

“Proceso de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI Siemens”

Autores:

Almache Lloacana, Cristian Daniel

Ojeda Núñez, Marcos Daniel

Director:

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán

Latacunga, 18 agosto de 2023



- Antecedentes
- Planteamiento del problema
- Descripción resumida del proyecto
- Justificación e importancia
- Objetivos de la investigación
 - General
 - Específico
- Meta de la investigación
- Hipótesis



- Marco Teórico
 - Evolución de los sistemas de riel común
 - Inyector piezoeléctrico Siemens VDO Continental
 - Constitución de un inyector piezoeléctrico
 - Funcionamiento del inyector piezoeléctrico
 - Verificación de los inyectores
- Protocolo de proceso de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI Siemens
 - Equipos y herramientas
 - Requisitos de pruebas
 - Vehículos equipados con inyectores siemens VDO continental
 - Despiece de inyector piezoeléctrico siemens
 - Proceso de desarmado de inyector
 - Proceso de armado



- ❑ Proceso de calibración y ajuste de recorridos
- ❑ Ángulos de pulverización
- ❑ Prueba de pulverización de inyector siemens VDO continental.
- ❑ Prueba de fugas: prueba de sellado.
- ❑ Pruebas en banco para inyector Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG.
- ❑ Análisis de las pruebas eléctricas del inyector
- ❑ Oscilogramas de voltaje y corriente
- ❑ Conclusiones y recomendaciones



MARCO METODOLÓGICO



La investigación sobre el sistema CRDI Siemens ha sido amplia y variada, ya que este sistema ha sido interesado por los proveedores de sistemas de inyección de combustible y los investigadores de ingeniería mecánica y tecnología de motores.

El sistema CRDI Siemens es controlado electrónicamente, por lo que se debe enfocar la investigación en la utilidad de los componentes electrónicos que garanticen la gestión de inyección de combustible de forma precisa y en tiempo real.

Según (Passo & Luna, 2019) en su texto menciona que:

Los inyectores CRDI como Siemens, poseen diferencias considerables al momento de regulación de presión y la cantidad de flujo que pasa a ser comprimido en la parte de alta presión, estructura de regulación, retorno y el sistema de control y activación de inyectores Common rail direct Injection CRDI (pp. 186-184)



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema de inyección Common Rail Direct Injection (CRDI) de Siemens es ampliamente utilizado en motores diésel de vehículos y maquinarias pesadas. Los inyectores son componentes clave de este sistema, su correcto funcionamiento es fundamental para el rendimiento y la eficiencia del motor. Sin embargo, estos inyectores están sujetos a fallas y averías que pueden afectar negativamente el rendimiento del motor, lo que a su vez puede resultar en un mayor consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes.

La investigación en esta área es importante para los proveedores de sistemas de inyección de combustible, ya que les permitiría identificar las causas de fallas y problemas en los inyectores CRDI Siemens y desarrollar soluciones efectivas para mejorar la eficiencia y el rendimiento del sistema de inyección. Además, la investigación también podría ser útil para los propietarios de vehículos con motores diésel equipados con el sistema CRDI Siemens, ya que les permitiría entender mejor los problemas potenciales y cómo prevenirlos o solucionarlos.



DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO

Investigó

Determinar procesos

Levantamiento

Selección de equipos

Estimación de procesos

Verificación

Desarrollo del protocolo

Informe y verificación



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Desarrollo de
la
investigación

La importancia de analizar los inyectores CRDI Siemens se relaciona con la necesidad de identificar las causas de las fallas y problemas en estos componentes y desarrollar soluciones efectivas para mejorar la eficiencia y el rendimiento del sistema de inyección de combustible. La investigación en esta área puede contribuir a la optimización del sistema de inyección de combustible, lo que se traduce en una mayor eficiencia y rendimiento del motor, así como en una reducción de las emisiones de gases contaminantes.



Objetivo general

Desarrollar el proceso de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI SIEMENS.



Objetivos específicos

- Levantar requerimientos y seleccionar equipos de verificación y diagnóstico de inyectores CRDI SIEMENS.
- Determinar el proceso de operación, verificación y especificaciones de los inyectores CRDI SIEMENS
- Verificar el desempeño mecánico, hidráulico y electrónico.
- Desarrollar el protocolo e informe de reparación, calibración, ajuste y puesta a punto mecánica y eléctrica de inyectores CRDI SIEMENS.





Realizar el proceso de diagnóstico mecánico electrónico y calibración en función a los parámetros y hojas características.



¿El desarrollo del proceso de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI SIEMENS permitirá obtener las variables necesarias para el desempeño óptimo del motor de combustión interna diésel?

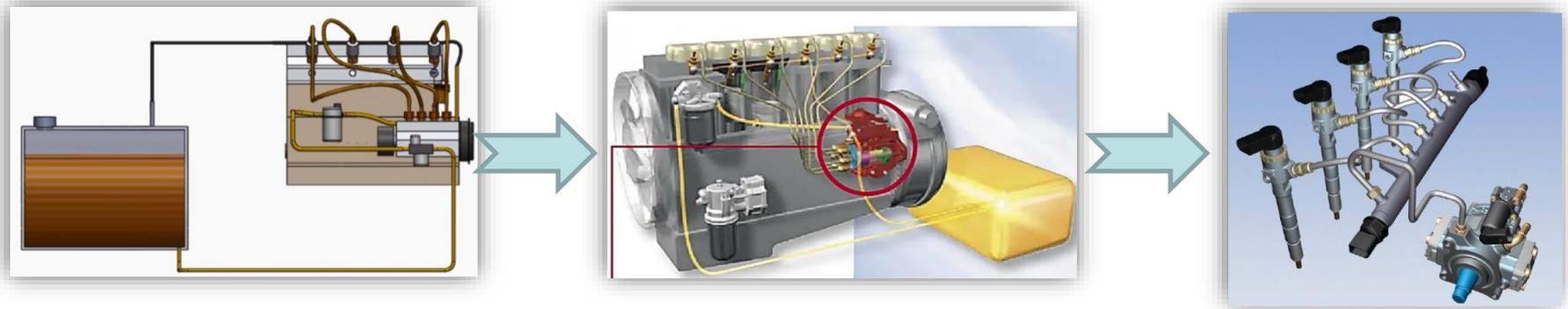


MARCO TEÓRICO

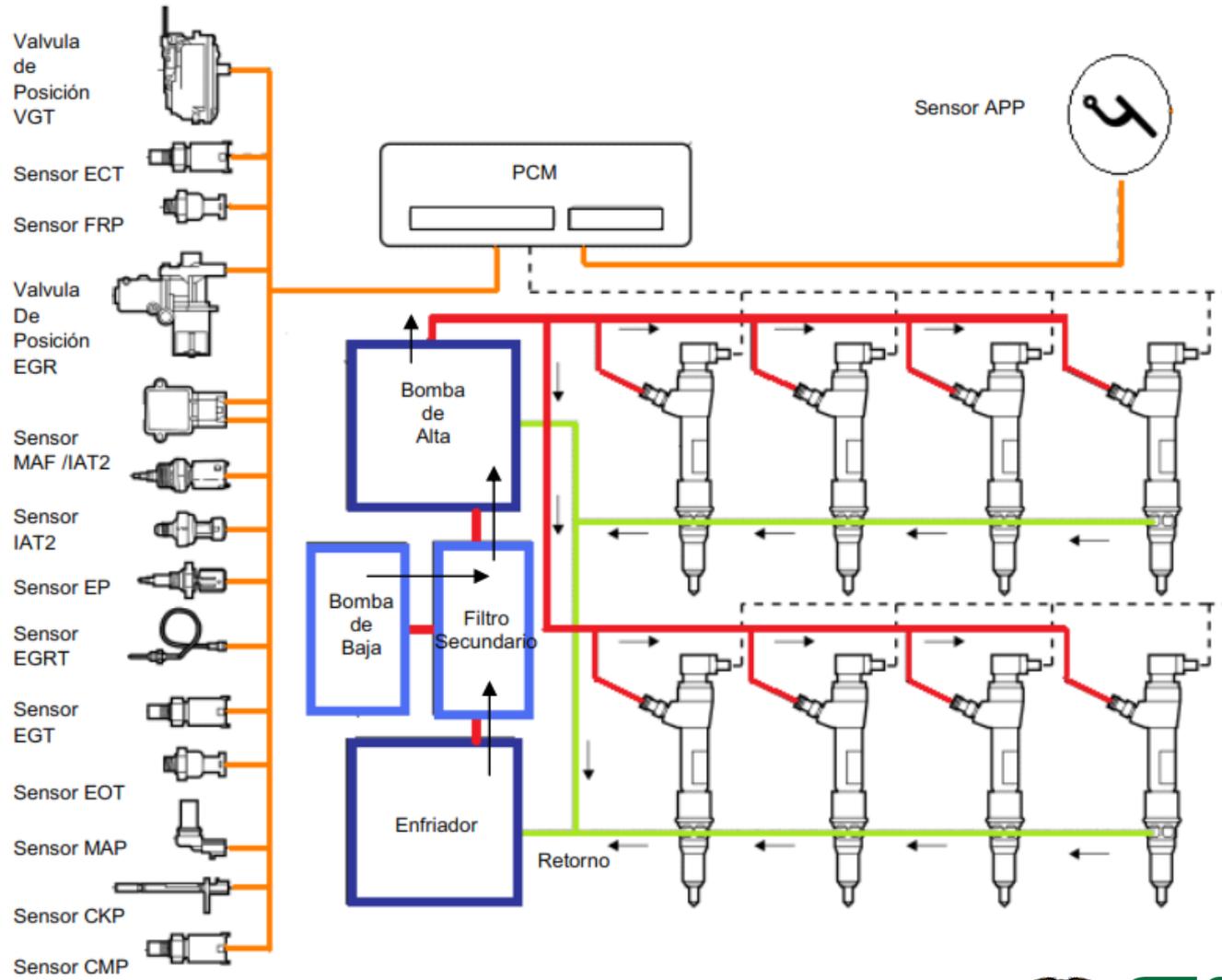


EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEL COMÚN

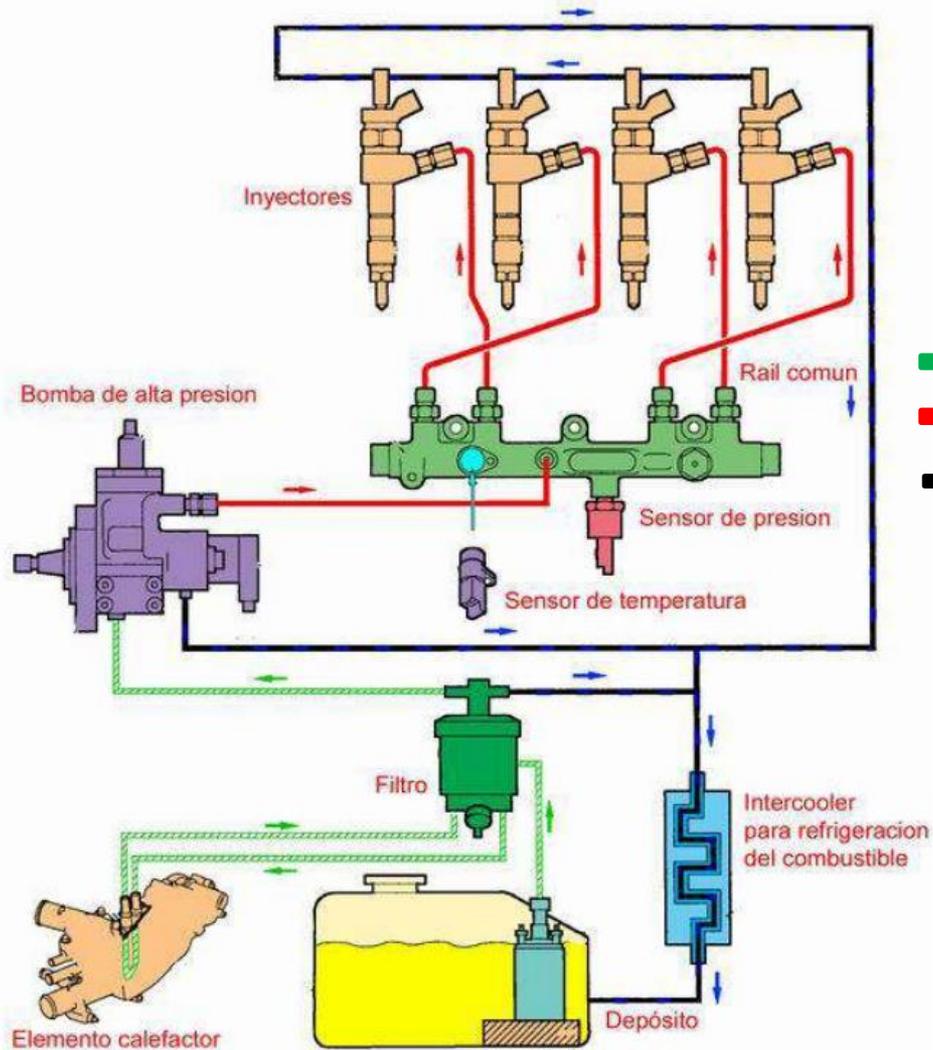
En este sistema, la generación de presión se da por medio de una bomba de alta presión accionada por el motor, donde dicha presión es regulada y controlada electrónicamente al igual que el tiempo y duración de la inyección en cada uno de sus inyectores. Esto ha permitido que la inyección sea más precisa y la combustión se realice de la forma más eficiente posible, aprovechando así el combustible.



CONTROL ELECTRÓNICO DE SISTEMA CRDI SIEMENS



SISTEMA DE ALTA Y BAJA PRESIÓN



- Verde: Línea de baja presión
- Roja: Línea de alta presión.
- Negra: Línea de retorno

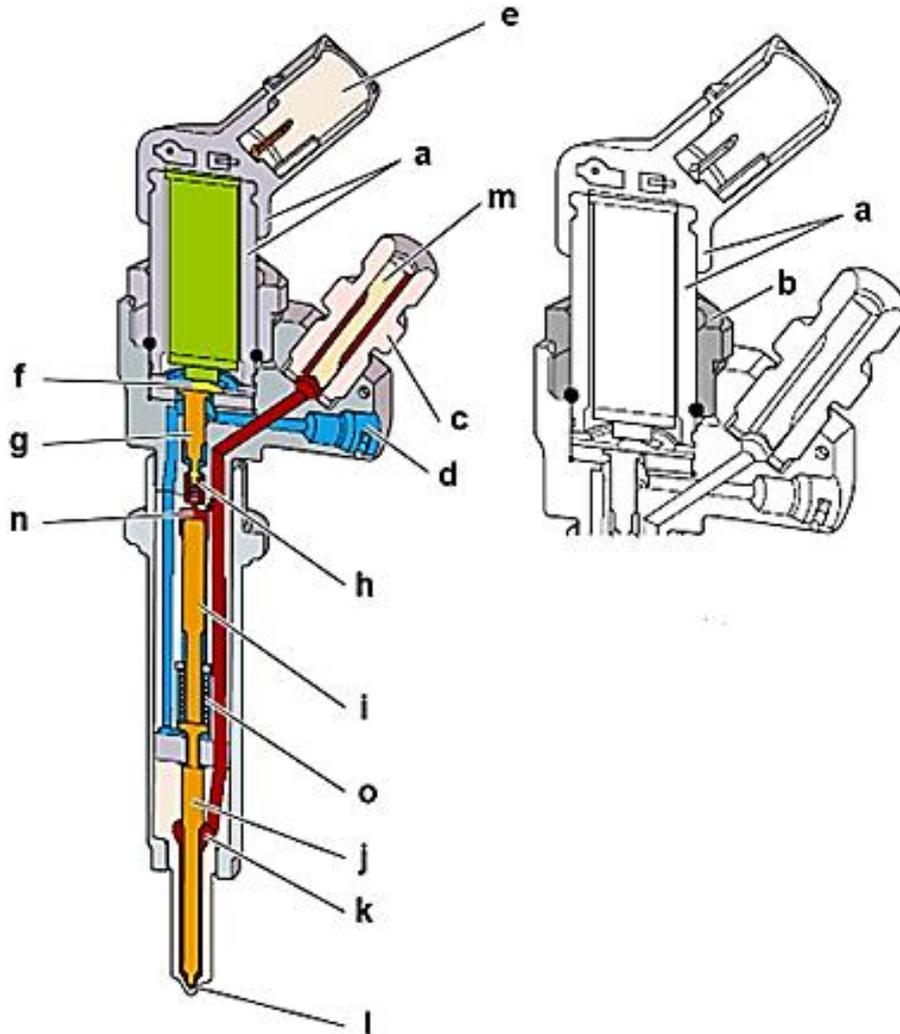


INYECTOR PIEZOELÉCTRICO SIEMENS

- Los inyectores piezoeléctricos difieren de los solenoides en su funcionamiento.
- Un inyector piezoeléctrico ofrece mayor precisión en términos de sincronización y cantidad de inyección del combustible en el cilindro del motor.
- El fenómeno piezoeléctrico es de naturaleza eléctrica y se manifiesta cuando los cristales de cuarzo son sometidos a deformación debido a un voltaje aplicado.



CONSTITUCIÓN DE UN INYECTOR PIEZOELÉCTRICO



- a) Actuador piezoeléctrico
- b) Tuerca de Apriete
- c) Racor de alta presión
- d) Retorno de combustible
- e) Conector
- f) Casquillo
- g) Pistón de mando
- h) Válvula "hongo" de cierre
- i) Pistón de mando de la aguja
- j) Aguja de inyector
- k) Cámara de alta presión aguja
- l) Orificio de inyector
- m) Filtro laminar
- n) Volumen de mando
- o) Resorte de recuperación.



FUNCIONAMIENTO DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO

Dentro del cuerpo del inyector se mantiene una presión constante entre las dos presiones creando un equilibrio de presiones en su estado cerrado, es decir que, para que exista inyección se debe desequilibrar dicho balance.

$$F_1 = F_2$$

F_1 = Fuerza de entrada de combustible a alta presión.

F_2 = Fuerza del combustible en la aguja.

F_R = Fuerza de la aguja del inyector a través del émbolo.



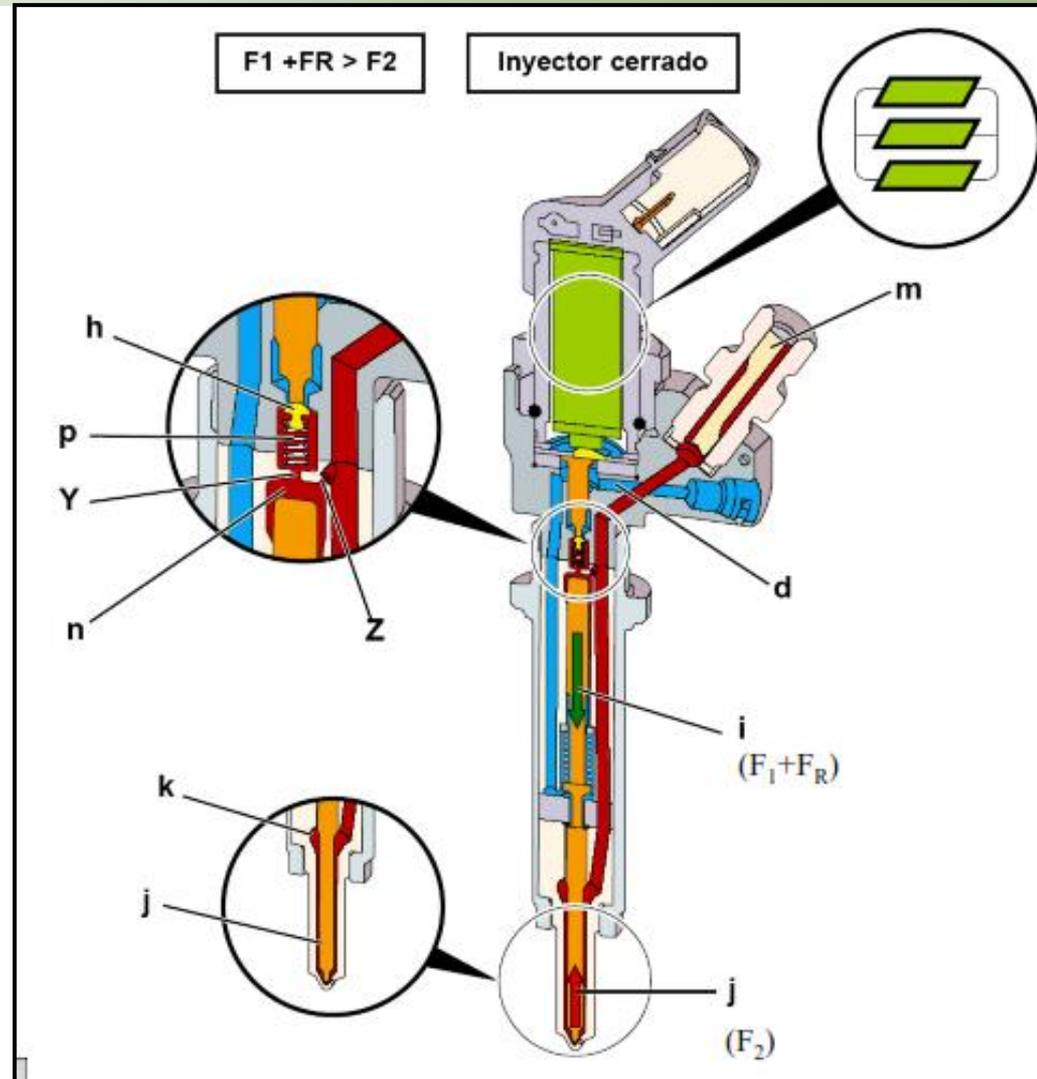
FUNCIONAMIENTO DEL INYECTOR PIEZOELÉCTRICO

Inyector cerrado

En estado desactivado cumple la siguiente ecuación

$$F_1 + F_R > F_2$$

El actuador piezoeléctrico no recibe alimentación, el orificio de retorno se encuentra cerrado por el h) tampón hongo.

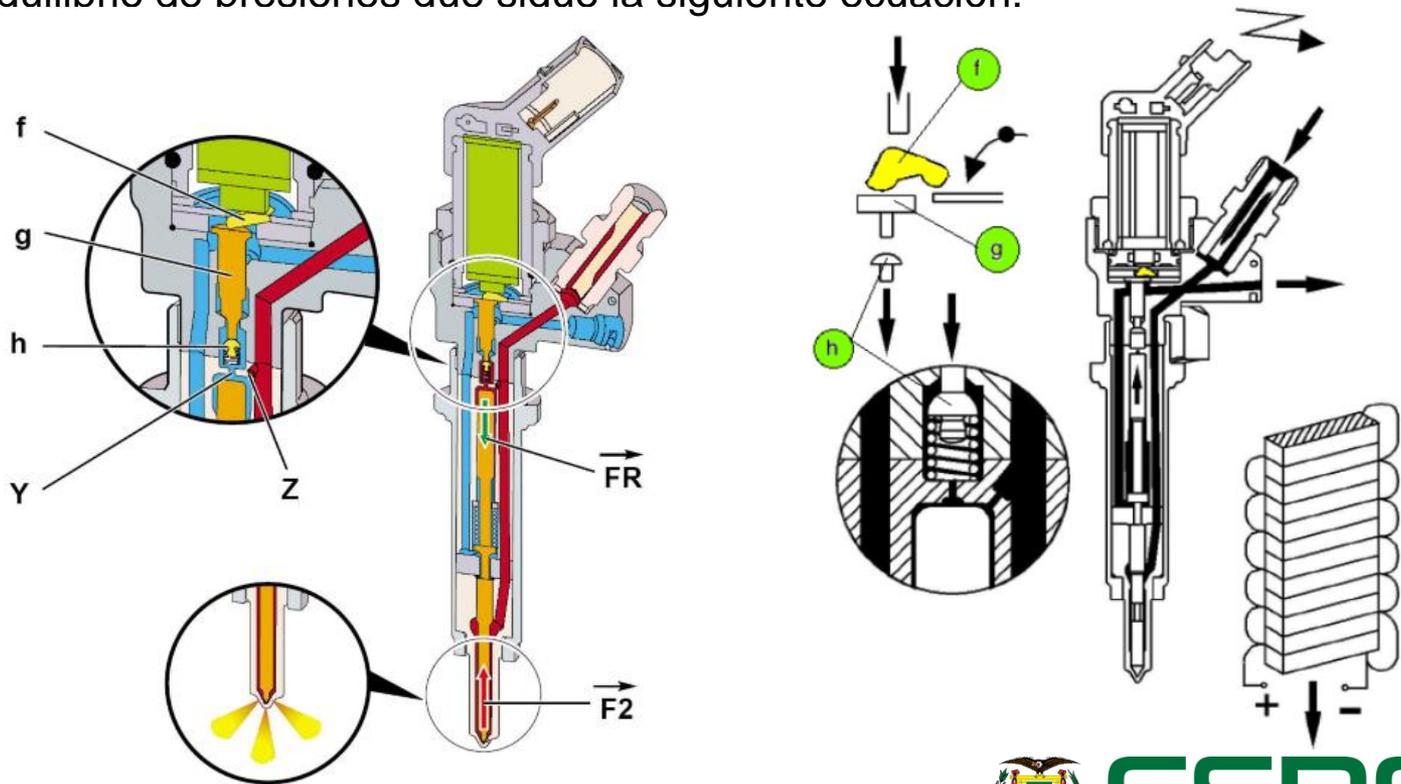


FUNCIONAMIENTO DEL INYECTOR PIEZOELECTRICO

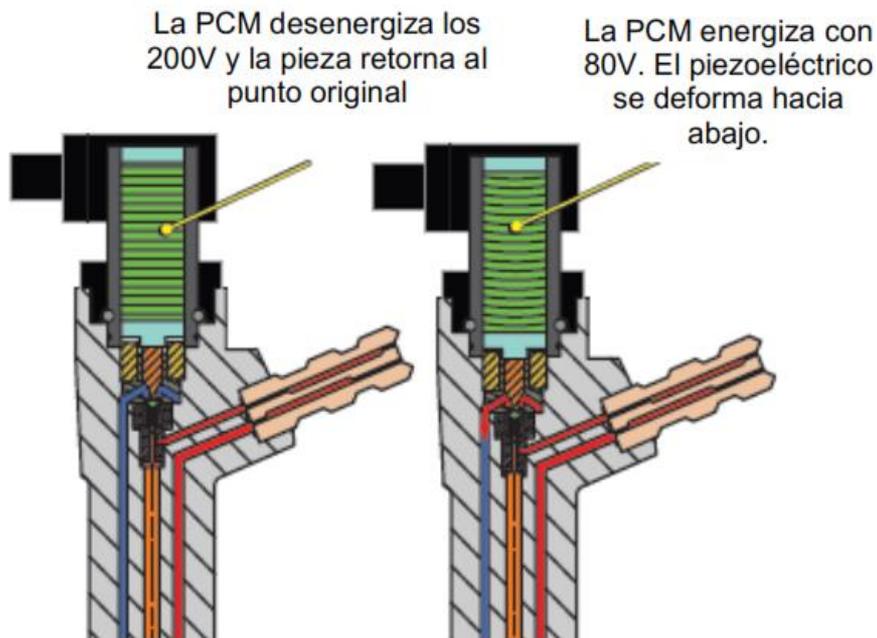
Inyector abierto

En la activación del inyector ya posee una señal de activación que permite al actuador piezoeléctrico desplazar un vástago que presiona sobre el embolo de la válvula de la cámara de control, la válvula se abre conectando esta con el retorno de combustible creando del desequilibrio de presiones que sigue la siguiente ecuación:

$$F_1 + F_R < F_2$$



FUNCIONAMIENTO ELECTRÓNICO DEL INYECTOR PIEZOELECTRICO



Para iniciar el proceso de activación, la ECU envía sobre el piezoeléctrico una tensión inicial de 70-80V por un tiempo de 0.2 ms. Interiormente los cristales logran elevar este voltaje a 140 V aproximadamente y le toma otros 0.2 ms, esto se logra con una corriente de 7 A aproximadamente. Para que el inyector piezoeléctrico pueda terminar el proceso, es necesario enviar otro impulso de tensión denominado tiempo de descarga, tardándose alrededor de otros 0.2ms.



PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VERIFICACIÓN DE LOS INYECTORES

Verificación y control de inyectores.

El proceso de verificación de un inyector diésel CRDI permite evaluar si un inyector se encuentra en perfecto estado o defectuoso. Inicialmente se realiza una inspección visual que permitirá conocer el estado físico de inyector. Se puede realizar una prueba de accionamiento para verificar si el actuador piezoeléctrico o electromagnético se encuentra funcional.

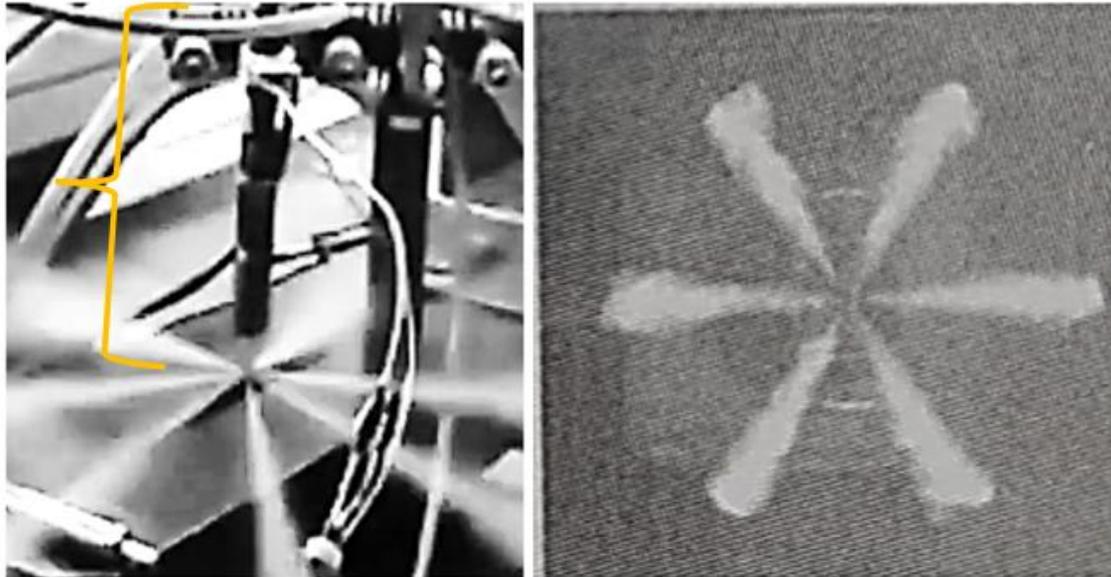


VERIFICACIÓN DE LOS INYECTORES

Verificación de la pulverización y dirección del chorro.

En la verificación de pulverización se debe observar que el inyector no se encuentre obstruido y este sea capaz de crear una pulverización uniforme en todas sus direcciones dependiendo de la cantidad de orificios que este disponga. Particularmente los inyectores obstruidos cambian la dirección de pulverización debido a un aumento de la presión.

Inyector



VERIFICACIÓN DE LOS INYECTORES

Verificación de la estanqueidad.

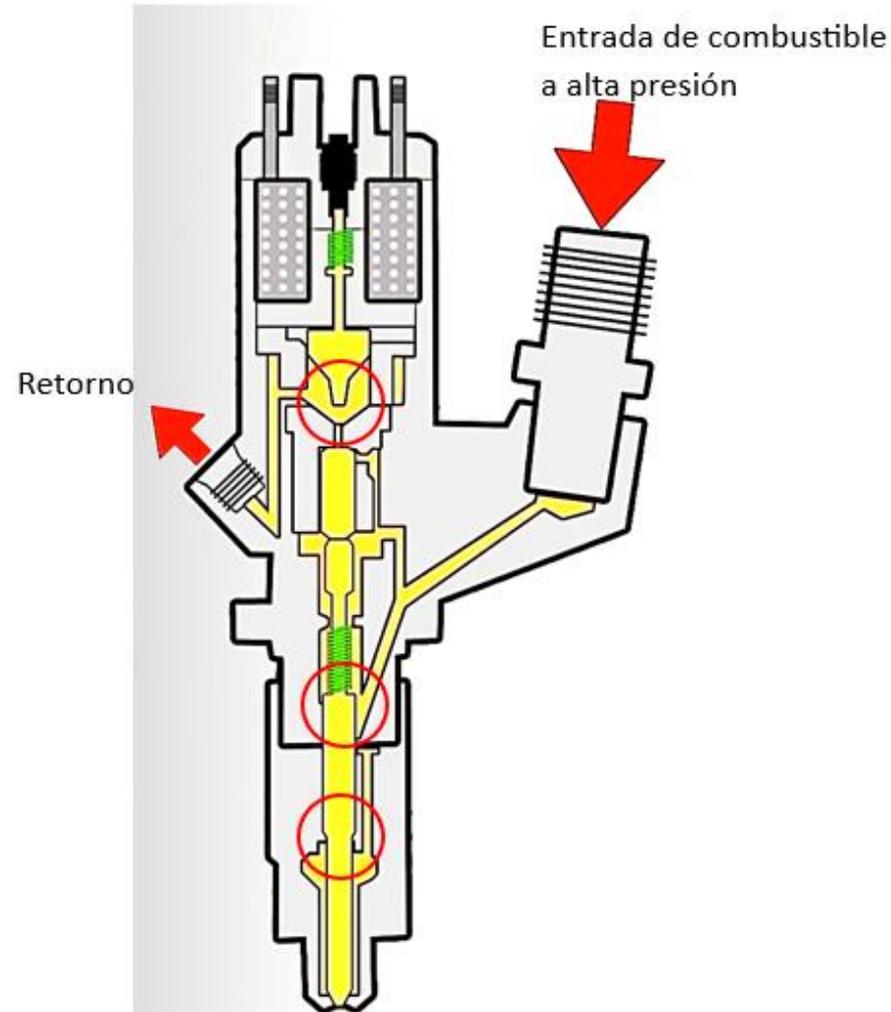
Este proceso se realiza para verificar que el inyector no tenga fugas por la tobera, en caso de tener fugas estas se debe evaluar en base al goteo que presenta, es decir que, a una determinada presión con ausencia de pulsos de activación el inyector envía combustible por tobera creando una fuga.



VERIFICACIÓN DE LOS INYECTORES

Verificación de fuga de retorno.

Debido a la diferencia de presiones con la que trabaja un inyector, la fuga de retorno se refiere a la cantidad de combustible que no entra al cilindro direccionándose al conducto de retorno, creando una disminución en la presión de inyección. Generalmente una fuga de retorno se produce por el desgaste en los componentes móviles internos, acumulación de impurezas en la cámara de control impidiendo que la válvula abra o cierre el flujo y falencias en la operación del actuador.



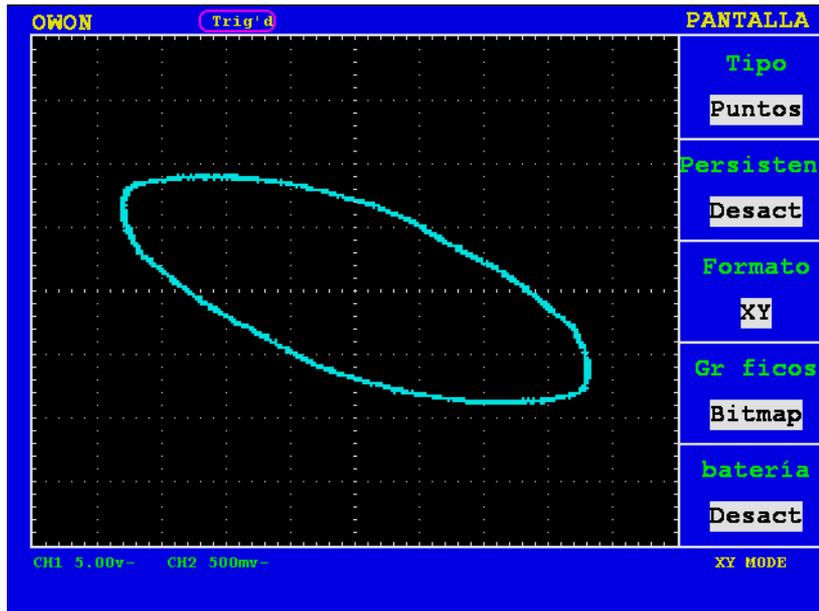
VERIFICACIÓN DE LOS INYECTORES

Verificación de entrega de combustible

La verificación de la entrega de combustible se basa en el volumen de combustible inyectado en un determinado tiempo y cantidad de pulsos. Esta verificación depende de la calibración del actuador regulando el recorrido de la válvula. Del recorrido de la válvula dependerá el caudal entregado desde el conducto de alta presión hasta la tobera. Los inyectores mal calibrados o con fugas de retorno entregan excesivas o insuficientes cantidades de combustible al motor.



VERIFICACIÓN DE LOS INYECTORES

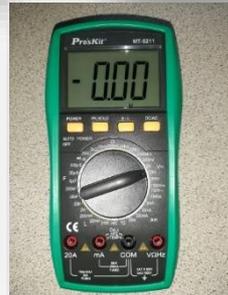


Verificaciones eléctricas

El inyector posee un actuador piezoeléctrico que funciona como un condensador, mediante las gráficas de Lissajous se verificó el estado del circuito equivalente sin energizar el sistema.



EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

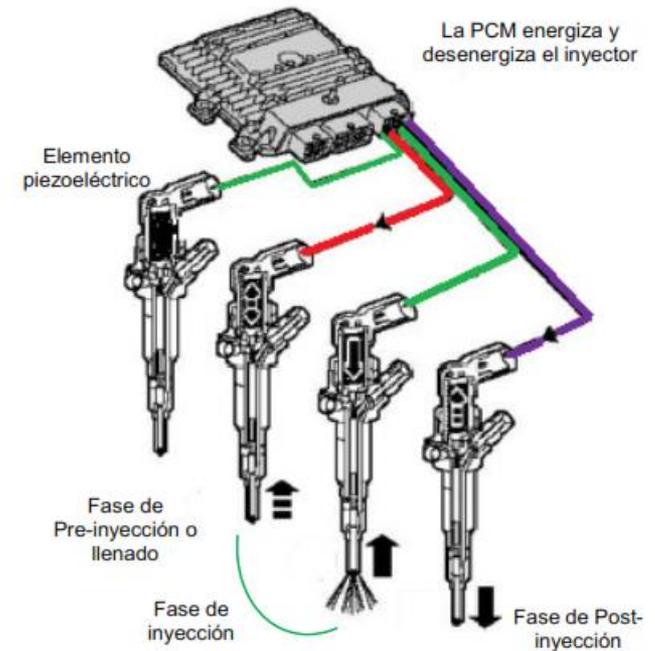


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



REQUISITOS DE PRUEBAS

Parámetros	Presión (bar)	RPM	Pulsos (μ s)
Estanqueidad	1600	1500	0
Plena Carga	1500	1000	750
Emisiones	1000	1250	650
Ralentí	250	1300	470
Preinyección	700	1600	150
Emisiones	900	1250	500

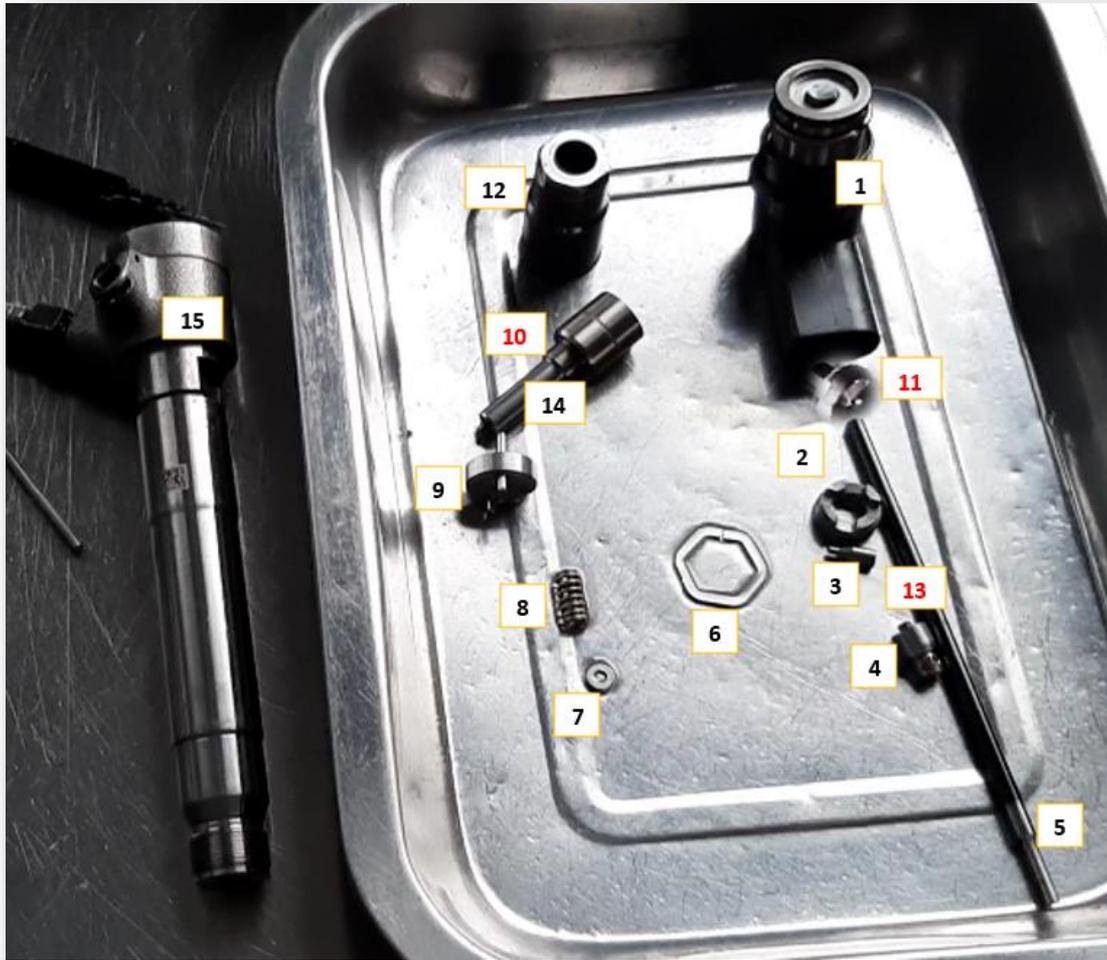


VEHÍCULOS EQUIPADOS CON INYECTORES SIEMENS VDO CONTINENTAL

Descripción	Modelo	Año	Motor	Foto
Citroën	Berlingo Multispace	2010 →	9HR (DV6C)	
Citroën	C3 II (SC) 1.6 HDi 110	2009→	9HR(DV6C)	
Peugeot	208 I (CA, CC) 1,6 HDi	2012- 2019	9HR(DV6C)	
Peugeot	2008 I (CU) 1.6 HDi	2013→	9HD (DV6CTED)	
Ford	RANGER (TIKE) 3.2 TDCi 4x4	2011→	SAFA	



DESPIECE DE INYECTOR PIEZOELÉCTRICO SIEMENS



1	Actuador piezoeléctrico
2	Tuerca anular
3	Pin de válvula
4	Válvula
5	Vástago
6	Arandela de calibración
7	Arandela de compensación
8	Muelle de ralentí
9	Espaciador
10	Aguja
11	Casquillo
12	Portatobera
13	Guía de pin
14	Tobera
15	Cuerpo



PROCESO DE DESARMADO DE INYECTOR SIEMENS VDO CONTINENTAL



1) Fijación del inyector.



2) Desmontaje del actuador piezoeléctrico.



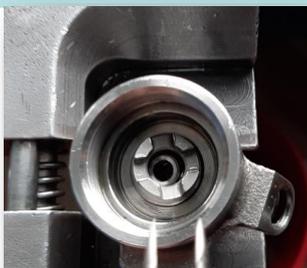
3) Desmontaje del portatobera.



4) Extracción de elementos internos en el cuerpo del inyector



5) Desmontaje de componentes de accionamiento.



6) Desmontaje de la válvula.



7) Desmontaje de los componentes internos en la cámara de control.



8) Desmontaje del vástago



PROCESO DE ARMADO DE INYECTOR SIEMENS VDO CONTINENTAL



1) Colocación de arandela de compensación.



2) Montaje de honguito de control



3) Ajuste de tuerca anular



4) Incorporación de vástago



5) Montaje de espaciador



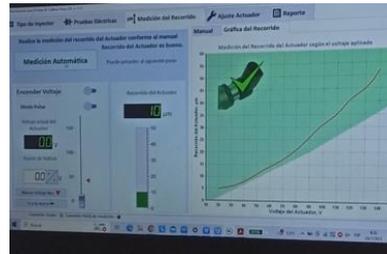
6) Montaje de tobera, aguja y portatobera



7) Ajuste de portatobera 40 Nm



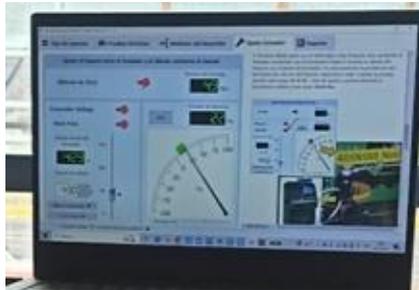
PROCESO DE CALIBRACIÓN Y AJUSTE DE RECORRIDOS



1) Verificación de capacitancia

2) Ajuste de recorrido del actuador

3) Ajuste del actuador con arandela de calibración



4) Verificación del ajuste del actuador (40-60) Nm.

5) Comprobación en banco

1 209 543

Casseta - Complete set

Ch14,5

0,90±1,10 (0,01)



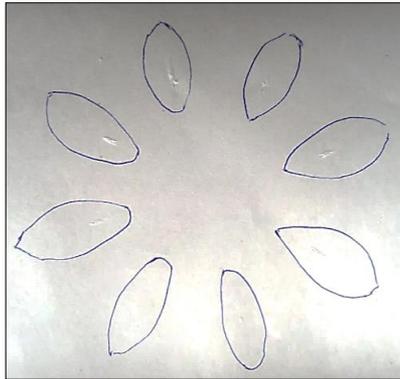
REDAT REF.	OEM REF.	Spessore(mm) Thickness(mm)	Q.tà / Q.ty
1 216 060		0.90	10
1 216 061		0.91	10
1 216 062		0.92	10
1 216 063		0.93	10
1 216 064		0.94	10
1 216 065		0.95	10
1 216 066		0.96	10
1 216 067		0.97	10
1 216 068		0.98	10
1 216 069		0.99	10
1 216 070		1.00	10
1 216 071		1.01	10
1 216 072		1.02	10
1 216 073		1.03	10
1 216 074		1.04	10
1 216 075		1.05	10
1 216 076		1.06	10
1 216 077		1.07	10
1 216 078		1.08	10
1 216 079		1.09	10
1 216 080		1.10	10



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ÁNGULOS DE PULVERIZACIÓN

Prueba en el banco de pruebas VT 3500 VPN



Ubicar el inyector en el banco de pruebas VT 3500 VPN.

Al examinar el patrón de pulverización de este tipo de inyector, es evidente la presencia de 8 orificios, cada uno con ángulos de dispersión específicos, donde se realiza sus cálculos respectivos y lo podemos visualizar en la tabla.

Angulo de dispersión	Angulo de disparo	Angulo de cono
6.21°	6.91°	166.16°



PRUEBA DE PULVERIZACIÓN DE INYECTOR SIEMENS VDO

CONTINENTAL.



La presión de apertura del inyector para combustible oscila entre 140 y 150 bar. Si se somete a una presión menor, el inyector no se abrirá y no llevará a cabo la inyección del combustible.



Se realizó una prueba de pulverización y se confirmó su correcto funcionamiento.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBA DE FUGAS, PRUEBA DE SELLADO.

La fuga de retorno indica la cantidad de combustible que sale entre la varilla de la válvula de aguja y el cuerpo de la tobera, hacia el retorno. Esta fuga debe existir en cierta proporción para lubricar estos componentes. Si es pequeña, indica una escasa holgura entre la aguja y la tobera. Si la fuga es excesiva, indica mayor holgura de la necesaria y deberá sustituirse o repararse la tobera.

Paso de test	Presión (Mpa)	Ancho de pulso (μ s)	Valor de referencia (mm^3/H)
LEAK TEST	1700	0	40 \pm 40



VERIFICACIÓN DE BANCO DE PRUEBAS PARA INYECTOR

SIEMENS CONTINENTAL BK2Q-9K546-AG.

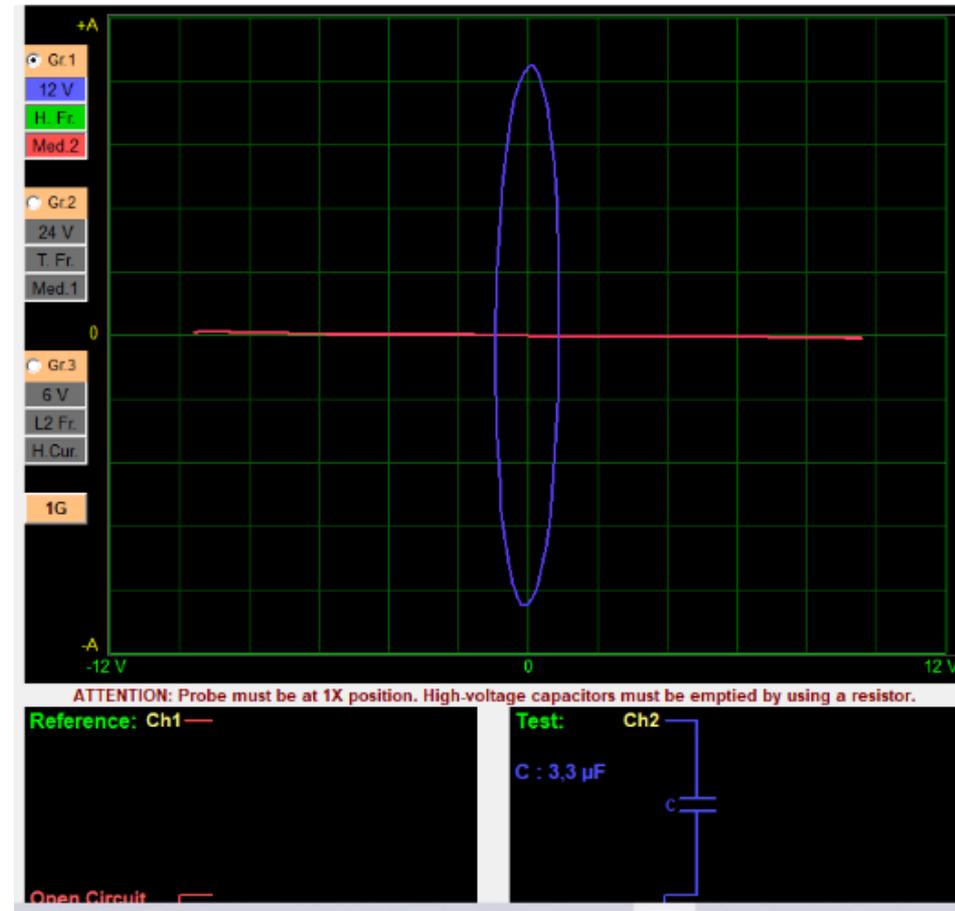
PRUEBAS	PRESS BAR	RPM d/d	PULSE μS	NORMAL (mm ³ /H)	± (mm ³ /H)	1. INJEC (mm ³ /H)
ESTANQUEIDAD	1600	1500	0	0	0	0.0
				10.0	10.0	4.3
PLENA CARGA	1500	1000	750	49.8	5.0	48.3
				30.0	15.0	23.0
EMISIONES	1000	1250	650	38.0	4.0	0.0
				0	0	0.0
RALENTI	250	1300	470	5.6	2.0	3.3
				6.0	4.0	4.8
PRE-INYECCIÓN	700	1600	150	2.8	1.0	2.4
				0	0	0.0
EMISIONES	900	1250	500	28.4	3.0	27.8
				0	0	0



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS ELÉCTRICAS DEL INYECTOR

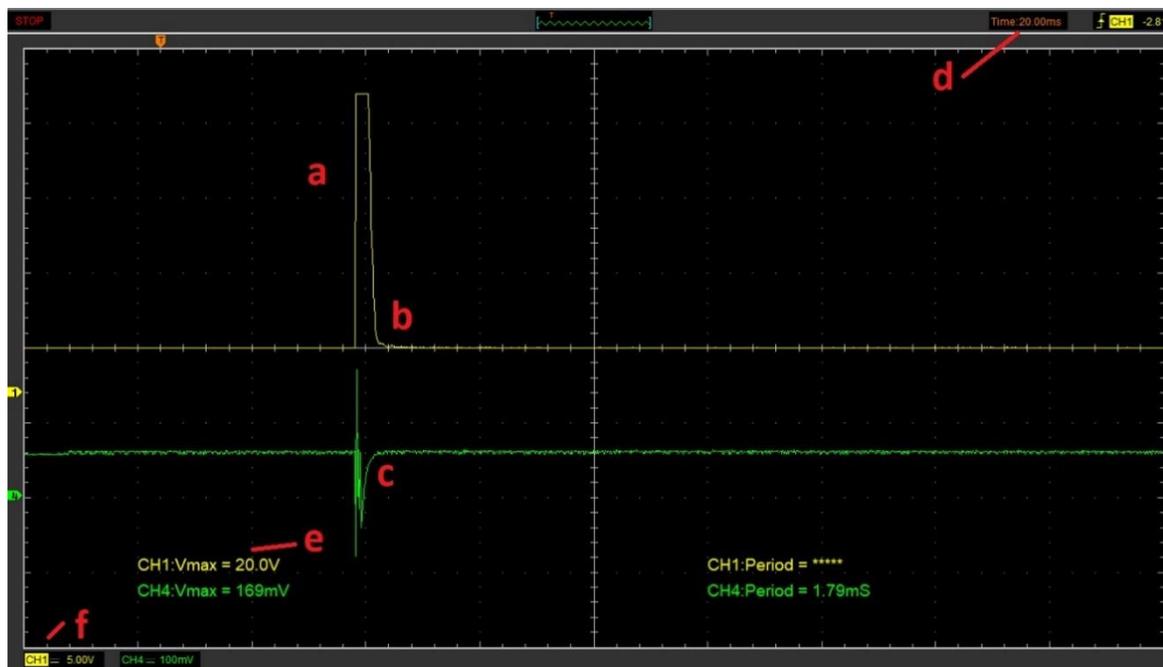
Tomando en cuenta que un actuador piezoeléctrico se comporta como un condensador, se puede analizar el componente con un trazador, el mismo que graficará un circuito equivalente con relación al voltaje y corriente de funcionamiento.



OSCILOGRAMAS DE VOLTAJE Y CORRIENTE

El voltaje de activación va de acuerdo con el tiempo de inyección que se realice en la prueba, esto a medida que hay un aumento de voltaje de activación hay una disminución y de la misma forma el voltaje de retención.

N° Prueba	(ms)	(Strock)	(V)	(A)
1	1	300	20	1.69
2	1.5	300	20	2.26
3	2	300	20	1.17
4	1	500	20	1.22
5	1.5	500	20	1.84
6	2	500	20	3.5



- Se llevó a cabo el levantamiento de requerimientos que posibilitó la selección de los equipos y máquinas destinados a la verificación y diagnóstico de inyectores CRDI SIEMENS. Estos equipos permitieron simular cada una de las pruebas necesarias, así como diagnosticar posibles fallas o averías dentro del cuerpo del inyector. En la inyección electrónica CRDI, los equipos de verificación desempeñan un papel de suma importancia en cuanto a la eficiencia del trabajo, ya que contribuyen a mejorar los tiempos operativos.
- Se determinó el proceso de operación, verificación y las especificaciones de los inyectores CRDI SIEMENS. Se concluyó que estos inyectores operan bajo el principio piezoeléctrico, lo que les permite dosificar el combustible diésel en múltiples inyecciones con la finalidad de mejorar el rendimiento, el consumo y reducir las emisiones al medio ambiente. Asimismo, se confirmó que estos inyectores forman parte de diferentes marcas presentes en el mercado ecuatoriano, como Peugeot, Ford y Citroën.



- Se verificaron los parámetros que permiten calificar un inyector en buen estado basándose en su desempeño mecánico, ya que gran parte de su funcionamiento depende del accionamiento mecánico interno. Además, se verificó el desempeño hidráulico y electrónico, lo que permitió conocer los rangos de presión de accionamiento, voltajes y corrientes de activación.
- Se desarrolló un protocolo e informe de reparación que abarcó el proceso de calibración y ajuste de los inyectores según los datos estándares de funcionamiento. Estos requerimientos fueron comparados en un banco de pruebas, lo que permitió aceptar o descartar inyectores reparados. Este informe resultante facilitó la evaluación de la viabilidad funcional de los inyectores.



- Se sugiere adquirir los manuales de fabricante correspondientes a los inyectores, particularmente los de tipo piezoeléctrico. Cada marca presenta variaciones en las especificaciones de torque aplicadas a los componentes individuales del inyector. Es evidente que un apriete incorrecto en cualquiera de estos elementos podría ocasionar fallos al someter el inyector a pruebas en el banco de ensayos, lo que potencialmente conllevaría a resultados adversos en el funcionamiento del sistema.
- Se reconoce la importancia de adquirir habilidades en el manejo de las herramientas, ya que se requiere alcanzar el más alto nivel de precisión en el ensamblaje de cada uno de los componentes internos del inyector.
- Se destaca la utilización de equipos contemporáneos con el propósito de llevar a cabo tareas con una mayor medida de seguridad al momento de realizar diagnósticos en casos de fallos en los inyectores. Estos equipos permiten precisar con exactitud qué componente específico está experimentando problemas, facilitando así la identificación y solución de los inconvenientes presentes.

