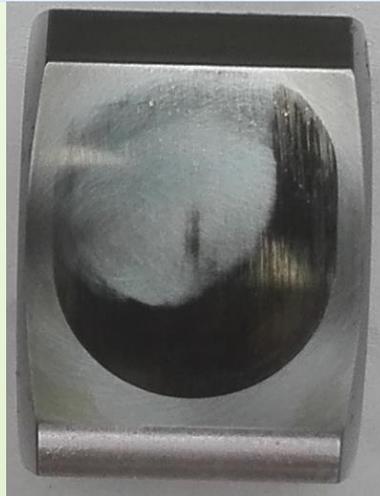
50 horas



100 horas



150 horas



200 horas



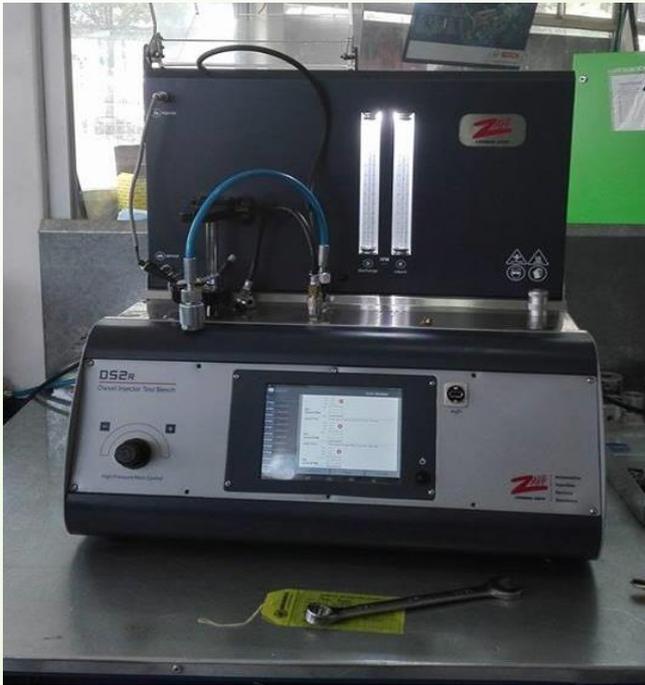
# VIDEO



# Protocolo de pruebas en el inyector DENSO



# Protocolo de funcionamiento mecánico del inyector



Banco de pruebas D52R ZAPP



- Inductancia
- Resistencia
- Carga
  - Alta
  - Media
  - Baja



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# ANÁLISIS DE RESULTADOS

## Pruebas gravitatorias

### Inyector

# Arandela de presión inferior



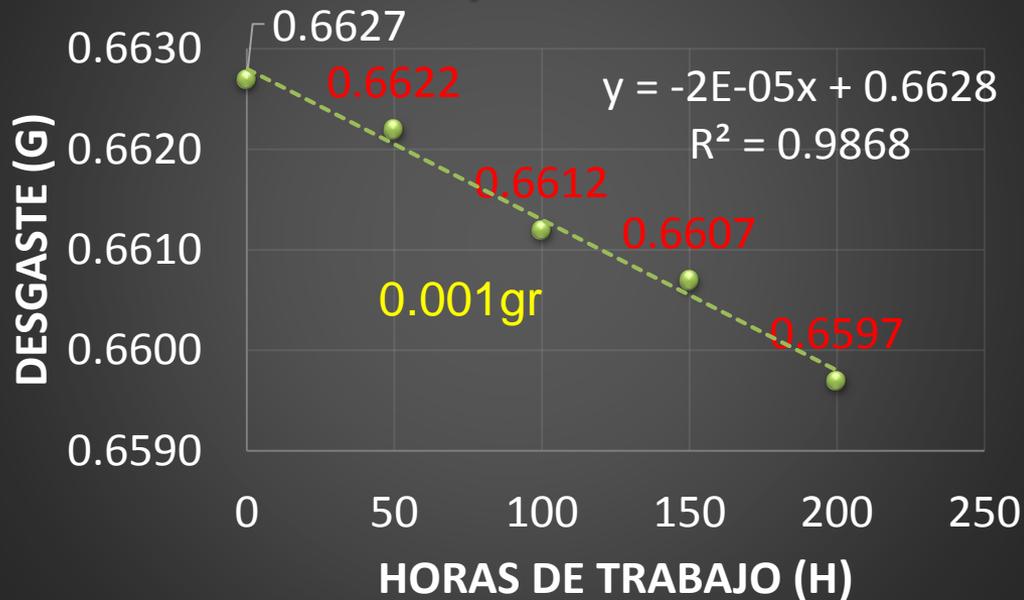
Descripción del elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	2000	4000	6000	8000	Km
Arandela de presión inferior	0,6627	0,6622	0,6612	0,6607	0,6597	gramos

## Estimación de desgaste de la arandela de presión inferior

Desgaste    Horas    Kilómetros

0.6128	2500	100000
0.6428	1000	40000
0.6448	900	36000
0.6468	800	32000
0.6488	700	28000
0.6508	600	24000
0.6528	500	20000
0.6548	400	16000
0.6568	300	12000

## Gráfica de desgaste de la arandela de presión inferior



$R^2 =$  coeficiente de determinación

El promedio de desgaste es de 0,0008 gr



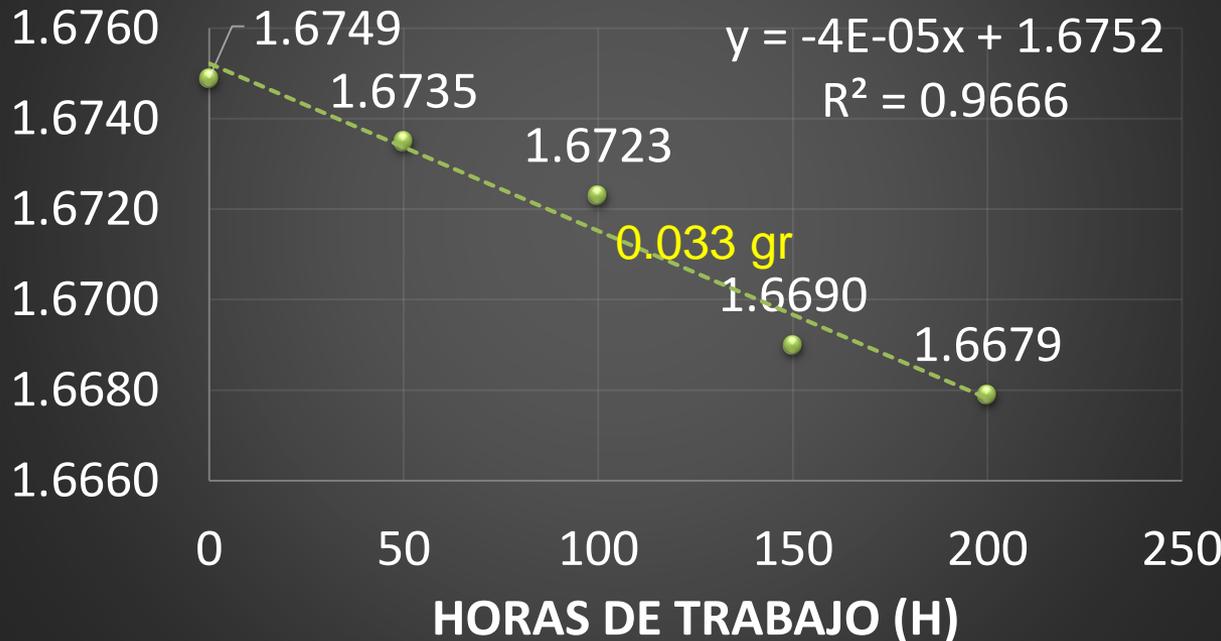
# Varilla de empuje



Descripción del elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	2000	4000	6000	8000	Km
Varilla de empuje	1,6749	1,6735	1,6723	1,6690	1,6679	gramos

## Estimación de desgaste de la varilla de empuje

### Desgaste de la varilla de empuje



Desgaste	Horas	Kilómetros
1.5752	2500	100000
1.6352	1000	40000
1.6392	900	36000
1.6432	800	32000
1.6472	700	28000
1.6512	600	24000
1.6552	500	20000
1.6592	400	16000
1.6632	300	12000

R<sup>2</sup>= coeficiente de determinación

El promedio de desgaste es de 0,0018 gr

# Pruebas Comparativas



## Comprobación del material en la arandela de presión

Arandelas de ajuste de presión cara superior

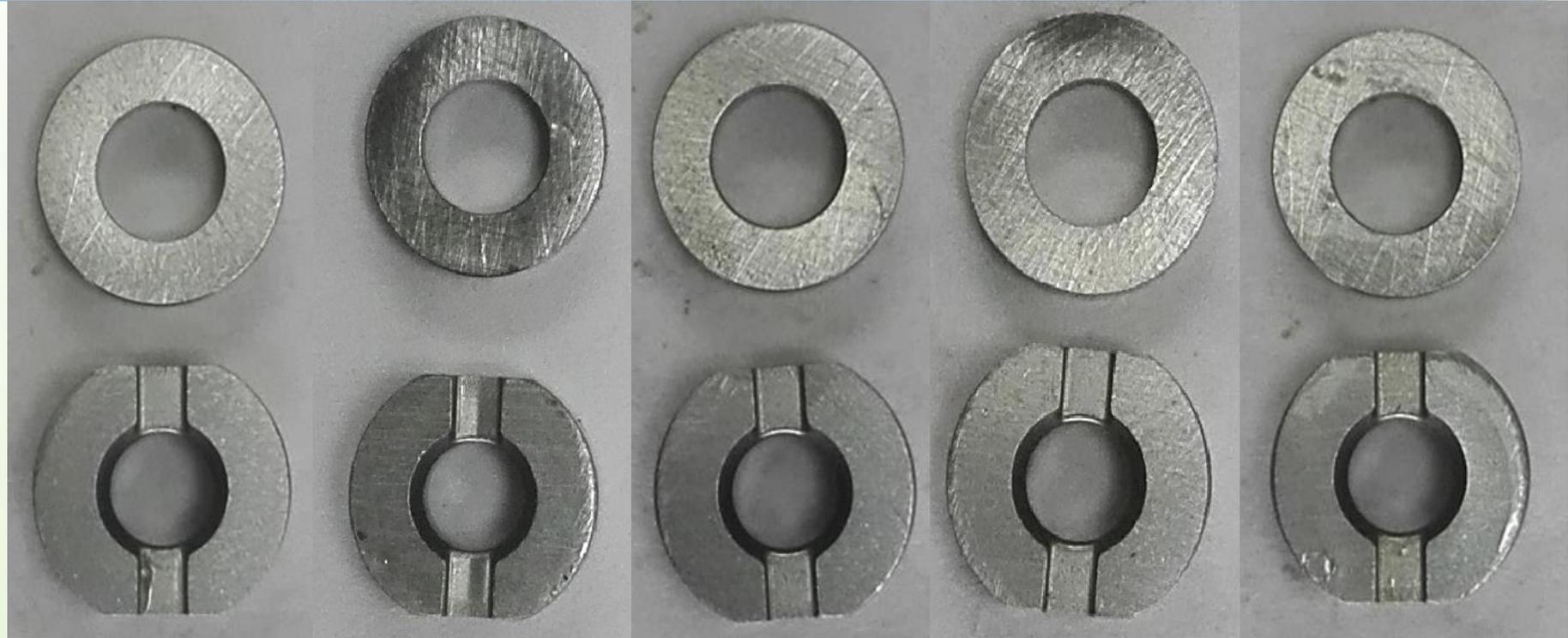
0 horas

50 horas

100 horas

150 horas

200 horas



# Comprobación del material en La varilla de empuje



## Varilla de empuje

0 horas

50 horas

100 horas

150 horas

200 horas



# ANÁLISIS DE RESULTADOS

## Pruebas de funcionamiento mecánico

### Inductancia

Parámetros	Valor	Unidad
Ciclos	2000	Strokes
Presión	170	Bar
Pulso	955	μseg

INDUCTANCIA (μH)



# ANÁLISIS DE RESULTADOS

Parámetros	Valor	Unidad
Ciclos	2000	Strokes
Presión	170	Bar
Pulso	955	μseg

## Pruebas de funcionamiento mecánico

### Resistencia

#### RESISTENCIA ( $\Omega$ )



# ANÁLISIS DE RESULTADOS

## Pruebas de funcionamiento mecánico

Parámetros	Valor	Unidad
Ciclos	210	Strokes
Presión	1600	Bar
Pulso	955	µseg

## Máxima Carga (Retorno)

Retorno de combustible en carga maxima (mm3/STRK)

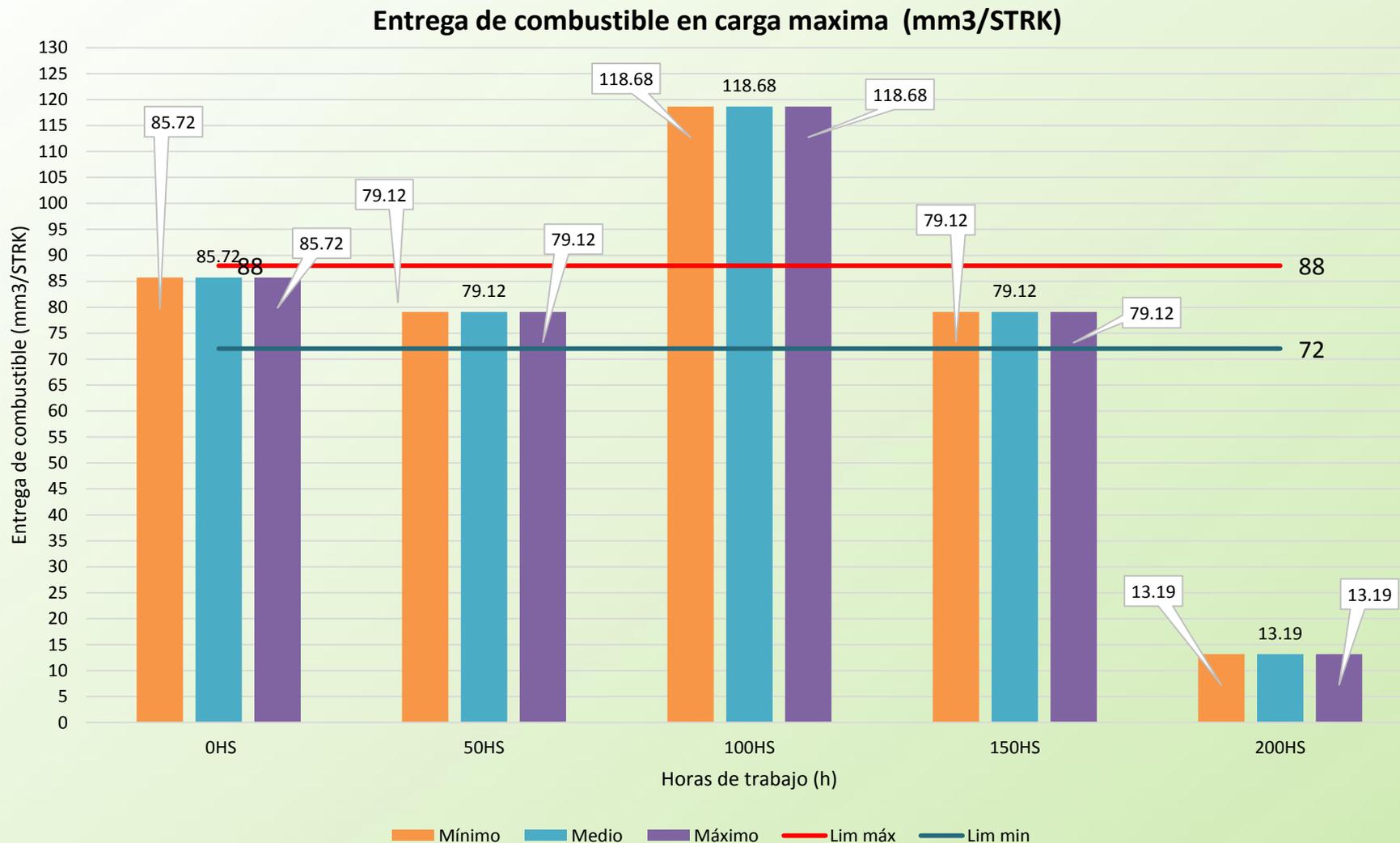


# ANÁLISIS DE RESULTADOS

## Pruebas de funcionamiento mecánico

### Máxima Carga (Entrega)

Parámetros	Valor	Unidad
Ciclos	210	Strokes
Presión	1600	Bar
Pulso	955	µseg



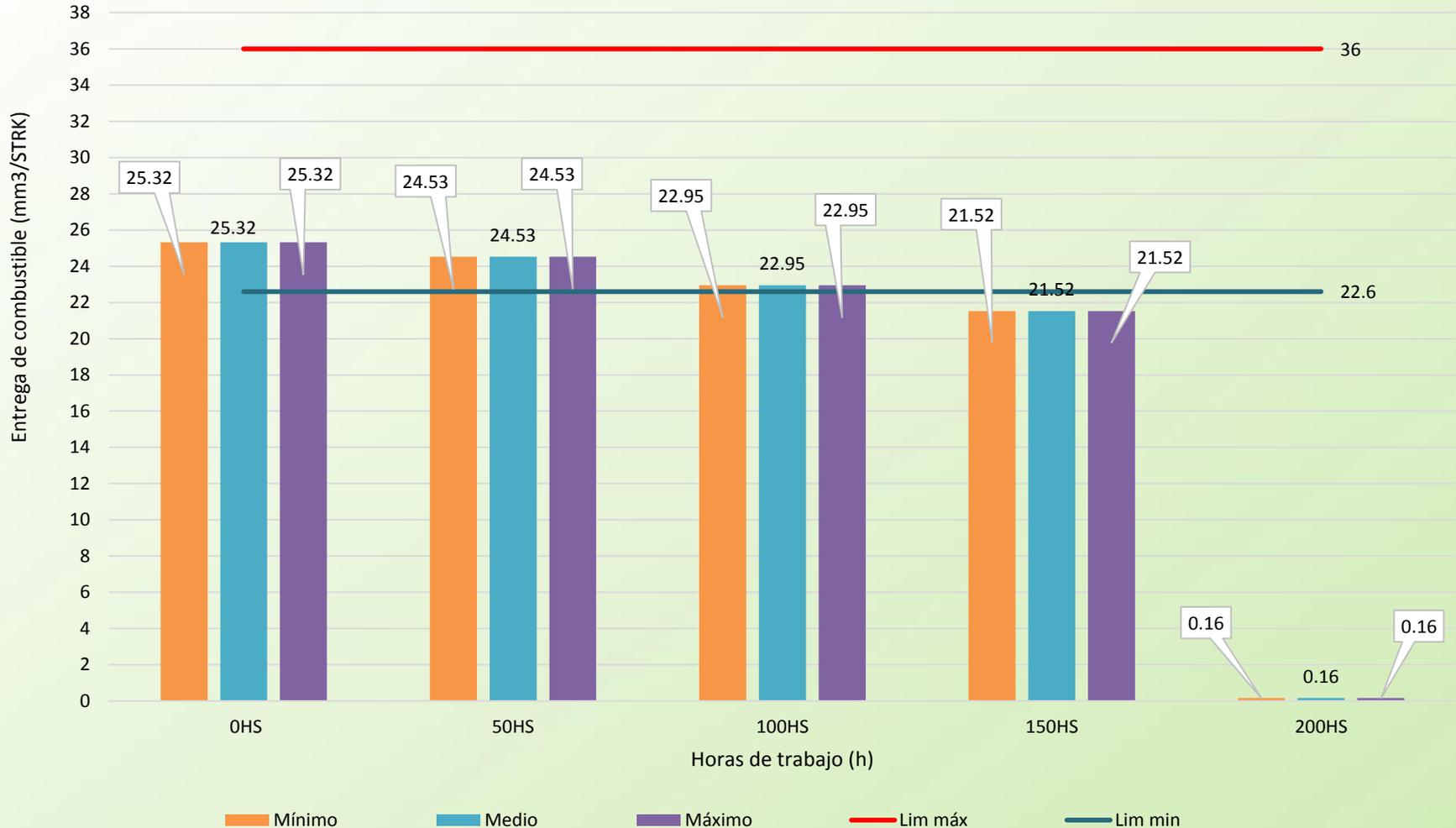
# ANÁLISIS DE RESULTADOS

## Pruebas de funcionamiento mecánico

### Media Carga (Entrega)

Parámetros	Valor	Unidad
Ciclos	1000	Strokes
Presión	800	Bar
Pulso	735	µseg

Entrega de combustible en media carga A (mm<sup>3</sup>/STRK)

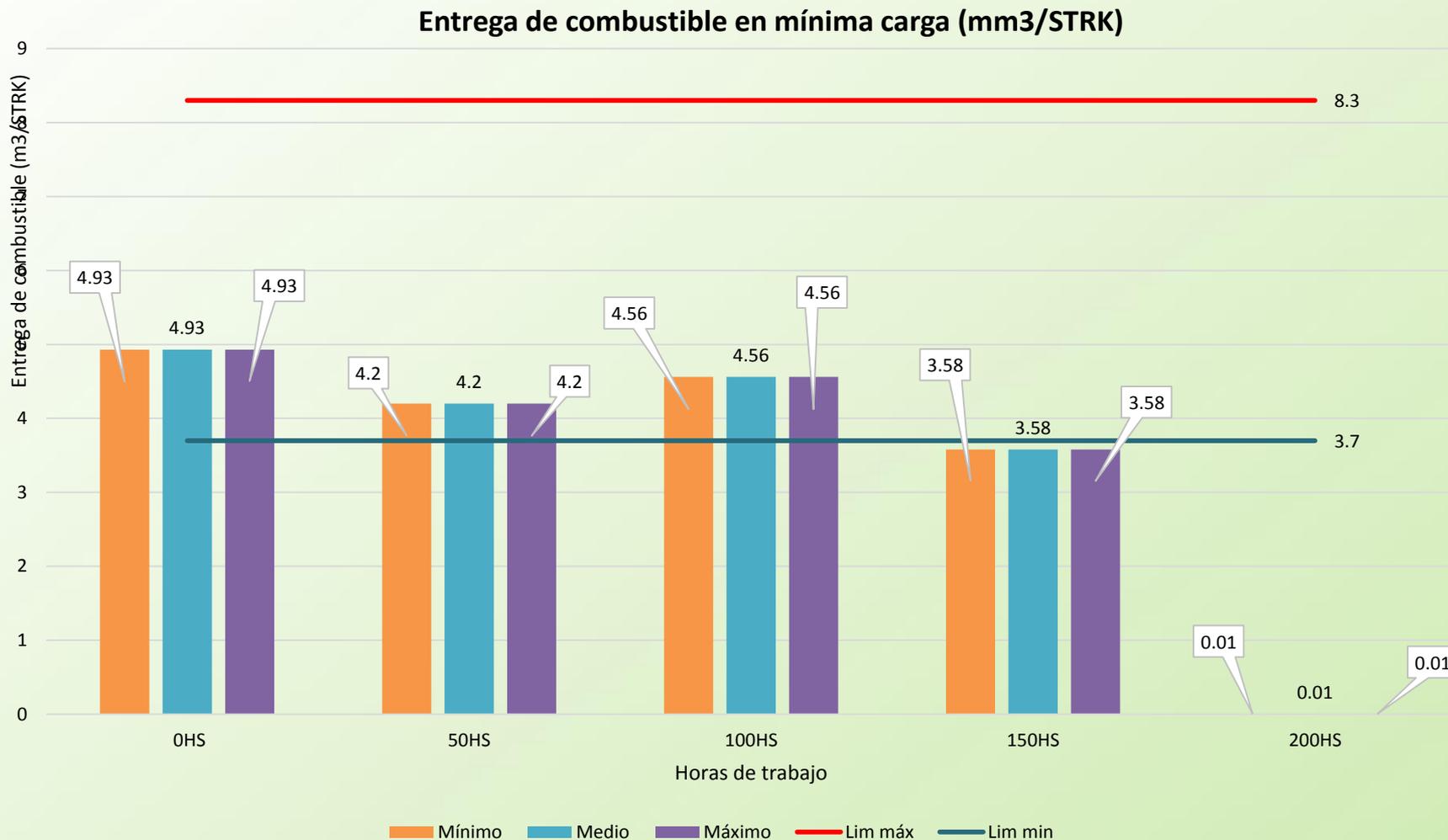


# ANÁLISIS DE RESULTADOS

## Pruebas de funcionamiento mecánico

### Mínima Carga (Entrega)

Parámetros	Valor	Unidad
Ciclos	2000	Strokes
Presión	290	Bar
Pulso	765	µseg



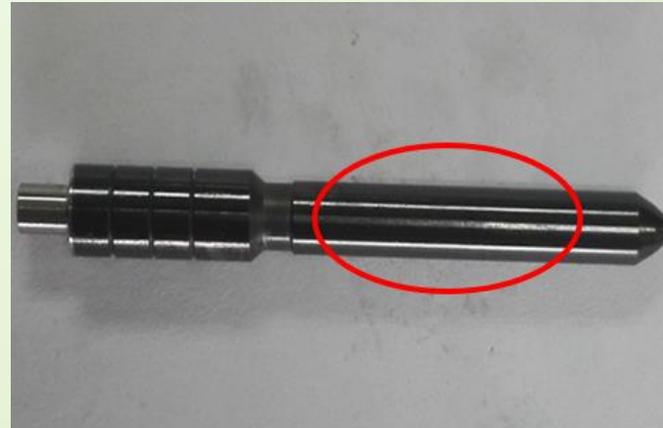
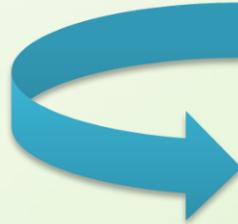
# Protocolo de visualización microscópica



Microscopio Meiji Techno



- 100 micras de precisión
- Posición
- Luz



# ANÁLISIS DE RESULTADOS

## Pruebas de visualización microscópica

### Aguja

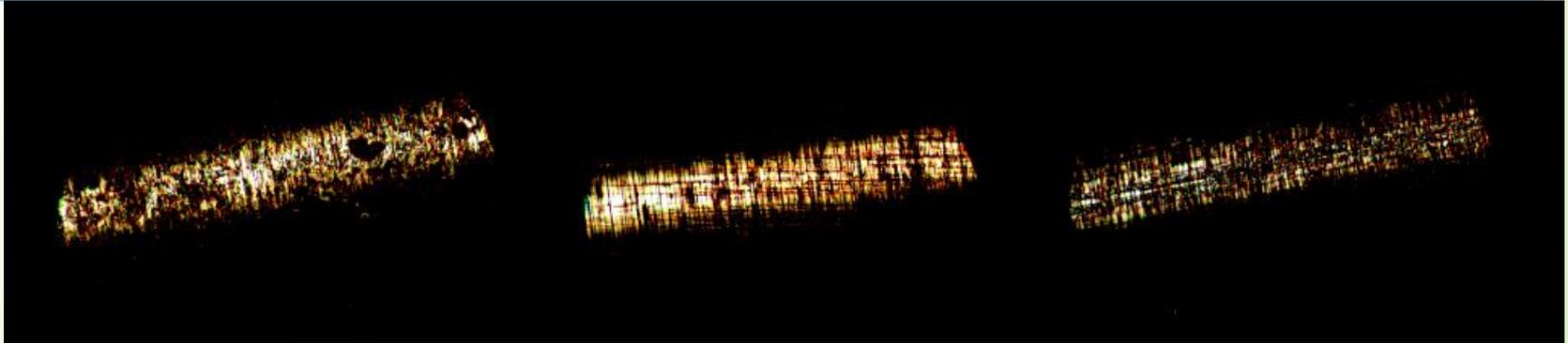


#### Tiempo de trabajo

0 horas

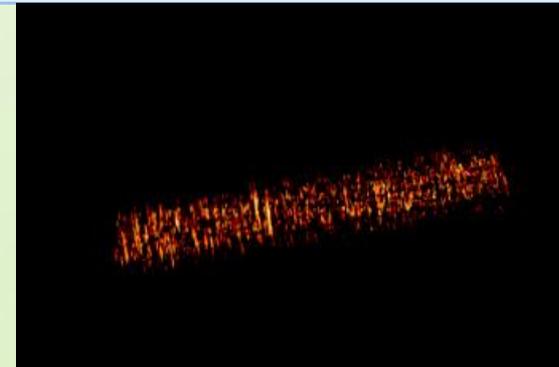
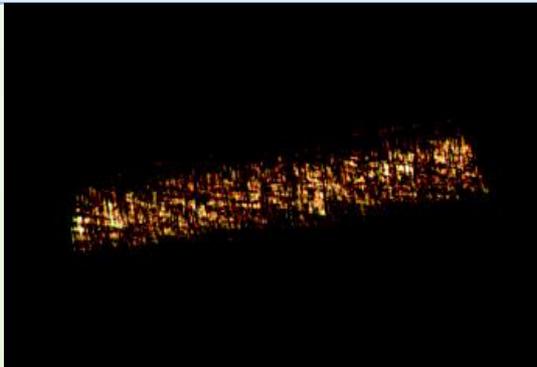
50 horas

100 horas



150 horas

200 horas



# ANÁLISIS DE RESULTADOS

## Pruebas de visualización microscópica

### Orificio de la portatobera

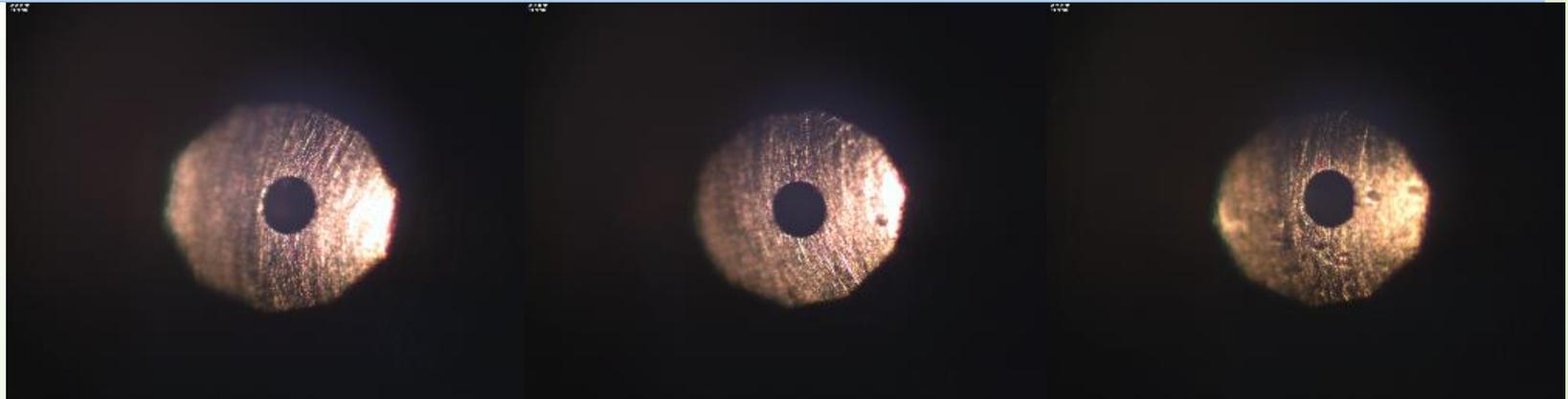


Tiempo de trabajo

0 horas

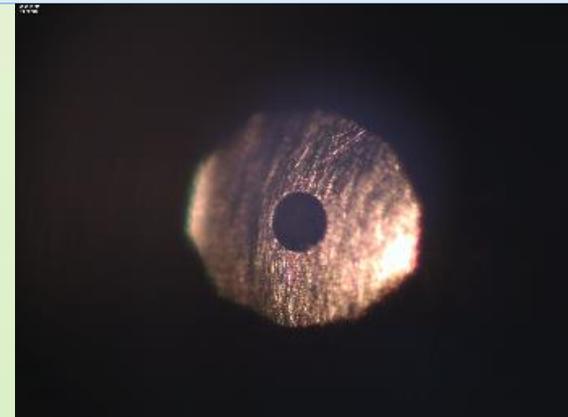
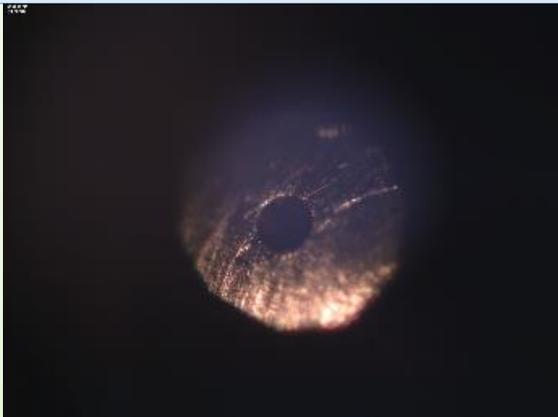
50 horas

100 horas



150 horas

200 horas



# Conclusiones

- La mezcla combustible B5 obtenida a partir de aceite reciclado de frituras no es una alternativa energética sostenible para el uso en el sistema de inyección diésel, porque se ha comprobado que los materiales del inyector y la bomba de suministro de alta presión presentan anomalías de deterioro que afectan en el funcionamiento mecánico y electrónico de cada componente por cuanto la hipótesis “El uso de la mezcla combustible ecológica mantendrá las características de durabilidad de los materiales de fabricación del inyector y la bomba de alta presión con respecto al combustible de origen mineral” comprueba que la durabilidad con mezcla combustible ecológica no mantiene ni aumenta la durabilidad de los componentes del sistema de inyección en comparación con el diésel puro.

# Conclusiones

- Los ensayos de durabilidad se efectuaron limitando los periodos de trabajo de cada inyector, tomando en cuenta: los cálculos de referencia, presión de inyección, temperatura de la mezcla combustible, componentes de inyección y electrónicos, que mantengan un entorno seguro de trabajo.
- Los componentes de la bomba de suministro de alta presión y del inyector se examinaron en periodos de 50, 100, 150, y 200 horas de trabajo de manera cualitativa y gravitatoria. Los resultados obtenidos muestran un ligero desgaste que no refleja influencia en el correcto funcionamiento de la bomba de suministro de alta presión.



- Las pruebas de funcionamiento mecánico del inyector tales como: inductancia, resistencia, entrega y retorno de combustible otorgaron resultados significativos de daño en proporción directa a las horas de trabajo de cada inyector. Es posible que compuestos residuales productos de la transesterificación del biodiesel con óxido de calcio CaO como catalizador sean la causa de estas anomalías.
- Esta investigación promueve la implementación de una reingeniería en el inyector, para el uso de la mezcla combustible B5 a partir de aceite frituras.

# Recomendaciones



- La innovación de un banco de pruebas con características operacionales de trabajo para ensayos de durabilidad de materiales.
- La investigación conlleva a realizar otros estudios con el uso de mezcla combustible B5 en los diferentes sistemas del motor de combustión interna, como también, efectuar las pruebas de durabilidad en condiciones reales de manejo.
- Es necesario realizar análisis e investigaciones de aditivos ecológicos para el uso sostenible de la mezcla B5 sin afectar la durabilidad de los componentes del sistema de inyección siendo una solución real y práctica al tema de la contaminación y de la implementación de mezclas combustibles ecológicas.



**El hombre necesita  
dificultades porque son  
necesarias para disfrutar el  
éxito**