



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

**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA**  
**AUTOMOTRIZ**

**“ANÁLISIS DEL DESGASTE DEL PULVERIZADOR Y COMPORTAMIENTO  
ELECTRÓNICO DE INYECTORES CRDI Y BOMBA DE ALTA PRESIÓN CP AL  
UTILIZAR LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIESEL SURFACTANTES DE AGUA”**

**AUTORES:**                    **JULIETA BASSANTE BARBERÁN**  
   **SANTIAGO DÍAZ VIVANCO.**

**ING. GERMÁN ERAZO**  
**DIRECTOR DE TESIS**





**ESPE**  
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CAMINO A LA EXCELENCIA

“El secreto para una vida exitosa es nuestro propósito y luego hacerlo”

Henry Ford



# Objetivo General

Analizar el desgaste del pulverizador y comportamiento electrónico del inyector y bomba de alta presión del sistema de inyección CRDI al trabajar con mezcla combustible diésel surfactantes de agua para determinar la factibilidad de su aplicación como combustible en el sistema de inyección diésel.



# Objetivos Específicos

Generar la mezcla combustible diésel surfactantes Generar de agua al 20% de concentración, aplicando el proceso establecido en investigaciones anteriores.

Realizar el protocolo de pruebas de durabilidad de los elementos internos del inyector y bomba de alta presión con la mezcla combustible en intervalos de 50, 100, 150 y 200 horas de funcionamiento.

Realizar pruebas del comportamiento electrónico de inductancia. resistencia a la bobina y aislamiento del inyector Denso.

Analizar el caudal de entrega, estanqueidad y caudal de retorno del inyector Denso en un banco de pruebas CRDI



Verificar el estado de los componentes internos del inyector y la bomba de alta presión acorde a los períodos de trabajo establecidos

Determinar los pesos de los componentes del inyector y bomba de alta presión al finalizar cada periodo de funcionamiento.

Examinar la microestructura superficial de los principales componentes de desgaste de la bomba de alta presión e inyector con la ayuda de un rugosímetro.

Establecer la factibilidad del uso de mezcla combustible diésel surfactantes de agua como fuente de energía alternativa



# Justificación del Problema

Secretaría Nacional de  
Planificación y Desarrollo

según

Transformación de la  
Matriz Productiva

ejes

Diversificación productiva  
basada en el desarrollo  
de industrias  
estratégicas-refinería,  
astillero, petroquímica,  
metalurgia y siderúrgica y  
en el establecimiento de  
nuevas actividades  
productivas-maricultura,  
biocombustibles,  
productos forestales de  
madera.

Desarrollo de biocombustibles que amplíen la oferta y reduzcan la dependencia del país de combustibles fósiles, la investigación de nuevas mezclas combustibles que permitan un desempeño óptimo de los sistemas automotrices actuales permiten brindar una solución para los problemas de contaminación ambiental, reduciendo las emisiones contaminantes producidas por los motores de combustión interna

Orienta



# METAS

Desarrollar un módulo electrónico que permita la activación de los inyectores CRDI.



Preparar la mezcla combustible diésel y surfactantes de agua a una concentración del 20%.



Analizar el desgaste de los componentes internos del inyector y bomba de alta presión mediante el uso de la balanzas analíticas



Verificar la microestructura de los elementos de principal desgaste en el inyector CRDI con ayuda de un microscopio y Rugosímetro.



Constatar la durabilidad de los materiales del sistema de inyección CRDI usando la mezcla combustible



Determinar la factibilidad del uso de la mezcla combustible diésel - surfactantes de agua como fuente energética.



# Hipótesis

La mezcla combustible diésel surfactantes de agua usada preservará las características de los materiales de fabricación del inyector CRDI y bomba de alta presión Denso, sin afectar la vida útil del sistema CRDI





# Sistema de inyección CRDI



# Componentes:



Rampa



HP3

Bomba de suministro



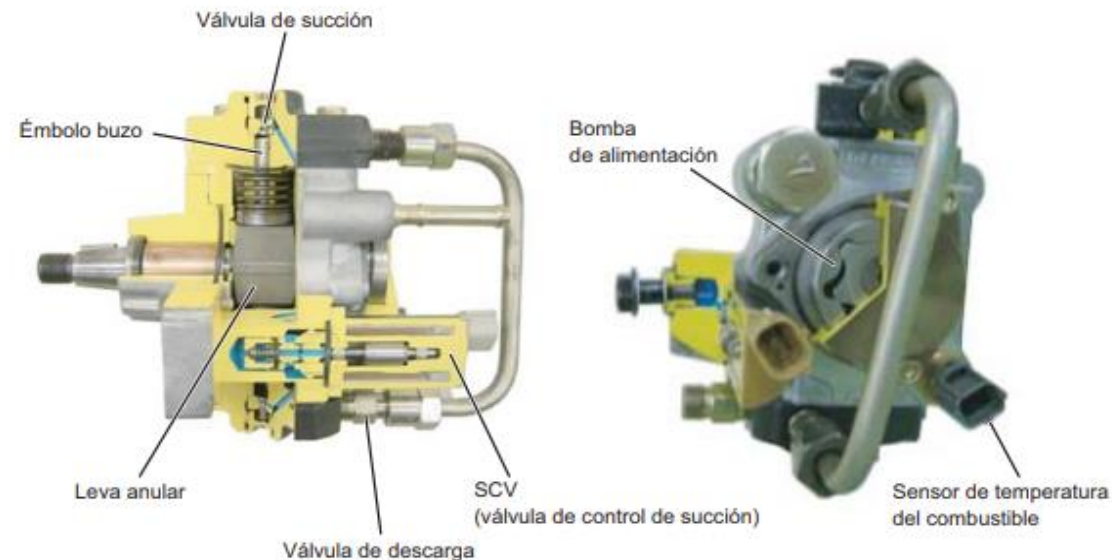
HP4



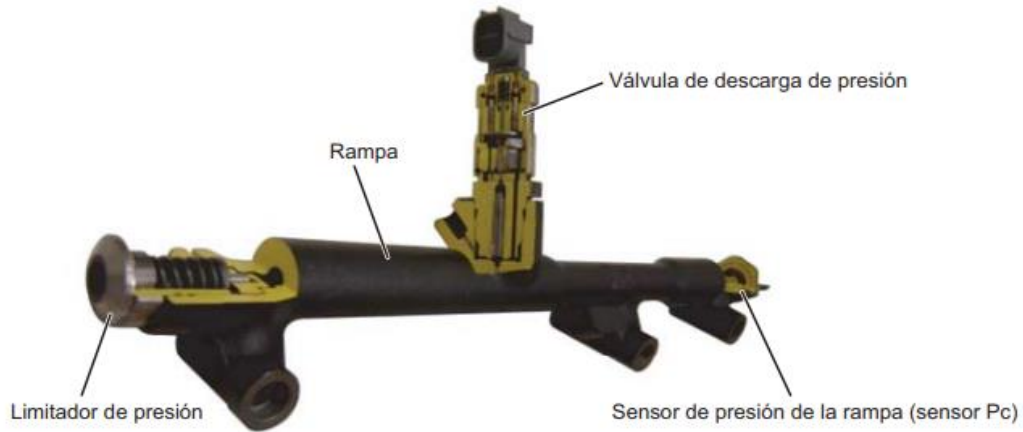
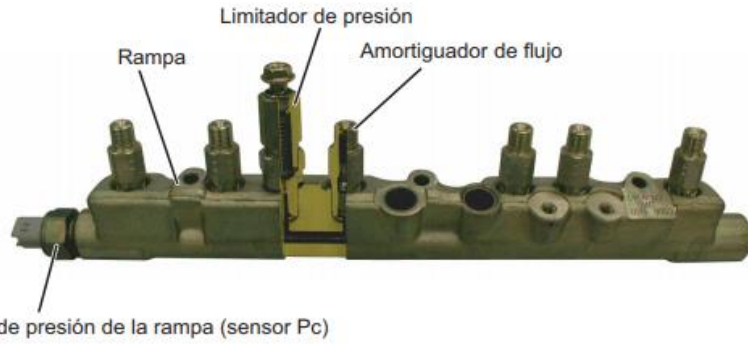
Inyector

# Bomba

Piezas componentes	Funciones
Bomba de alimentación	Aspira el combustible desde el depósito y se lo suministra al émbolo buzo.
Válvula reguladora	Regula y mantiene la presión en el conducto común, basándose en el estado de carga del motor.
Válvula de succión	Evita el flujo inverso de combustible comprimido hacia la SCV.
Válvula de descarga	Evita el flujo inverso desde la rampa del combustible que se bombea desde el émbolo buzo.
Sensor de temperatura del combustible	Detecta la temperatura del combustible.

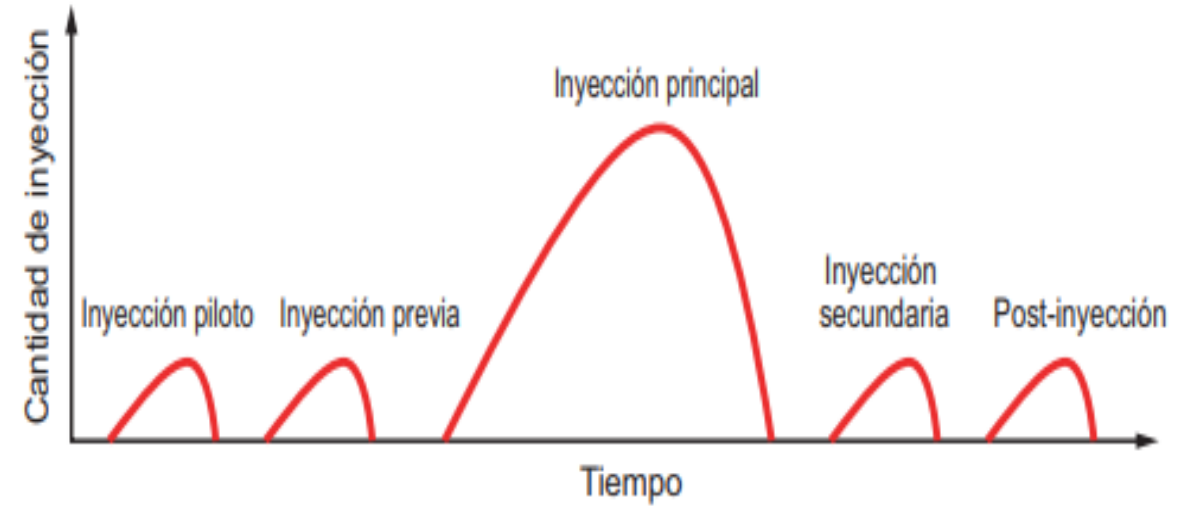
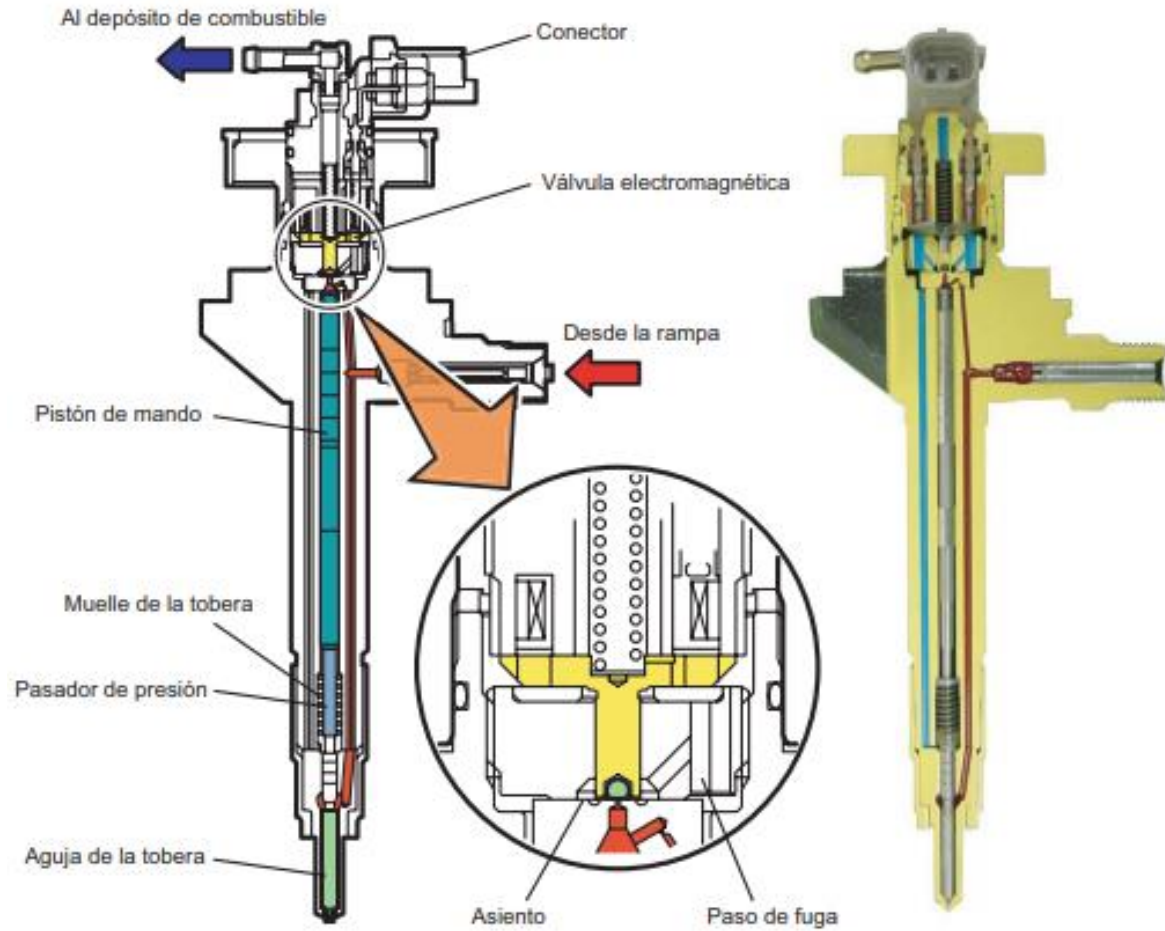


# Conducto común



Piezas componentes	Funciones
<b>Rampa</b>	Almacena el combustible a presión bombeado por la bomba de suministro y distribuye el combustible a cada inyector de cilindro.
<b>Limitador de presión</b>	Abre la válvula para liberar la presión si ésta es anormalmente alta en la rampa.
<b>Sensor de presión de la rampa (sensor Pc)</b>	Detecta la presión del combustible de la rampa
<b>Amortiguador de flujo</b>	Reduce las pulsaciones de la presión del combustible de la rampa. Si el combustible fluye hacia fuera en exceso, el amortiguador cierra el conducto de combustible para evitar que siga fluyendo. Se utiliza sobre todo en los motores de vehículos grandes.
<b>Válvula de descarga de presión</b>	Controla la presión del combustible de la rampa. Se utiliza sobre todo en los motores de vehículos de pasajeros.

# Inyectores



# Funcionamiento

Sin inyección

Válvula no excitada, no existe paso de combustible

la presión del combustible de la cámara de control y la que se aplica a la aguja de la tobera sean la misma presión de la rampa

la aguja se cierra debido a la diferencia entre el área de la superficie sometida a presión del pistón de mando y la fuerza del muelle de la tobera, y el combustible no se inyecta.

Inyección

Empieza excitación, se abre y permite el paso de combustible

Debido a la caída de presión en la cámara de control, la presión de la aguja de la tobera vence la fuerza que la aprieta hacia abajo, la aguja es empujada hacia arriba y empieza la inyección.

La relación de inyección sube cuando la tobera se abre. El combustible excedente vuelve al depósito de combustible a través del conducto de retorno.

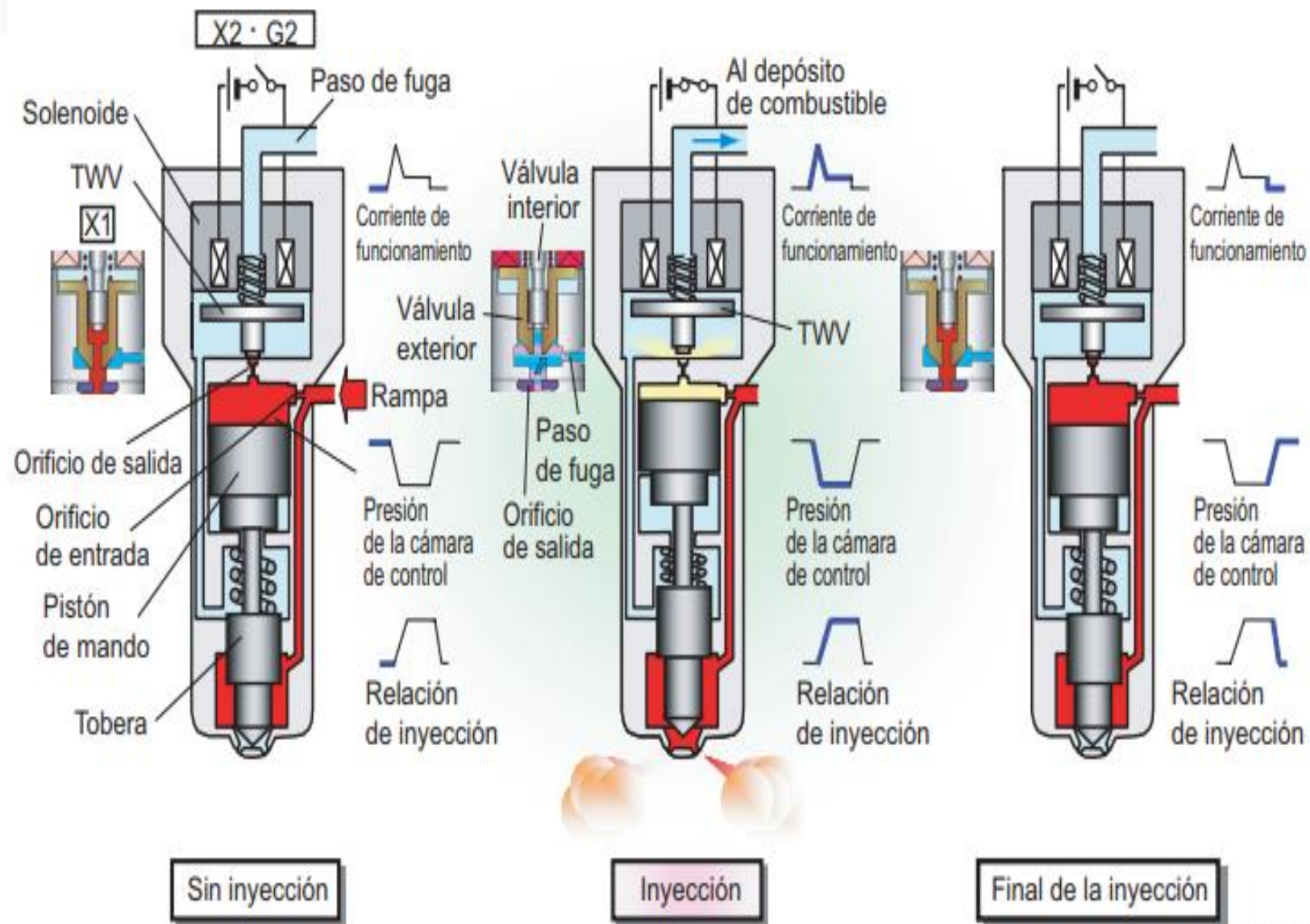
Final de inyección

Termina la excitación de la válvula

la válvula desciende, cerrando el paso de fuga de la cámara de control.

se cierra el paso de fuga, la presión del combustible dentro de la cámara de control vuelve rápidamente a la presión de rampa, la tobera se cierra y la inyección se detiene.

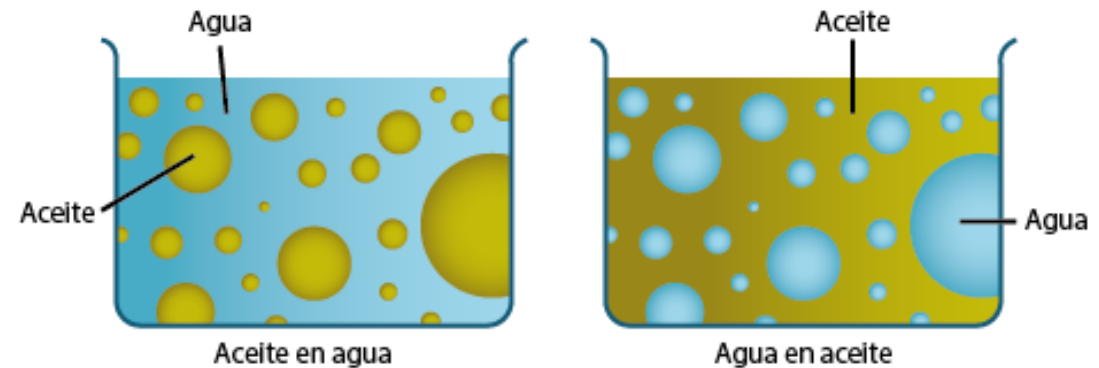




# EMULSIONES

Según (Romo, 1993) una emulsión es una mezcla de dos líquidos inmiscibles de manera que busca que sea lo más homogénea posible. Un líquido es dispersado en otro. Muchas emulsiones son de aceite/agua, con grasas alimenticias como uno de los tipos más comunes de aceites encontrados en la vida diaria. Existen dos tipos emulsiones:

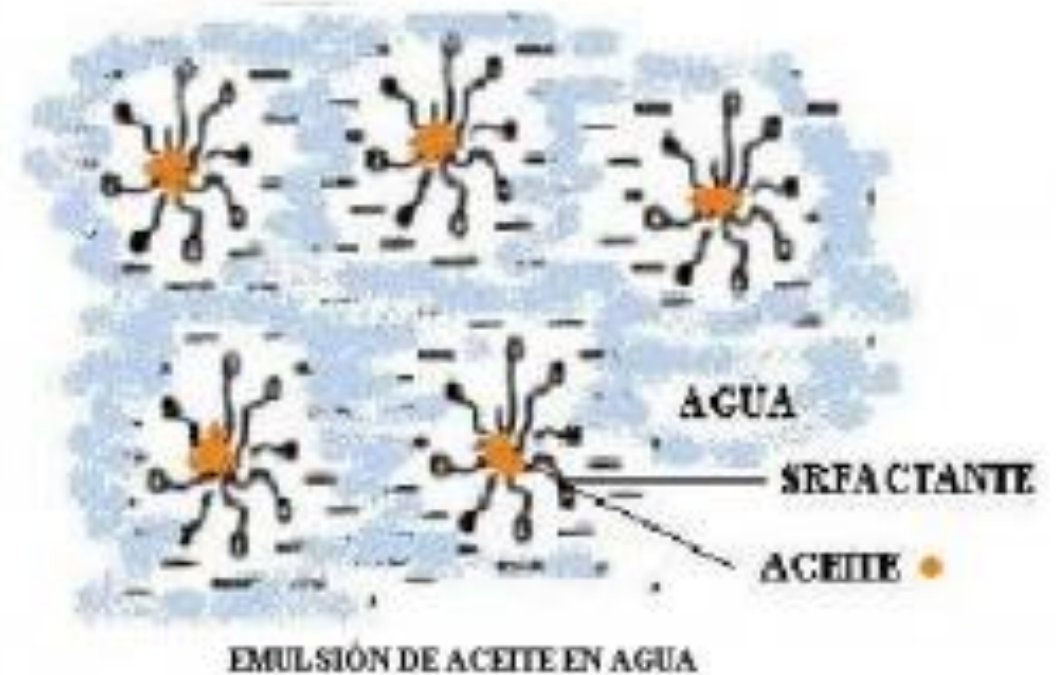
- Emulsiones simples
- Emulsiones dobles





# Surfactantes

(Bernabé, 2007), define: “Los surfactantes son compuestos que se concentran o acumulan en la interface entre dos medios, alterando la tensión superficial. Los surfactantes poseen una constitución molecular típica, esencialmente lineal y asimétrica, con dos zonas, una hidrófoba y otra hidrófila”



# TIPOS DE SURFACTANTES

## Tipos de surfactantes

<b>Aniónico</b>	Compuestos que poseen uno o varios grupos funcionales que se ionizan en solución acuosa, generando iones orgánicos con carga negativa que son los responsables de su actividad superficial. Suelen contener grupos solubles como el sulfato o el sulfonato de sodio.
<b>Catiónico</b>	Compuestos que poseen uno o varios grupos funcionales que se ionizan en solución acuosa, generando iones orgánicos con carga positiva que son los responsables de su actividad superficial. Suelen ser compuestos orgánicos con amonio cuaternario.
<b>No iónico</b>	Compuestos que no se disocian en disolución acuosa. Su solubilidad en medio acuoso se debe a la presencia de grupos funcionales, como el grupo hidroxilo, -OH, capaces de formar puentes de hidrógeno con las moléculas de agua. En esta familia se agrupan los alcoholes grasos etoxilados y los alquil poliglucósidos.
<b>Anfotérico</b>	Poseen una estructura molecular con uno o más grupos funcionales que pueden ionizarse en disolución acuosa confiriendo al compuesto el carácter de tensoactivo aniónico o catiónico, según las condiciones del medio.



# TENSOACTIVOS PARA LA EMULSIÓN

- Los valores de HLB de los surfactantes permite clasificarlos de acuerdo a su mayor o menor solubilidad, sea en aceite o en agua.



# Nonil fenol 6 moles

<b>Peso molecular</b>	467- 488 g/mol.
<b>Soluble</b>	Mayoría de disolventes orgánicos, soluble en grasas y aceites, todos grados de nonil fenol presentan gran afinidad para formar emulsiones aceite/agua.
<b>Obtención</b>	Adición de óxido de etileno al nonil fenol.
<b>Olor</b>	Fenólico
<b>Apariencia</b>	Líquido incoloro



# Ácido oleico

Sinónimo	Ácido 9-Octadecanóico
Uso	Preparaciones farmacéuticas como solvente; jabones suaves y otros oleatos, en compuestos de pulidores, textiles resistentes al agua, para espesar aceites lubricantes, en lana grasosa.
Aspecto	Líquido aceítico
Solubilidad	Miscible en alcohol, éter dietílico, cloroformo, benceno. Aceites fijos y volátiles, casi insoluble en agua
Temperatura de congelación	10°C máx
Residuos de ignición	0.01% máx.



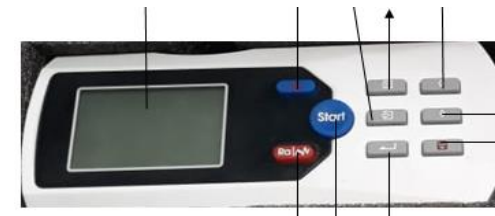
# Kolliphor EL

<b>Nombre químico</b>	Aceite de ricino Polyoxyl
<b>Naturaleza química</b>	Kolliphor® EL es un solubilizante no iónico y emulsionante fabricado al hacer reaccionar aceite de ricino con óxido de etileno
<b>Composición</b>	El principal componente de Kolliphor® EL es el glicerol polietilenglicol ricinoleato. Junto con los ésteres de ácidos grasos de polietilenglicol, esto forma la parte hidrófoba del producto.
<b>Descripción</b>	Kolliphor® EL es un líquido aceitoso de color amarillo pálido que es transparente a temperaturas superiores a 26 ° C. Tiene un olor débil pero característico.
<b>Solubilidad</b>	Kolliphor® EL forma soluciones claras en agua. También es soluble en muchos disolventes orgánicos, p. alcohol etílico, alcohol n-propílico, alcohol isopropílico, acetato de etilo, cloroformo, tetracloruro de carbono, tricloroetileno, tolueno y xileno. En contraste con los agentes emulsionantes aniónicos.



# Protocolo de pruebas

- Banco para comprobación de inyectores CRDI- ESPE
- Banco de pruebas de sistema Common Rail SPEDMAQ S40
- Microscopio metalúrgico invertido XJL-17AT
- Balanza analítica ADAM
- Rugosímetro CMSRT210
- Medidor de LCR
- Megohmetro Supco M500



$$\%_A = \frac{(4 - 1) \times 100\%}{10.9 - 1}$$

$$\%_A = \frac{(4 - 1) \times 100\%}{10.9 - 1}$$

# Formulación de emulsiones

(Pucuji, 2016) Afirma que: “Con los valores de BHL de los surfactantes encontrados en las tablas 8, 9 y 10 se procedió a calcular la proporción de las sustancias tensoactivas para obtener un BHL para la aplicación de la tabla 13 utilizando la ecuación 37 y 38.”

$$\%_A = \frac{(BHL - BHL_B) \times 100\%}{BHL_A - BHL_B}$$

$$100\% = \%_A + \%_B$$

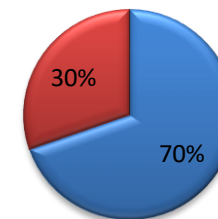
$$\%_A = \frac{(4 - 1) \times 100\%}{10.9 - 1}$$

$$\%_A = 30.30\%$$

$$\%_B = 100\% - 30.30\%$$

$$\%_B = 69.70\%$$

## TENSOACTIVO EMULSIONANTE



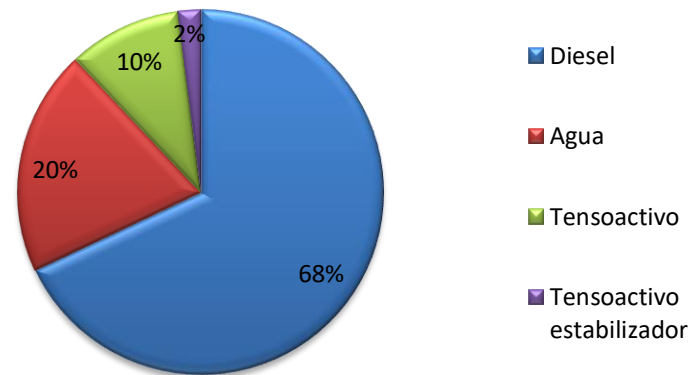
- Acido oleico
- Nonil fenol 6 moles





- Se utilizó la emulsión del 20% agua ya que el autor (Pucuji, 2016) menciona que: “se obtiene mejores resultados en los parámetros mecánicos y térmicos con la emulsión diésel y 20% de agua, lo que dirige al análisis de costos y vida útil de los elementos motor de combustión interna”. También disminuye considerablemente las emisiones con este porcentaje de agua.

Emulsión 20% Agua



# Equipos utilizados

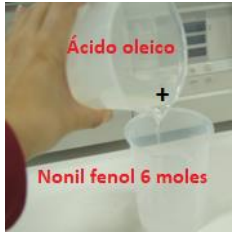
- **Balanza de precisión BPS 51 plus marca BOECO**



- **Agitador mecánico OSD-20 BOECO**



# Proceso elaboración de mezcla



Masar el ácido oleico



Masar el nonil fenol 6 moles



Masar el tensoactivo estabilizate kolliphore



Mazar el diésel



Masar agua destilada



Se procede a batir con la ayuda del mezclador BOECO aproximadamente 8 minutos a 500 revoluciones.



Muestra	Número de semanas	Temperatura de estabilidad (cualitativa)	Apariencia (cualitativa)
Diésel-20% $H_2O$	2	Ambiente	Lechoso



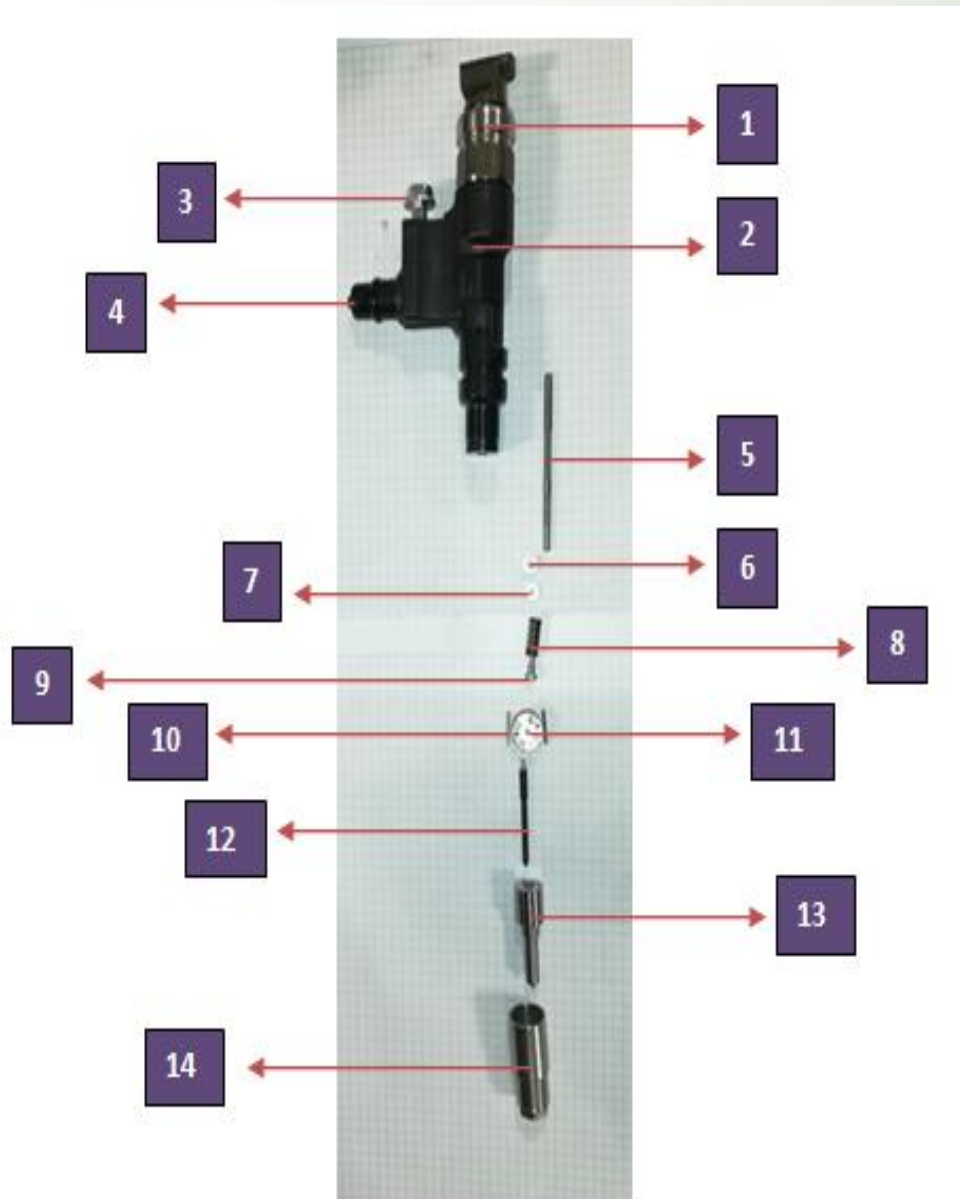
# Protocolo de pruebas 50, 100, 150 y 200 horas utilizando la mezcla-combustible

- Adecuación del banco de pruebas comprobador de inyectores CRDI
- Operación del banco de pruebas CRDI

## Trabajos en la bomba de alta presión HP3

- Desmontaje de la bomba HP3
- Desarmado de la bomba
- Desmontaje del inyector
- Desarmado del inyector





NÚMERO	PARTE
1	Bobina
2	Cuerpo
3	Conducto de retorno
4	Conducto de succión
5	Émbolo de mando
6	Arandela de presión superior
7	Arandela de presión inferior
8	Resorte
9	Varilla de empuje
10	Guías
11	Rotor
12	Aguja
13	Tobera
14	Porta tobera



# Comprobación del estado de inyectores utilizando banco de pruebas SPEDMAQ S40s

- **Estanqueidad (50 s)**

Parámetro	Valor
Frecuencia (Hercios)	15Hz
Tiempo de inyección (milisegundos)	2000 ms
Presión (Bares)	10100 Bar

- **Pre inyección (30s)**

Parámetro	Valor
Frecuencia (Hercios)	66,67 Hz
Tiempo de inyección (milisegundos)	160 ms
Presión (Bares)	800.r



- Ralentí (50s)

Parámetro	Valor
Frecuencia (Hercios)	6,67 Hz
Tiempo de inyección (milisegundos)	10000 ms
Presión (Bares)	800.Barr

- Plena carga

Parámetro	Valor
Frecuencia (Hercios)	16,7 Hz
Tiempo de inyección (milisegundos)	1000 ms
Presión (Bares)	1000 Bar

Ver - Salir  
 Datos de Registro

Identificador de Vehículo:  CNPJ:  Fecha: 01/01/2010 Tiempo: 08:07:02

Resultados  
 Operator:  Tipo de Inyector: Denso 095000-6521 Hino Dutro

Prueba  Sensor de Presión  Válvula de Presión

VE - Prueba de Estanquidad

Caldal	0 a 0mm	0	0	0	0	0	0
Retorno	0 a 20mm	5	0	0	0	0	0

PI - Prueba de Pre Inyeccion

Caldal	70 a 85mm	59	0	0	0	0	0
Retorno	25 a 35mm	25	0	0	0	0	0

ML - Prueba de Ralentí

Caldal	10 a 20mm	9	0	0	0	0	0
Retorno	5 a 10mm	7	0	0	0	0	0

PC - Prueba de Plena Carga

Caldal	45 a 60mm	55	0	0	0	0	0
Retorno	15 a 25mm	16	0	0	0	0	0

VE - Teste de Estanquidade

Caldal	0 a 0mm	0	0	0	0	0	0
Retorno	0 a 70mm	0	0	0	0	0	0

Observações





# Visualización de microestructuras



# Medición rugosidad de superficies



## Elementos del inyector:

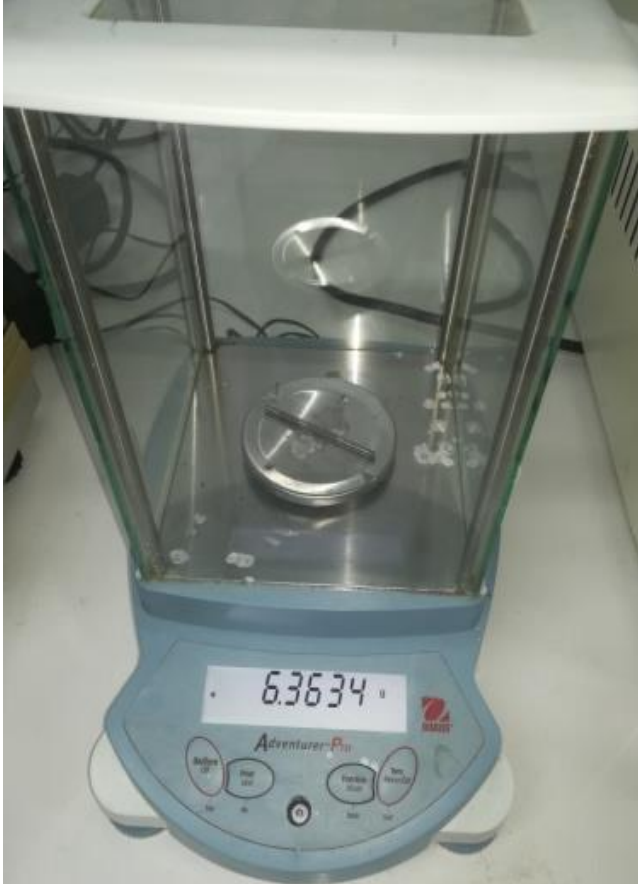
- Aguja
- Émbolo de mando

## Elementos bomba de alta presión :

- Leva
- Árbol de levas



# Pesaje de elementos



## Elementos del inyector:

Portatobera, tobera, rotor, varilla de empuje, aguja, resorte, guía I. guía II, arandela de presión superior, arandela de presión inferior, embolo de mando

## Elementos del inyector:

Rotor interno, rotor externo, separador, tapa de la bomba de alimentación, bomba de succión inferior, bomba de succión superior, embolo de buzo inferior, embolo de buzo superior. leva anular, tapa, arbol de levas



# Análisis de resultados

## Comprobación y análisis del comportamiento del material en los componentes de la bomba de alta presión

- La bomba de alta presión es accionada por un motor eléctrico que le permite girar a un régimen de 900 RPM, velocidad con la cual la bomba genera una presión de 300 bares, al trabajar con la mezcla combustible generó cambios mensurables en sus elementos, los mismos que a través de herramientas tecnológicas se logró verificar su comportamiento.



La estimación de los kilómetros recorridos por el vehículo en referencia a las horas de funcionamiento se aproximó tomando las siguientes consideraciones:

- Régimen motor: 2500 rpm
- Relación caja: 4ta (1:1)
- Relación diferencial: 6.14
- Rin neumático: 17.5 in



# Peso

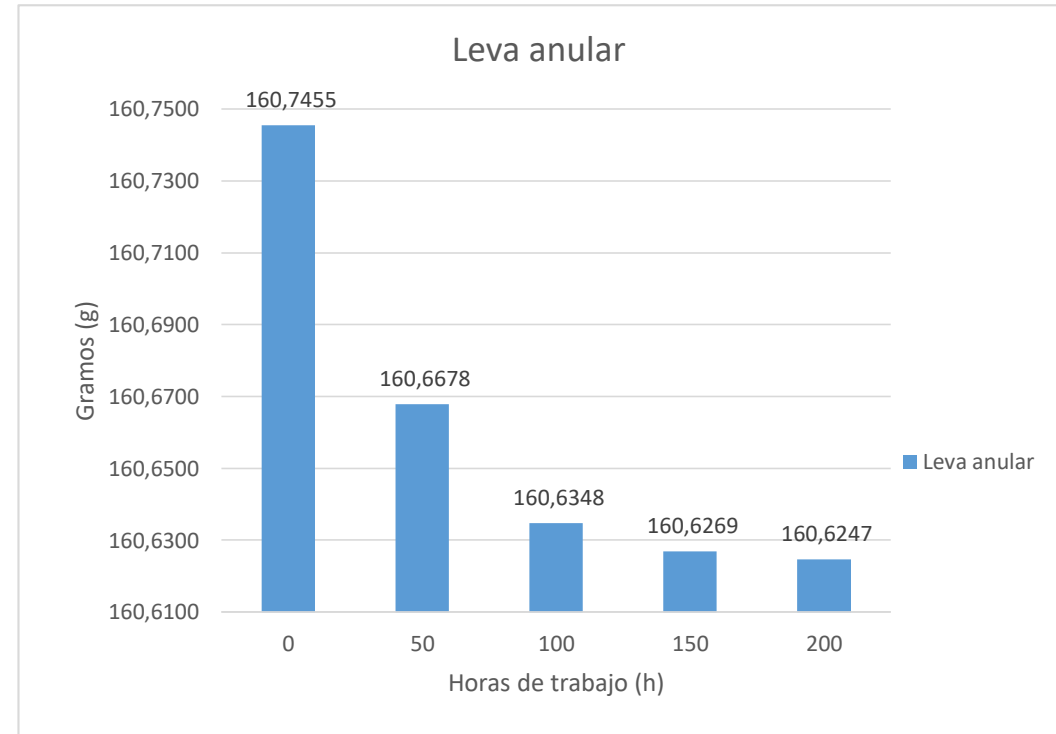
- **Leva anular**

Ensamblada juntamente con el eje de levas, transmite el movimiento a los émbolos de bombeo de la parte de alta presión.



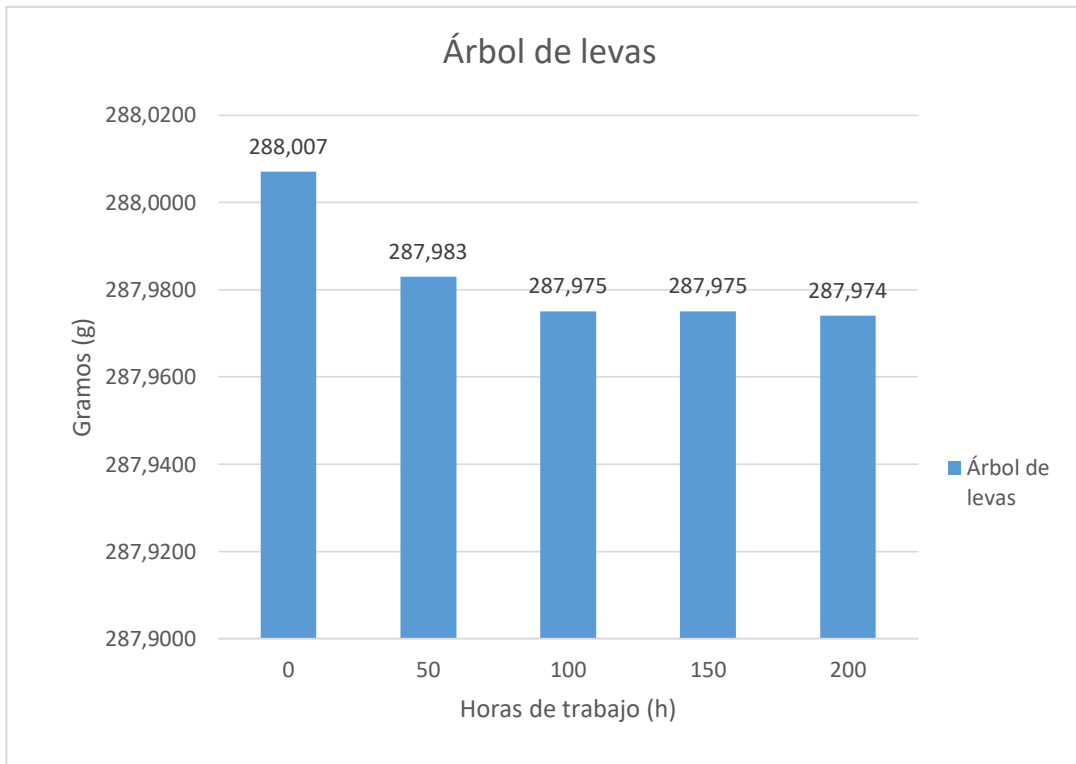
*Desgaste de la leva anular*

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Leva anular	160.7455	160.6678	160.6348	160.6269	160.6247	Gramos



## Desgaste del árbol de levas

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Árbol de levas	288.007	287.983	287.975	287.975	287.974	Gramos



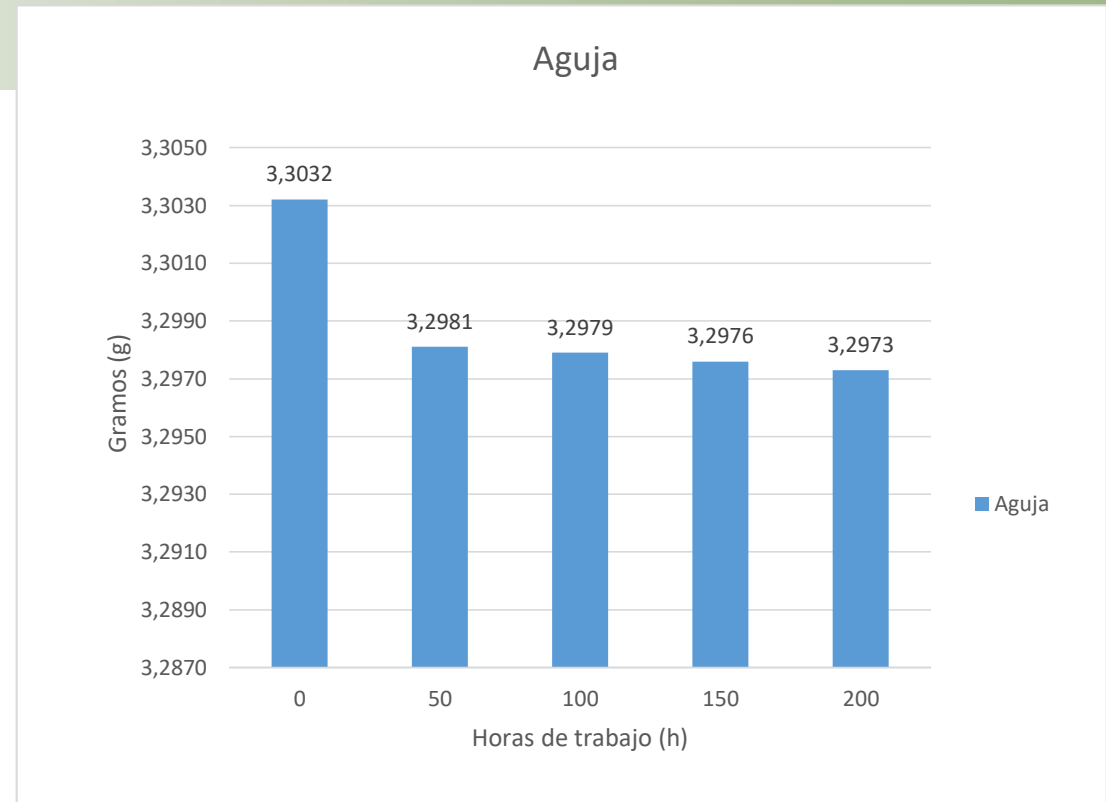
- **Árbol de levas**

Es el elemento que va conectado al eje del cigüeñal, el cual acciona a la bomba de alimentación y a la leva anular para generar las altas presiones de funcionamiento del sistema.



- **Aguja**

Es el elemento de principal desgaste en el inyector, está alojada en la tobera y permite el paso del combustible hacia los pulverizadores



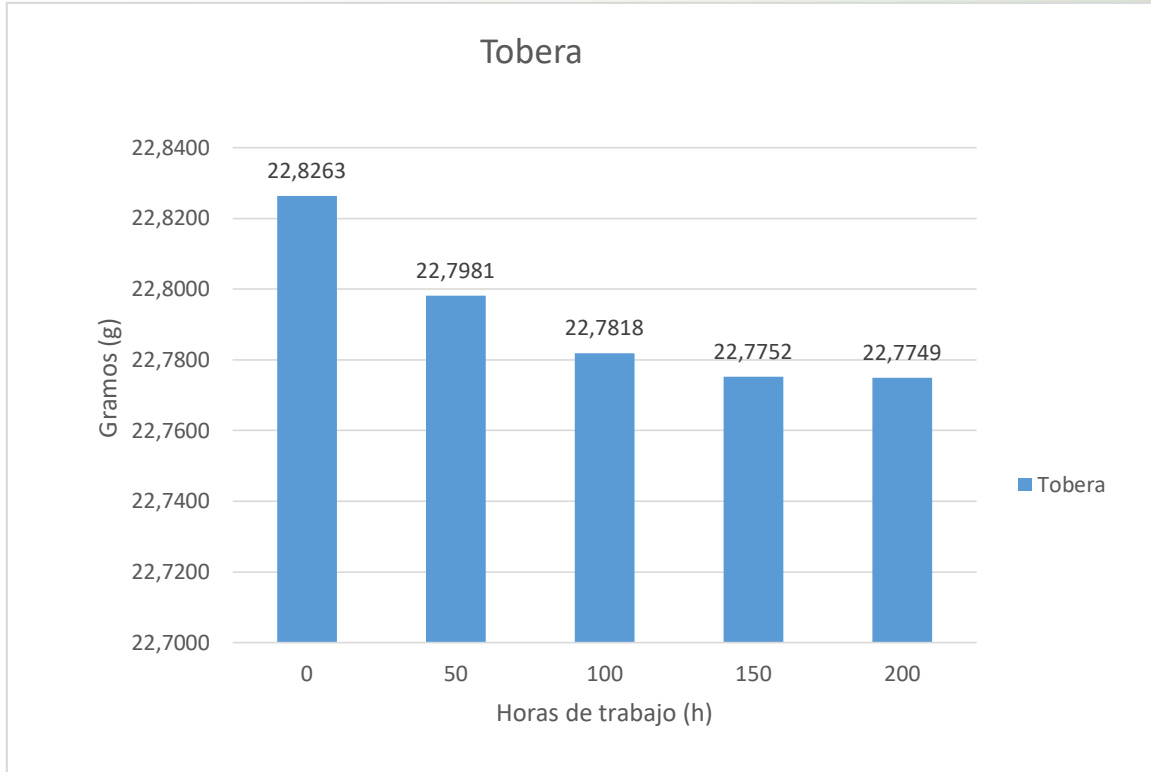
*Desgaste de la aguja*

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
<b>Aguja</b>	3.3032	3.2981	3.2979	3.2976	3.2973	<b>Gramos</b>



# • Tobera

Contiene los seis agujeros de pulverización de la mezcla combustible, así como también es el alojamiento de la aguja del inyector.



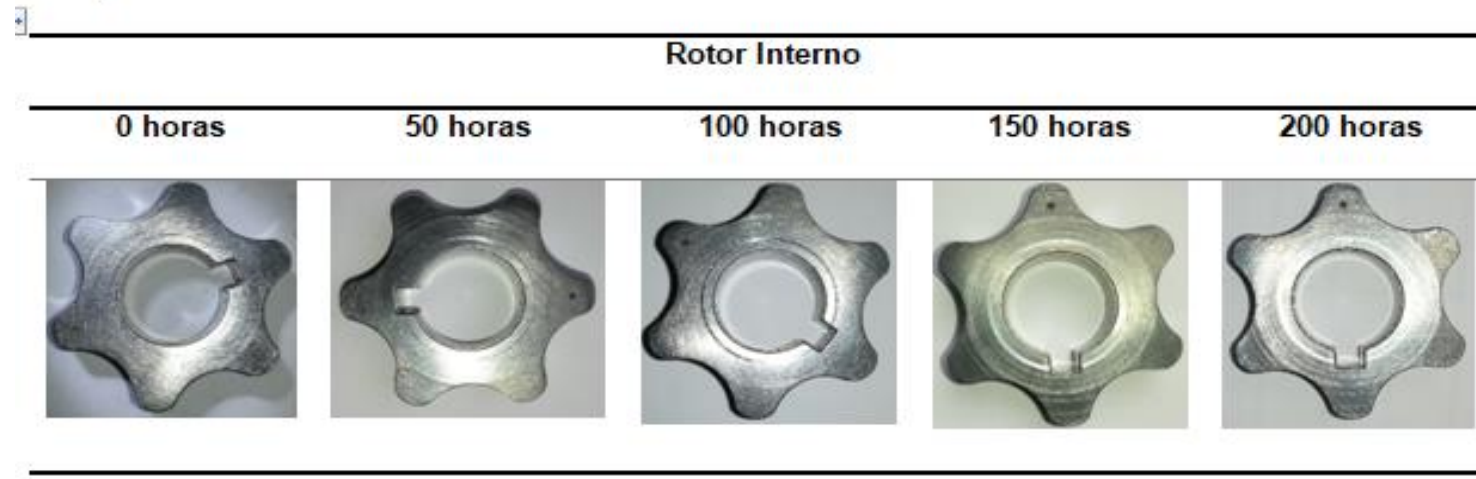
## Desgaste de la tobera

Elemento	0	50	100	150	200	Horas
	0	3400	7000	10200	13600	Km
Tobera	22.8263	22.7981	22.7818	22.7752	22.7749	Gramos



# Inspección visual de los componentes

*Comportamiento del material en el rotor interno*

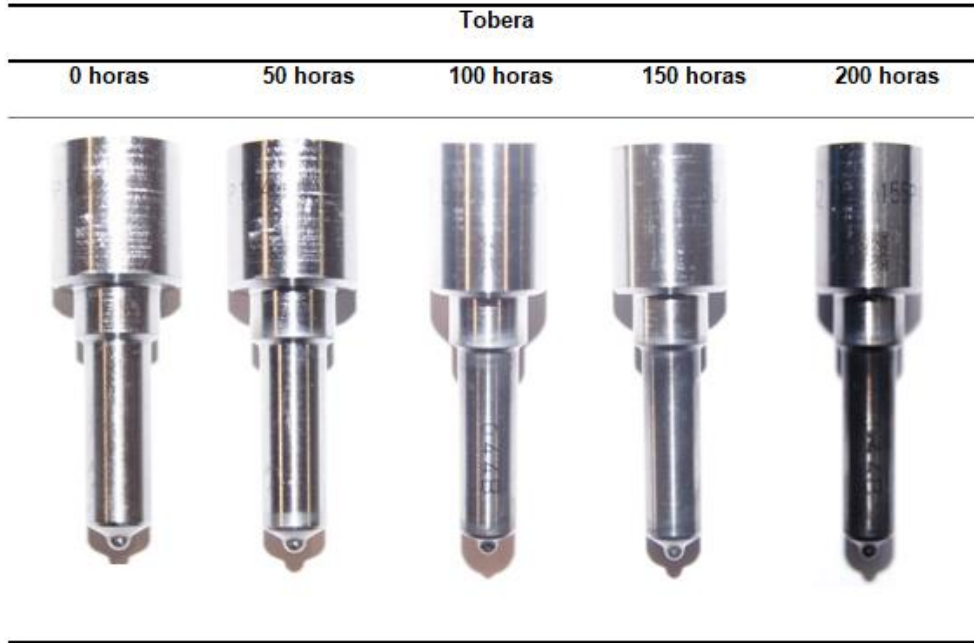


*Comportamiento del material en la leva anular cara frontal*

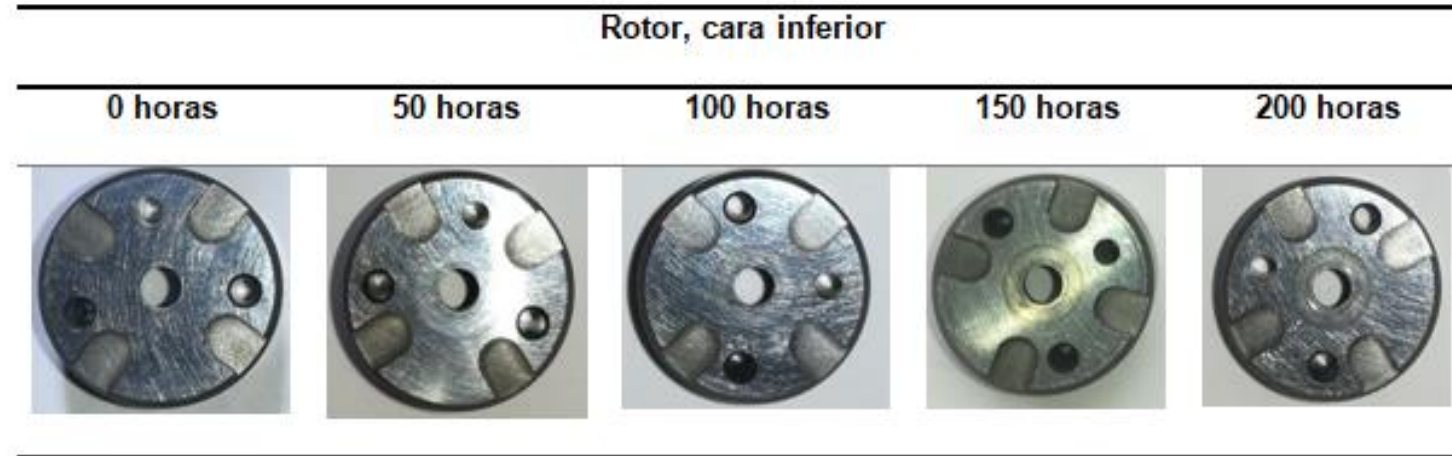


# Inyector

Comportamiento del material de la tobera

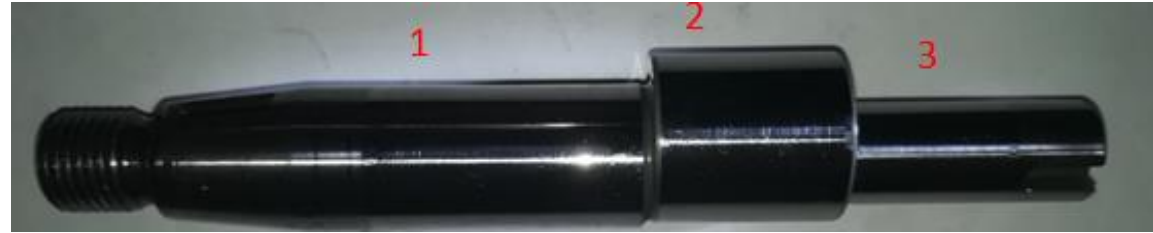


Comportamiento del material del rotor, cara inferior



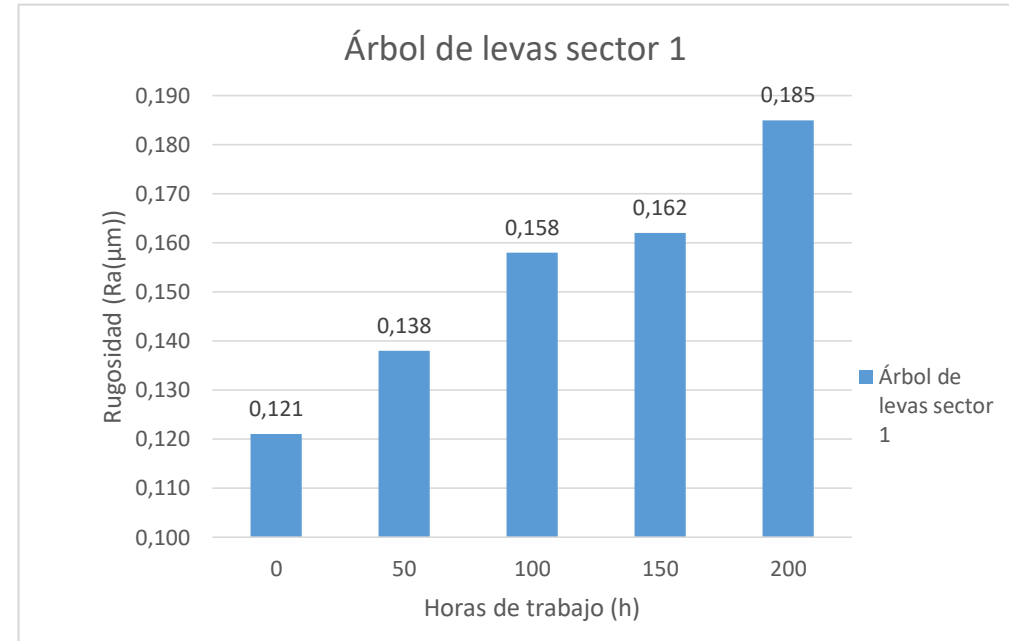
# Análisis de rugosidad

- Árbol de levas



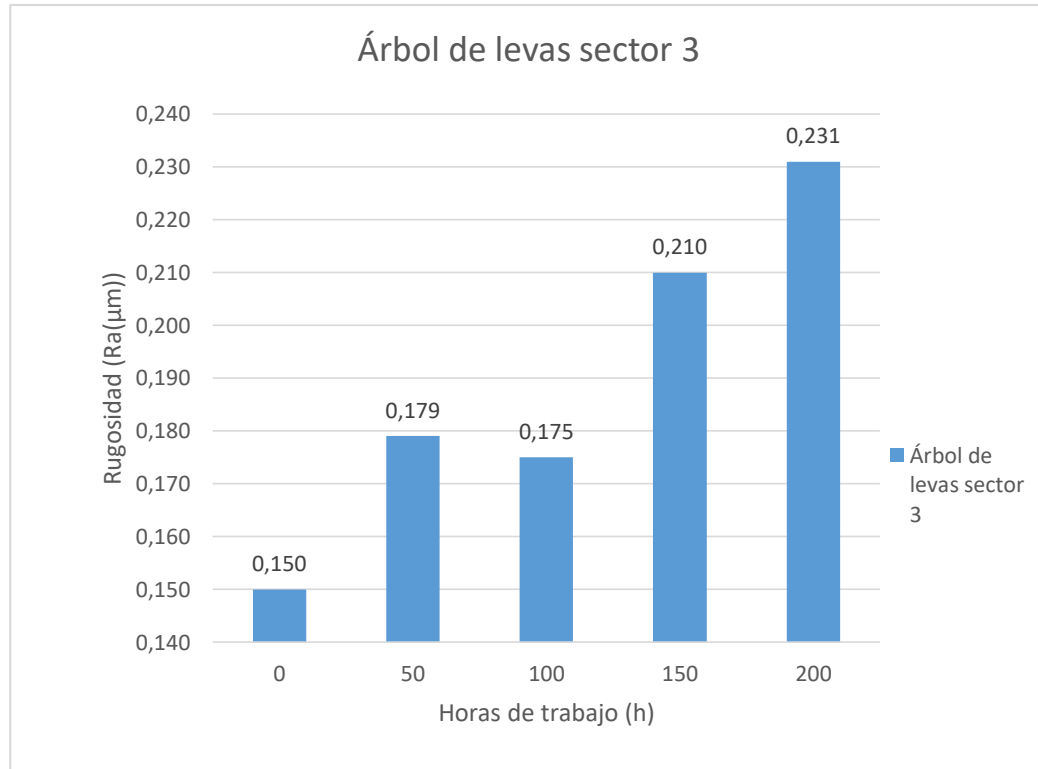
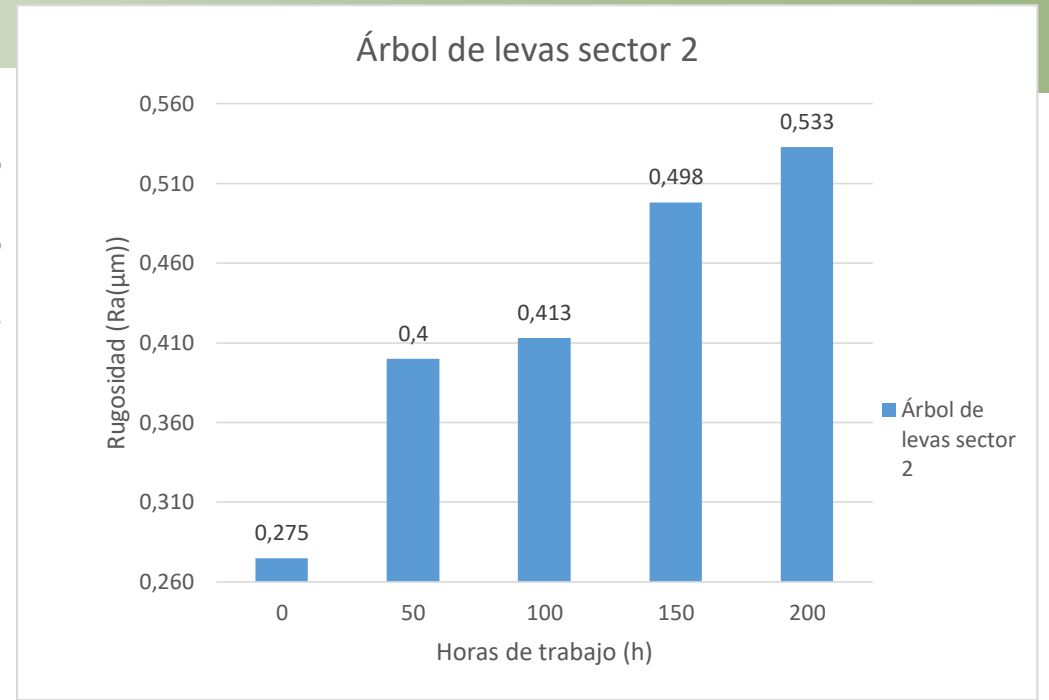
Valores de rugosidad en el árbol de levas sector 1

Árbol de levas sector 1					
Horas	0	50	100	150	200
Ra(μm)	0.121	0.138	0.158	0.162	0.185



### Valores de rugosidad en el árbol de levas sector 2

Árbol de levas sector 2					
Horas	0	50	100	150	200
Ra(μm)	0.275	0.400	0.413	0.498	0.533



### Valores de rugosidad en el árbol de levas sector 3

Árbol de levas sector 3					
Horas	0	50	100	150	200
Ra(μm)	0.150	0.179	0.175	0.210	0.231

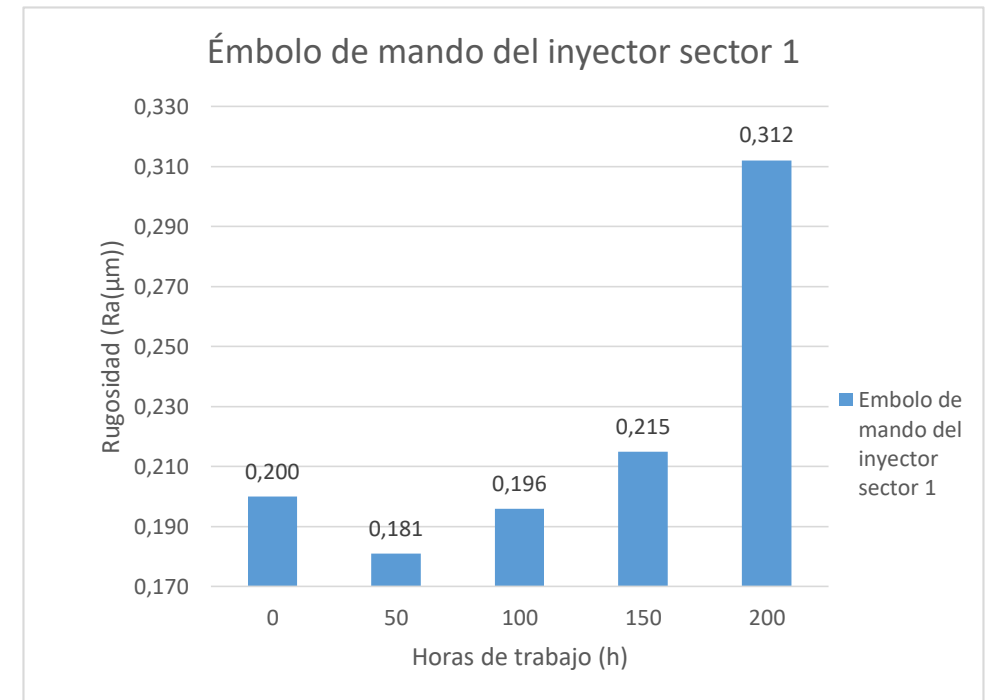


- Émbolo de mando



Émbolo de mando del inyector sector 1

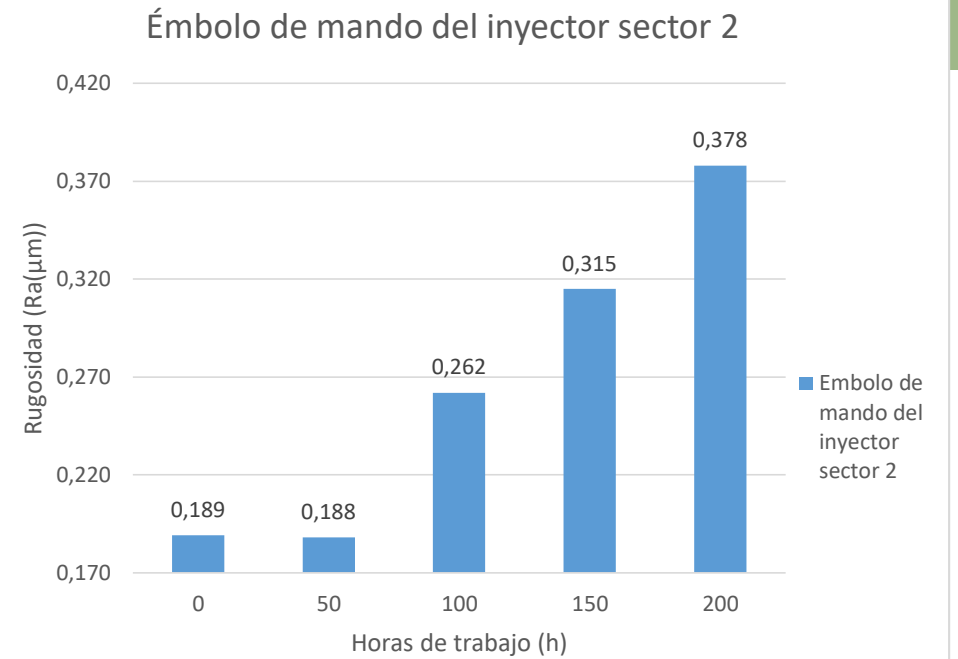
Horas	0	50	100	150	200
Ra( $\mu\text{m}$ )	0.200	0.181	0.196	0.215	0.312



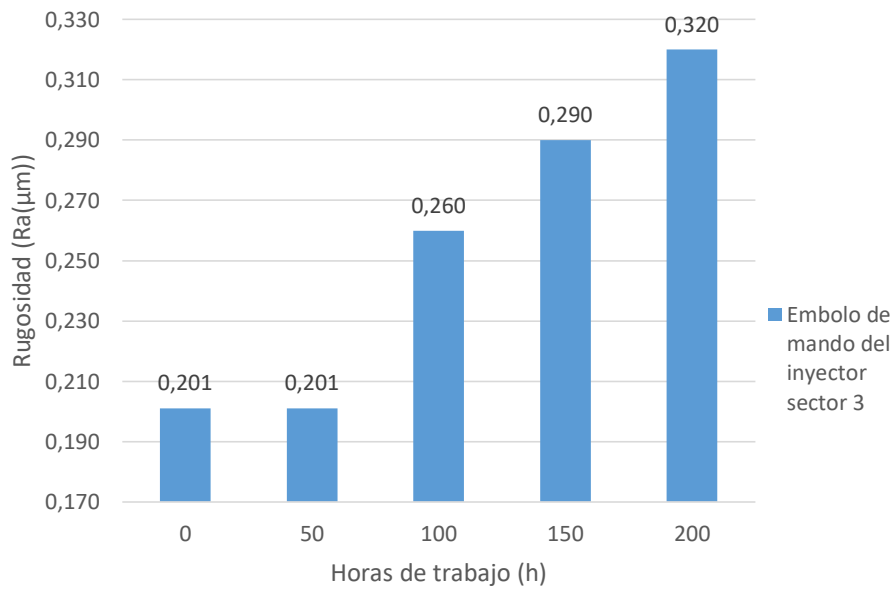
### Valores de rugosidad del émbolo de mando del inyector sector 2

Émbolo de mando del inyector sector 2

Horas	0	50	100	150	200
Ra(μm)	0.189	0.188	0.262	0.315	0.378



Embolo de mando del inyector sector 3



### Valores de rugosidad del émbolo de mando del inyector sector 3

Embolo de mando del inyector sector 3

Horas	0	50	100	150	200
Ra(μm)	0.201	0.201	0.260	0.290	0.320

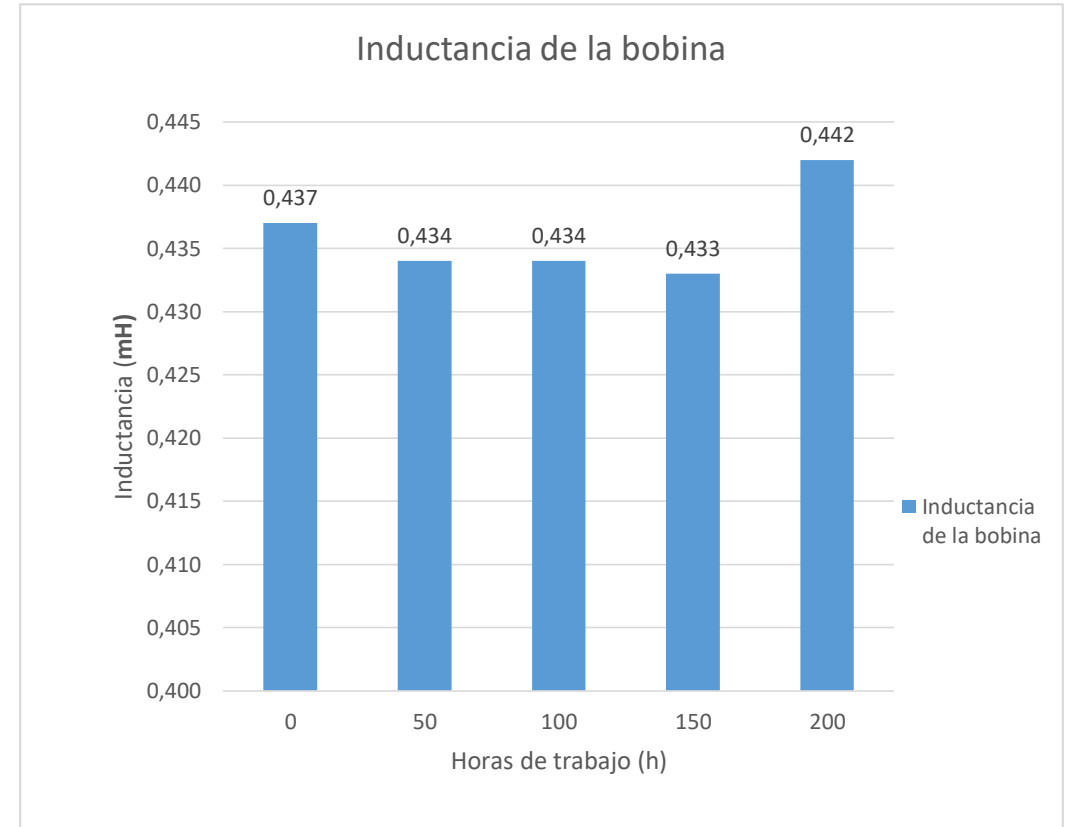


# Pruebas de comporta-miento eléctrico y de funcionamiento mecánico del inyector

- Inductancia

*Inductancia*

Inductancia de la bobina					
Horas	0	50	100	150	200
(mH)	0.437	0.434	0.434	0.433	0.442

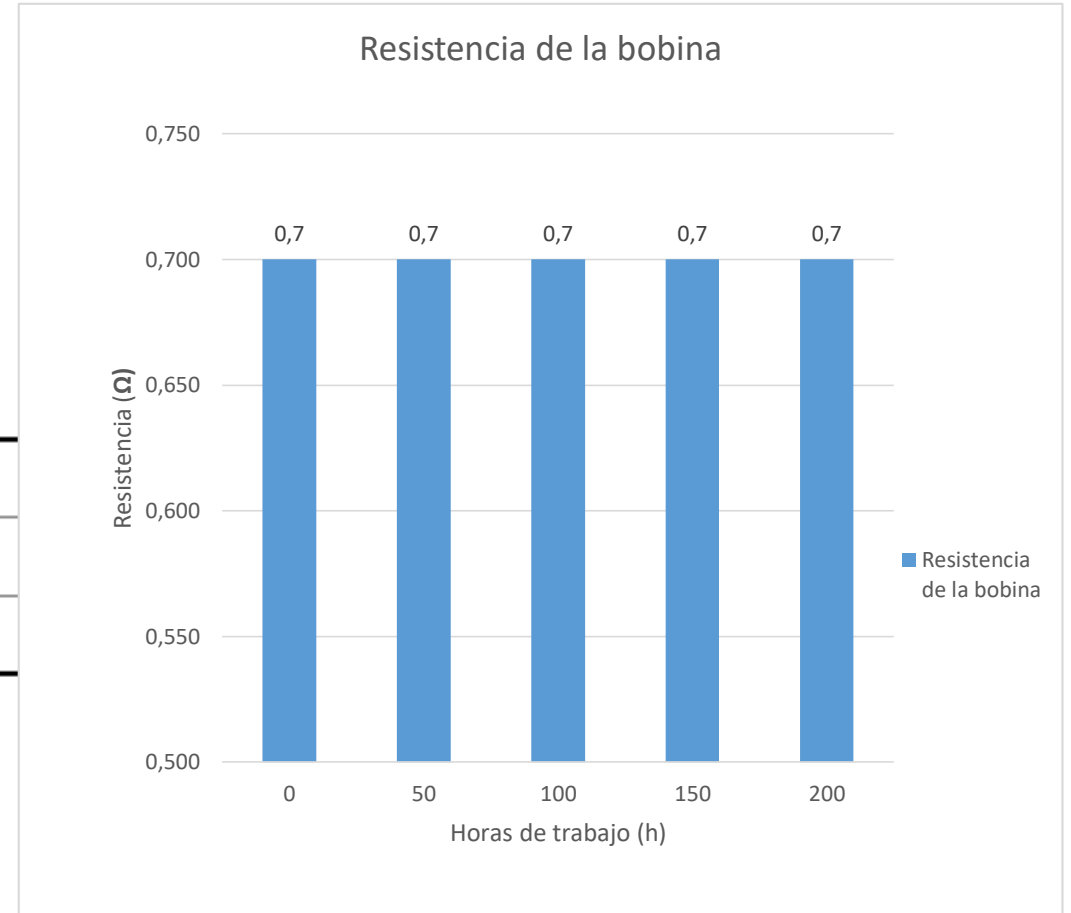




- Resistencia

Resistencia ( $\Omega$ )

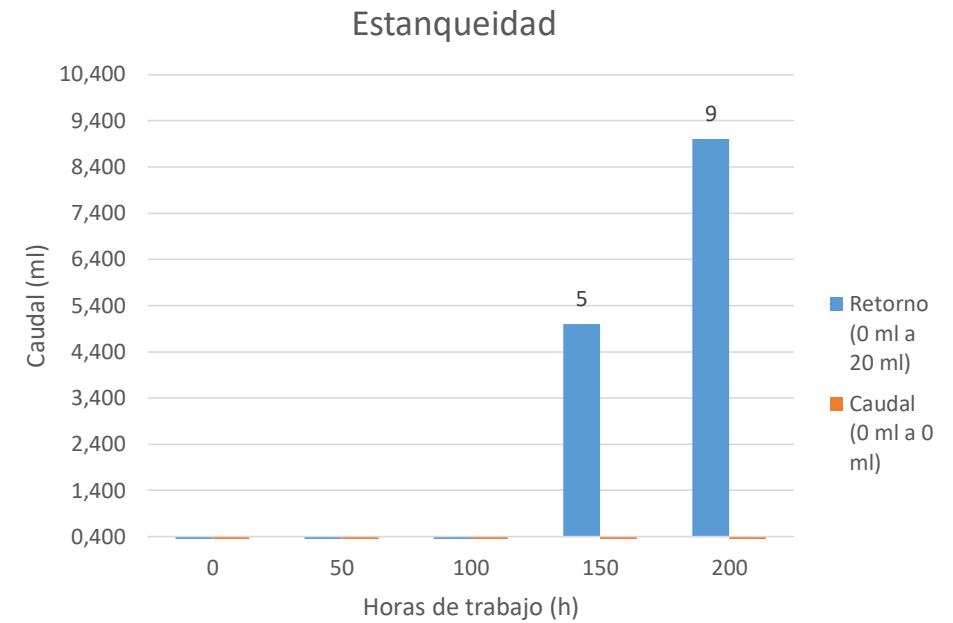
Resistencia de la bobina					
Horas	0	50	100	150	200
( $\Omega$ )	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7



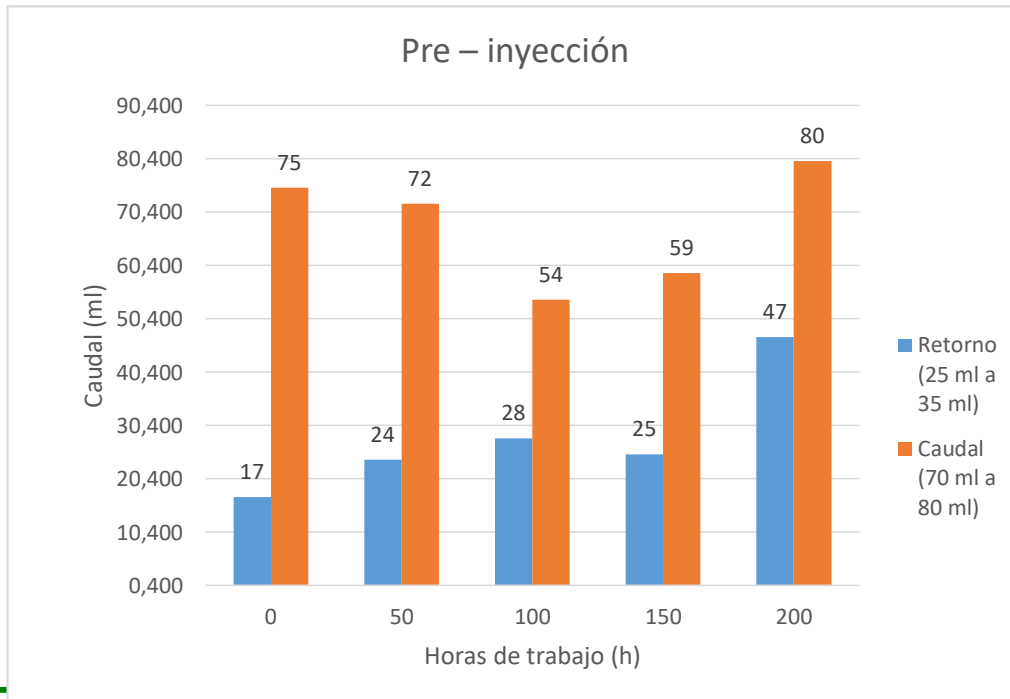
- Prueba de estanqueidad

*Estanqueidad (ml)*

Estanqueidad					
Horas	0	50	100	150	200
Caudal (0 ml a 0 ml)	0	0	0	0	0
Retorno (0 ml a 20 ml)	0	0	0	5	9



- Prueba de pre – inyección



*Pre – inyección (ml)*

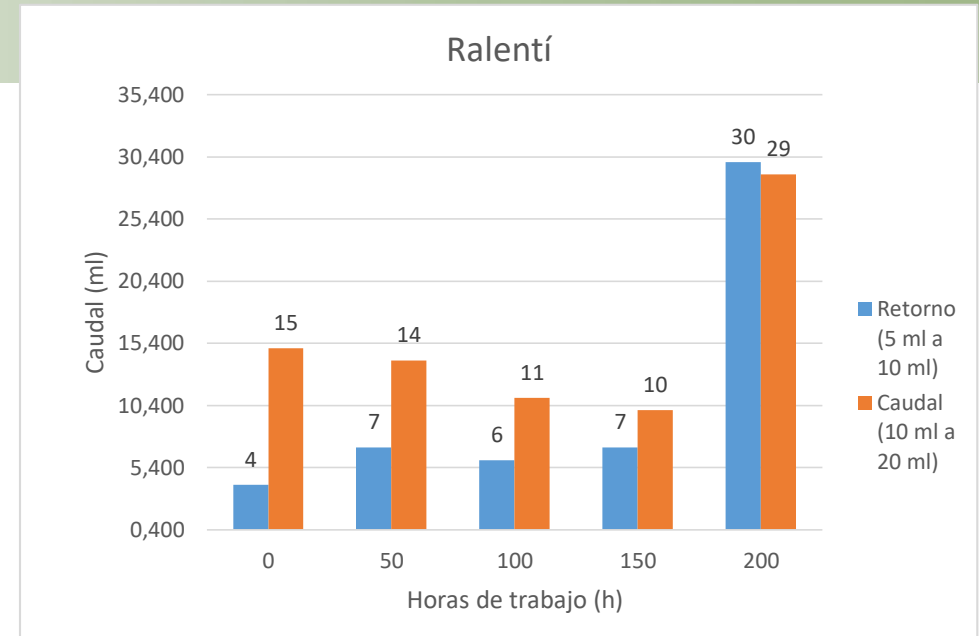
Pre – inyección					
Horas	0	50	100	150	200
Caudal (70 ml a 80 ml)	75	72	54	59	80
Retorno (25 ml a 35 ml)	17	24	28	25	47



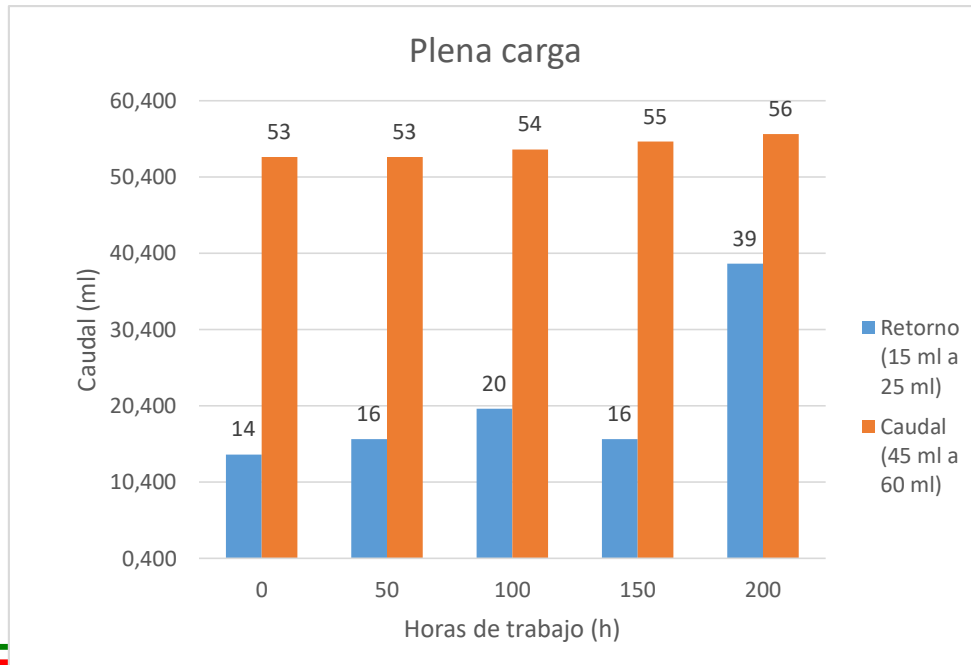
- Prueba de ralentí

Ralenti (ml)

Ralenti					
Horas	0	50	100	150	200
Caudal (10 ml a 20 ml)	15	14	11	10	29
Retorno (5 ml a 10 ml)	4	7	6	7	30



- Prueba de plena carga



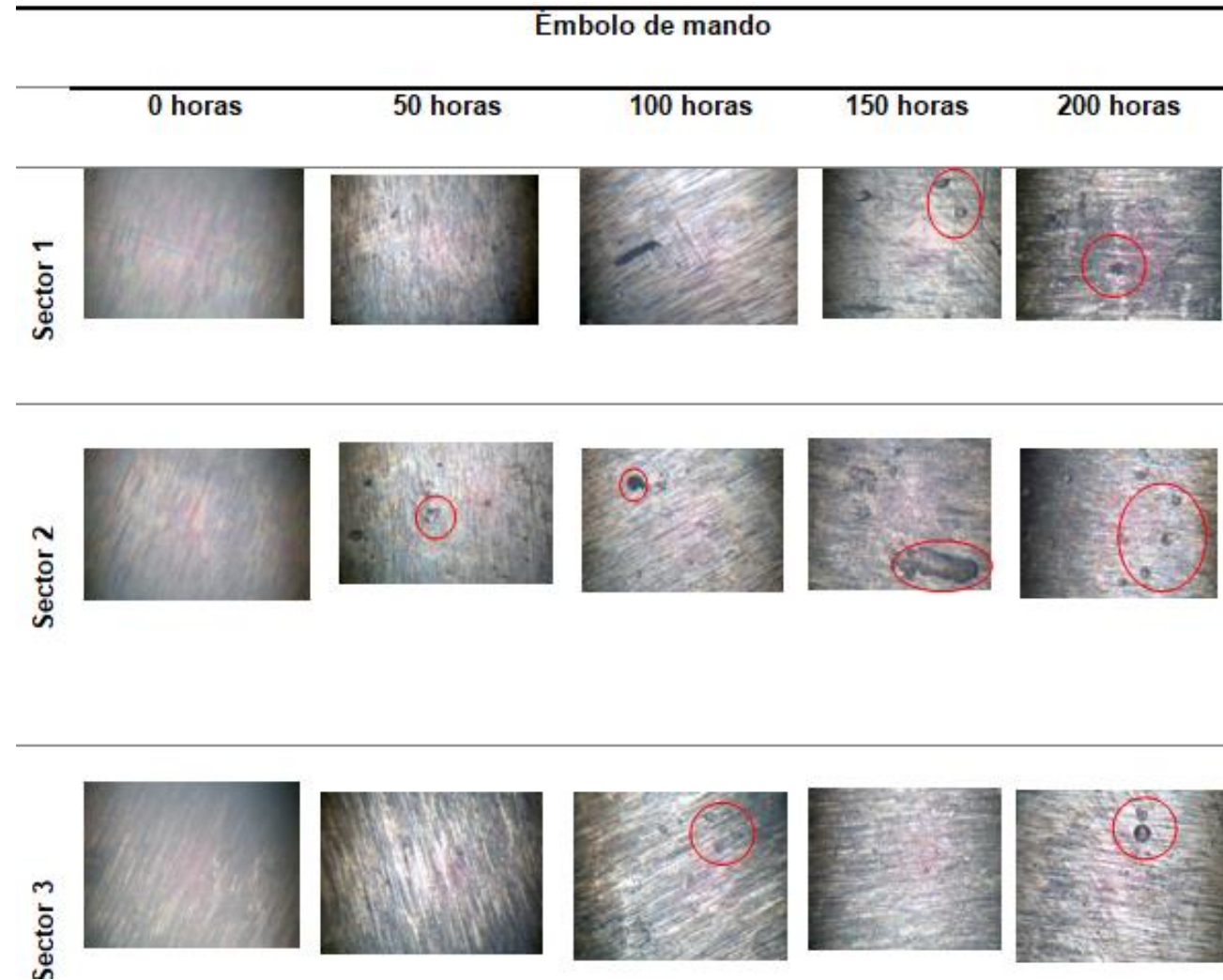
Plena carga (ml)

Plena carga					
Horas	0	50	100	150	200
Caudal (45 ml a 60 ml)	53	53	54	55	56
Retorno (15 ml a 25 ml)	14	16	20	16	39

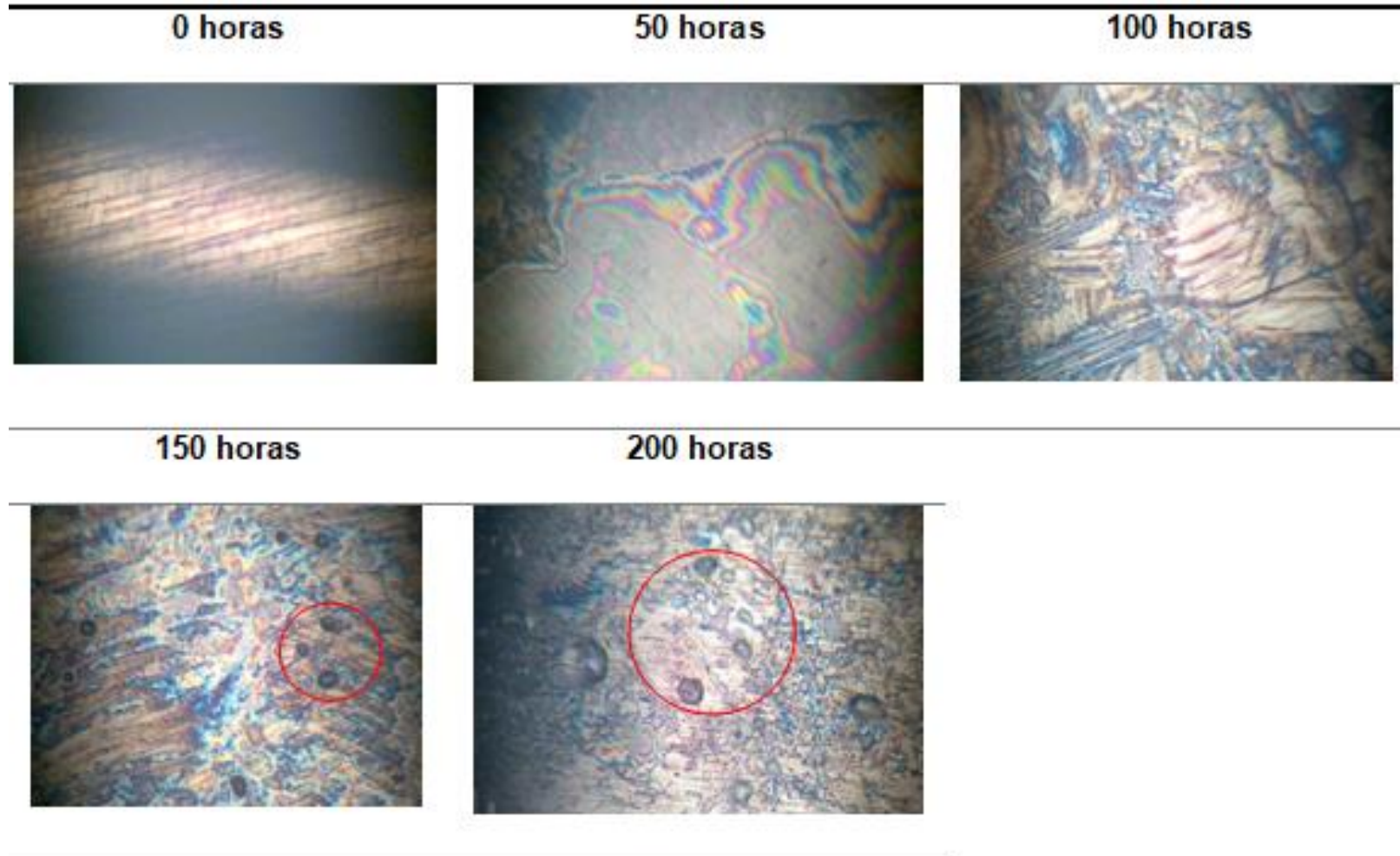


# Análisis microscópico

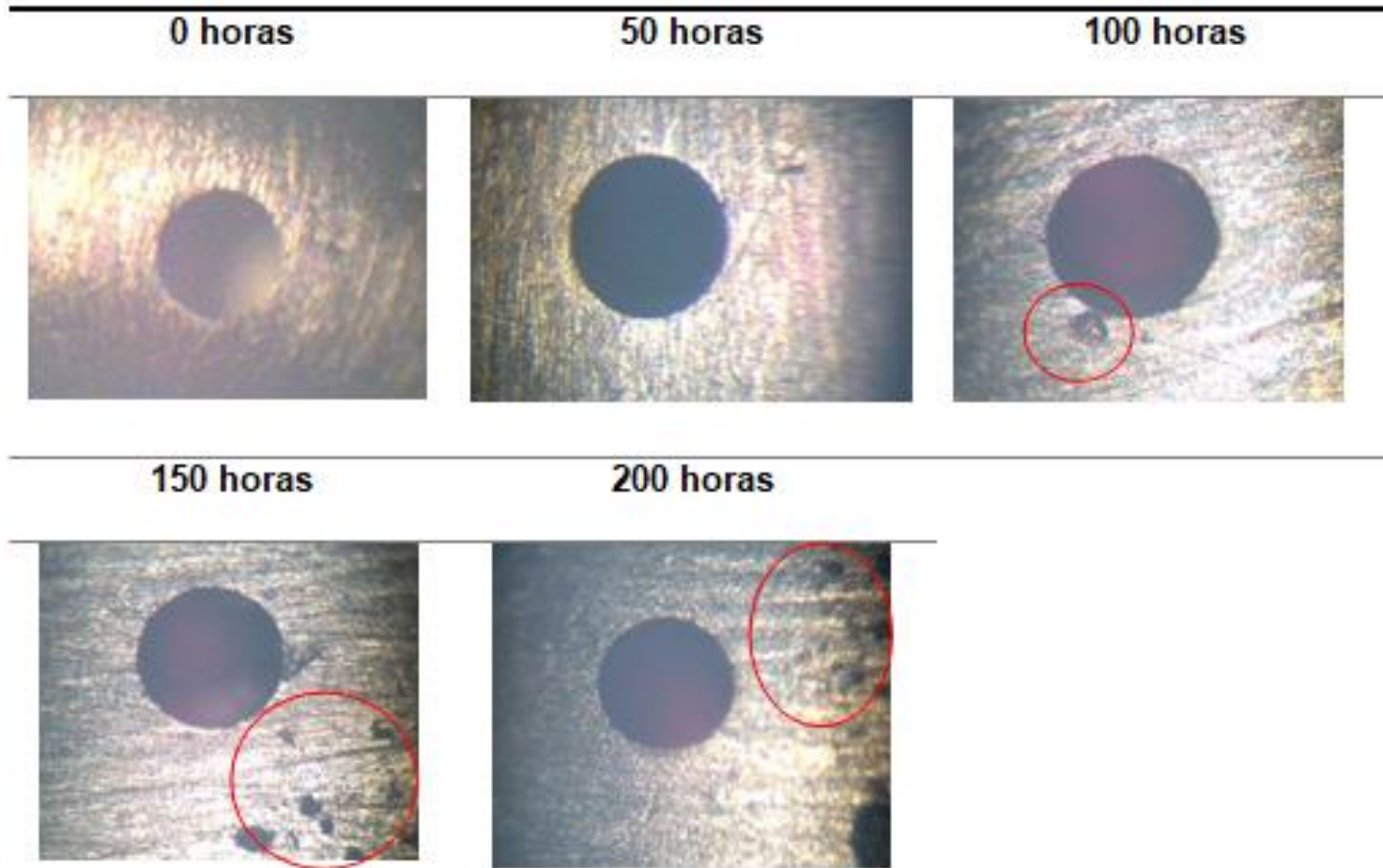
- Embolo de mando



- Aguja de la tobera



- Agujero del pulverizador



# CONCLUSIONES

- Se investigó en bases digitales como google académico, Scribd, Science Direct, Manuales DENSO. Las cuales permitieron desarrollar la investigación.
- Se preparó la mezcla combustible diésel surfactantes de agua al 20%, revisando el proceso establecido en investigaciones previas.
- Se realizó el protocolo de pruebas de durabilidad en el inyector DESNO y bomba de alta presión al trabajar con la mezcla combustible en intervalos de 50, 100, 150 y 200 horas.
- Se verificó el comportamiento electrónico del inyector comprobando la inductancia, resistencia de la bobina y aislamiento de la bobina.
- Se analizó el caudal de entrega, estanqueidad y caudal de retorno del inyector en un banco de pruebas CRDI en test de ralentí, pre inyección y plena carga



- Se comprobó el estado de los componentes internos del inyector y bomba de alta presión acorde a los periodos de trabajo establecidos.
- Se determinó el peso de componentes internos del inyector y bomba de alta presión al finalizar cada período de funcionamiento mediante balanzas analíticas de tres y cuatro décimas.
- Se examinó la microestructura superficial de los principales componentes de desgaste de la bomba de alta presión e inyector, utilizando un rugosímetro.
- Se verificó la microestructura del émbolo de mando, aguja y agujeros de pulverización, mediante un microscopio.





- Se analizó la durabilidad de los elementos internos del inyector y bomba de alta presión al trabajar con la mezcla combustible diésel surfactantes de agua mediante la comparación de medidas.
- Se determinó que por el tiempo de vida útil que tiene el inyector no es factible del uso de la mezcla combustible diésel surfactantes de agua como fuente de energía alternativa.
- Las pruebas de comportamiento electrónico del inyector de inductancia, resistencia de la bobina y aislamiento de la bobina, indican que inyector no presentó ninguna variación en sus medidas en cada periodo de trabajo, lo que demuestra que la mezcla combustible no afecta el comportamiento electrónico.



- En el análisis de peso de la bomba de alta presión el elemento que presentó mayor pérdida de masa fue la bomba de succión superior, disminuyendo 0,975 g de su peso inicial, el elemento dentro del inyector que más pérdida de masa obtuvo fue la portatobera, reduciendo 0.095 g de su peso a las cero horas.
- Dentro del análisis visual a los elementos del inyector se logró observar que los elementos no presentan un desgaste anormal, únicamente se presentó una variación en el color de algunos componentes internos, específicamente en la varilla de empuje y resorte los cuales se oscurecieron al trabajar con la mezcla combustible, en la bomba de alta presión no se observó ningún desgaste excesivo en sus componentes.
- En el análisis de rugosidad de la microestructura se logró determinar que en el inyector el elemento que más aumento su rugosidad fue la aguja, aumentando 0,197  $\mu\text{m}$ , dentro de la bomba de alta presión el componente que más desgaste presentó en su microestructura fue el árbol de levas específicamente en el sector 2, elevando su rugosidad en 0,258  $\mu\text{m}$ .



- En el análisis de la microestructura mediante un microscopio, se logró visualizar la contaminación que presentaron los elementos de principal desgaste en el inyector, la presencia de desgaste abrasivo y cavitación fue evidente en el embolo de mando, aguja y pulverizador, así también se evidencio que en la aguja existió una contaminación por los tensoactivos utilizados en la mezcla, el orificio del pulverizador de la tobera no presento deformación, pero si cavitación en sus alrededores.
- En los test realizados en el banco de pruebas CRDI al inyector se logró determinar que en la prueba de estanqueidad el inyector cumple los parámetros de funcionamiento indicados por el fabricante, en el test de pre inyección se perdió la medida de retorno de combustible a las 200 horas, en el test de ralentí el inyector sobrepaso los valores de operación indicados por el fabricante a las 200 horas, en el test de plena carga el valor de caudal de retorno se encontró fuera de los valores indicados por el fabricante dentro de las 200 horas.



# RECOMENDACIONES

- Los parámetros de funcionamiento para la activación del inyector deben ser previamente calculados para preservar y asegurar el correcto funcionamiento del inyector.
- Antes de realizar la medición con las herramientas tecnológicas es necesario calibrar previamente estos equipos para la obtención de medidas confiables.
- Para un correcto funcionamiento del sistema en el banco de pruebas es necesario revisar la presión de operación en el riel común dando lectura al manómetro instalado, no sobrepasar los 5000 psi de para evitar un sobrecalentamiento del combustible, así como también evitar el funcionamiento por más de 5 minutos consecutivos para lograr disipar la temperatura generada por la corriente en la bobina del inyector.



- Revisar los puntos de conexión de las tuberías y salidas de alta presión, dado que al accionar el banco de pruebas pueden existir fugas riesgosas.
- Para la manipulación de los elementos desarmados tanto de la bomba como del inyector utilizar guantes y líquidos de limpieza para evitar la contaminación de los mismos y poder obtener lecturas reales de las superficies, al momento de realizar el armado verificar que las juntas tóricas se encuentren en buen estado utilizar WD 40.
- Para futuros proyectos de investigación debido al elevado costo del Kolliphor, uno de los tensoactivos no iónicos utilizados en la elaboración de la mezcla, se recomienda la investigación de otros tensoactivos que tienen un costo menor, como por ejemplo el TWEEN 20.



GRACIAS

