



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

TEMA:

**DESARROLLO DE UN MANUAL DE PROCESOS PARA LA COMPROBACIÓN
DE LA ALTA PRESIÓN Y ESTANQUEIDAD DE INYECTORES CRDI
PIEZOELÉCTRICOS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

AUTOR:

ZAMBRANO ROMERO JUAN ALFREDO

Guayaquil, Septiembre 2017

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

CERTIFICADO

Ing. Edwin Puente

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado **“DESARROLLO DE UN MANUAL DE PROCESOS PARA LA COMPROBACIÓN DE LA ALTA PRESIÓN Y ESTANQUEIDAD DE INYECTORES CRDI PIEZOELÉCTRICOS”**, realizado por el estudiante: **JUAN ALFREDO ZAMBRANO ROMERO**, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple las normas estatutarias establecidas por la Universidad Internacional del Ecuador, en el Reglamento de Estudiantes.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional.

Guayaquil, Septiembre 2017



Ing. Edwin Puente
Director de proyecto

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Yo, JUAN ALFREDO ZAMBRANO ROMERO

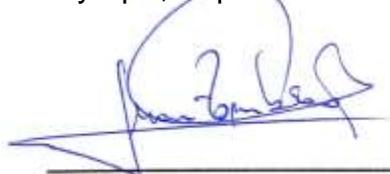
DECLARO QUE:

La investigación de cátedra denominada: **“DESARROLLO DE UN MANUAL DE PROCESOS PARA LA COMPROBACIÓN DE LA ALTA PRESIÓN Y ESTANQUEIDAD DE INYECTORES CRDI PIEZOELÉCTRICOS”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría, apoyados en la guía constante de mi docente.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico para la Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz.

Guayaquil, Septiembre 2017.



Juan Alfredo Zambrano Romero

C.I: 0909155665

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

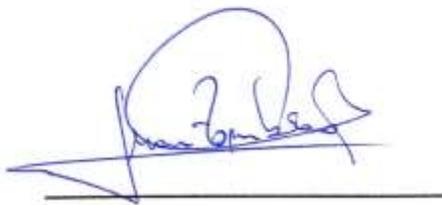
FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Yo, JUAN ALFREDO ZAMBRANO ROMERO

Autorizo a la Universidad Internacional del Ecuador, la publicación en la biblioteca virtual de la Institución, de la investigación de cátedra: **“DESARROLLO DE UN MANUAL DE PROCESOS PARA LA COMPROBACIÓN DE LA ALTA PRESIÓN Y ESTANQUEIDAD DE INYECTORES CRDI PIEZOELÉCTRICOS”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, Septiembre 2017.



Juan Alfredo Zambrano Romero

C.I: 0909155665

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO	iii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iv
AUTORIZACIÓN	v
ÍNDICE GENERAL	vi
DEDICATORIA.....	xii
AGRADECIMIENTO	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN.....	xvi
CAPÍTULO I	17
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN Y MARCO REFERENCIAL	17
1.1.Definición del problema	17
1.2.Objetivos de la investigación	18
1.2.1.Objetivo general	18
1.2.2.Objetivos específicos.....	19
1.3.Alcance.....	19
1.4.Justificación e importancia de la investigación.....	20
1.5.Marco metodológico	21
1.5.1.Método de investigación	21
1.5.2.Tipo de investigación	22
1.6.Marco Teórico.....	22
1.6.1.Sistema de inyección Common rail CRDI	22

1.6.2.Unidad electrónica de control	23
1.6.3.Bomba rotativa de alta presión	25
1.6.4.Bomba de alta presión HP	26
1.6.4.1.Bomba de transferencia.....	26
1.6.4.2.Bomba de alta presión	27
1.6.5.Common rail	28
1.6.6.Sensor de presión.....	29
1.6.7.Tuberías de alta presión	29
1.6.8.Inyector.....	30
1.6.9.Válvula de derivación de Entrada IMV	32
CAPÍTULO II	33
BANCO DE PRUEBAS CRT-3500	33
2.1.Componentes y datos técnicos	33
2.2.Supervisor de alta y baja presión CRDI CRT-3500.....	36
2.3.Simulador de sensor de presión en el riel	37
2.4.Simulador de la señal de la válvula reguladora de presión.	38
2.5.Inyectores sustitutos CRDI	39
2.6.Extensión de Tuberías para inyectores.....	39
2.7.Tubos de ensayo calibrados	40
CAPÍTULO III	41
DIAGNOSTICO DE ALTA PRESION CON EL BANCO DE PRUEBAS CRT- 3500	41
3.1.Método de prueba en alta presión de sistema CRDI motor Hyundai J3	41
3.2.Prueba de presión en el common rail del motor Hyundai J3	43
3.3.Prueba de estanqueidad de inyectores CRDI piezoeléctricos.....	51

3.4.Prueba de estanqueidad de los inyectores piezoeléctricos	57
CAPÍTULO IV	64
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
4.1.Conclusiones	64
4.1.Recomendaciones	65
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema common rail	23
Figura 2. ECU, Kia Carnival Sedona 2003	24
Figura 3. Componentes de la bomba rotativa alta presión.....	25
Figura 4. Bomba de alta presión CRDI.....	27
Figura 5. Common rail	28
Figura 6. Sensor de presión del riel Delphi.....	29
Figura 7. Cañerías alta presión.....	30
Figura 8. Inyector piezoelectrico.....	31
Figura 9. Válvula IMV	32
Figura 10. Kit del banco de pruebas CIT-3000	34
Figura 11. Supervisor de baja y alta presión	37
Figura 12. Simulador de sensor de presión en el riel Delphi	38
Figura 13. Simulador de la válvula reguladora presión	38
Figura 14. Inyectores sustitutos	39
Figura 15. Extensión de tuberías para inyectores	40
Figura 16. Probetas de medición.	40
Figura 17. Pruebas en alta presión	42
Figura 18. Motor Hyundai J3.....	43
Figura 19. Simulador de la válvula reguladora de presión IMV.....	44
Figura 20. Desconectar el sensor del riel.....	45
Figura 21. Simulador de presión del rail.....	45
Figura 22. Simulador de presión.....	46
Figura 23. Lectura inicial 950 bares	47
Figura 24. Balines de acero obturando el paso de combustible hacia los inyectores	48
Figura 25. Lectura en el simulador de presión.....	49
Figura 26. Batería automotriz.....	52
Figura 27. Simulador de la válvula IMV.....	53
Figura 28. Simulador de presión del riel.....	53

Figura 29. Retiro arnés original.....	54
Figura 30. Arnés de reemplazo equipo CRT3500	55
Figura 31. Supervisor de presión	55
Figura 32. Retiro de inyector	55
Figura 33. Extensión de tubería para prueba	56
Figura 34. Porta inyectores y Probetas calibradas de alta presión.....	56
Figura 35. Extensiones de cañerías con porta inyectores	57
Figura 36. Inyectores sustitutos	58
Figura 37. Simulador de presión de la electroválvula de presión	59
Figura 38. Simulador de presión del riel.....	59
Figura 39. Indicador de presión 1000 bares	61
Figura 40. Prueba de estanqueidad a 1000 bares	61
Figura 41. Simulador de presión a 1500 bares	62
Figura 42. Prueba de estanqueidad a 1500 bares	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Flujo de la bomba de transferencia	26
Tabla 2. Simulación de presión en el riel	50
Tabla 3. Prueba de Estanqueidad	63

DEDICATORIA

Deseo dedicar este logro de manera muy especial a mis padres que siempre me han acompañado y apoyado en mi vida, y entregarles este regalo como resultado de todo su amor alentándome para que siga adelante, por sus esfuerzos y sacrificios, por ellos y para ellos este sueño se ha convertido en realidad.

A mi esposa y a mi hijo, por su comprensión, por estar lejos de ellos y ser mi luz para llegar a culminar mi carrera.

A mis profesores, compañeros de aula de la Universidad Internacional del Ecuador quienes me ayudaron a formarme como una persona y ser humano, brindándome las herramientas para ejercer mi formación profesional.

JUAN ALFREDO ZAMBRANO ROMERO

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios, por estar conmigo en esta meta y permitir que siga soñando con conquistar otros triunfos, a mis padres por todo su amor y cariño por ser mi apoyo a lo largo de mi vida, a mi esposa y a mi hijo.

A mi director de carrera el Ing. Edwin Puento, por guiarme y ofrecerme su amistad incondicional desde el primer día que ingrese a la Universidad Internacional del Ecuador, a todos mis profesores y amigos de aula, que supieron encaminarme y aportar sus experiencias para culminar esta carrera.

A mis tutores, ingenieros, Daniela Jerez, Juan Castro y Adolfo Peña, por orientarme en lograr la culminación de este trabajo de titulación.

JUAN ALFREDO ZAMBRANO ROMERO

RESUMEN

El objetivo del desarrollo de un manual de procesos para la comprobación de alta presión y estanqueidad de inyectores CRDI, mediante el montaje de un banco de pruebas modelo CRT-3500, es para comprobar el funcionamiento del sistema de inyección common rail, con la finalidad de analizar si sus componentes están trabajando correctamente bajo los parámetros de los diseñadores y en los rangos de tolerancia indicados en los datos de los fabricantes, podemos determinar la falla en uno de los componentes del sistema y conseguir un análisis técnico, determinando el origen de la falla, reparar la parte afectada:

Mejorando potencia, torque y desarrollo evitando reducir la contaminación ambiental debido a una mala pulverización la alta presión o falla en la estanqueidad del mismo.

Este manual nos ayudará a comprender los componentes internos, sus funcionamientos y la causa-efecto derivada por mal mantenimiento de una manera didáctica y profesional y la forma correcta de comprobar el inyector piezoeléctrico del sistema de inyección CRDI.

ABSTRACT

The objective of the development of a manual of processes for the verification of high pressure and sealing of CRDI injectors, by means of the assembly of a test bench model CRT-3500, is to verify the operation of the common rail injection system, in order to Analyze if its components are working correctly under the parameters of the designers and in the tolerance ranges indicated in the data of the manufacturers, we can determine the fault in one of the components of the system and obtain a technical analysis, determining the origin of the fault , Repair the affected part:

Improving power, torque and development avoiding reducing the environmental contamination due to a bad spray high pressure or failure in the tightness of the same.

This manual will help us to understand the internal components, their operations and the cause-effect derived by poor maintenance of a didactic and professional way and the correct way of checking that the CRDI injector.

INTRODUCCIÓN

El banco de pruebas CRT-3500 es un instrumento útil y conveniente para determinar el correcto funcionamiento de un sistema de inyección diésel CRDI, nos ayudará a prevenir fallas en alta presión, mala pulverización, exceso de combustible, falla en su estanqueidad, en la válvula IMV, o en el sensor de presión. Causando problemas en la combustión, provocando bajo rendimiento, pérdida de potencia, golpeteos, pérdida de confort y no evita la contaminación permitiendo la emisión de gases de efecto invernadero.

Este manual ha sido desarrollado de una manera sencilla, con el propósito de ofrecer una guía para determinar el empleo del equipo CRT-3500, en los motores de combustión diésel con sistema de inyección CRDI, donde dicho motor se convierte en nuestro banco de pruebas, evitando desarmar los elementos del sistema de inyección, obteniendo resultados valederos como cualquier laboratorio de inyección diésel.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN Y MARCO REFERENCIAL

1.1. Definición del problema

El sistema de inyección diésel CRDI, necesita altas presiones para lograr una perfecta atomización del combustible, y lograr tener una mezcla estequiometría óptima donde podamos tener un índice de opacidad ideal, pero para manejar altas presiones, se debe contar con todos los elementos en buen estado.

Este tipo de sistema de inyección directa, se utilizan inyectores piezoeléctricos, que están contruidos para soportar las exigencias derivadas del régimen del motor las cuales son comandadas por la ECU. Los inyectores forman parte fundamental, para que el motor rinda su máximo desempeño, evitando una mala combustión provocando la emisión de gases nocivos para el medio ambiente, que terminarán contribuyendo al efecto invernadero y el deterioro de la capa de ozono.

Uno de los mayores problemas del sistema de inyección diésel CRDI, es producido la falta de mantenimiento de sus componentes y por la mala calidad del combustible.

El presente manual propuesto para mi titulación se apega al objetivo 4 del Plan Nacional del Buen Vivir, que hace mención a, Fortalecer las capacidades y potencialidades de la ciudadanía, generando conocimiento, motivando y fortaleciendo el desarrollo de capacidades técnicas. Basadas en las líneas de investigación institucional de la universidad internacional del Ecuador, Innovación Tecnológica, Modelación y Simulación de Procesos.

La falta de un equipo técnico portátil para analizar este tipo de sistema de inyección, es el motivo de la creación de este desarrollo de un manual de procesos para la comprobación alta presión y estanqueidad de inyectores.

Con el cual se puede contribuir a que la comunidad ligada al uso didáctico y técnicos profesionales pueda cumplir con resolver problemas, sin la necesidad de desmontar los elementos que componen el sistema, teniendo un banco de pruebas sobre el mismo motor.

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Elaborar un manual de procesos para la comprobación de inyectores de alta presión y estanqueidad del sistema common rail CRDI, ayudando a una mejor comprensión técnica de los mismos, para que faciliten la evaluación y comprobación del sistema anteriormente mencionado, donde se facilitara el proceso de diagnóstico, acortando tiempos de trabajo, reclamos posteriores y desarrollar conocimiento. Para esto se utilizará el banco de pruebas CRT3500, el manual será detallado de una manera sencilla y clara para la lectura y comprensión de profesionales y estudiantes del sector automotriz., el manual se completa con: capacitaciones, pruebas y documentación de las mismas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Utilizar el banco de pruebas CRT-3500 para el desarrollo del manual.
- Elaborar un manual con información técnica sobre las fallas en alta presión y estanqueidad de inyectores.
- Determinar las fallas encontradas en el motor Hyundai J3, usado para la elaboración de este manual.

1.3. Alcance

El alcance para la elaboración de este manual nos va ayudar a determinar la presión en alta en el riel, así como determinar la estanqueidad de los inyectores del sistema con el propósito de analizar en la tabla de resultados el comportamiento de estas variables y determinar el correcto funcionamiento

del sistema ya presurizado, obteniendo lecturas con una interpretación técnica de lo que ocurre en tiempo real, evitando desarmar la bomba, los inyectores y las cañerías ahorrando tiempo y recursos económicos.

1.4. Justificación e importancia de la investigación

Esta investigación se justifica al elaborar un manual de procesos para la comprobación de alta presión y estanqueidad de los inyectores del sistema de inyección CRDI, con el fin de ofrecer una solución práctica y valedera que nos brindará, debido a la falta de información sobre el uso de una herramienta portátil como es el banco de pruebas CRT3500, el desconocimiento en el segmento automotriz de la existencia de este tipo de recursos, obliga a una investigación científica – práctica, que pueda ofrecer soluciones para trabajar con este banco de pruebas.

Este banco de pruebas ofrece lecturas en analizadores de presión usando los mismos sensores del vehículo, simulando condiciones de trabajo para poder elaborar una tabla de datos que serán analizados de una manera cuantitativa.

Con respecto, a la estanqueidad de los inyectores, basta con la observación del comportamiento, sin necesidad de otro análisis más que el sensorial, este suceso será analizado de forma cualitativa.

Por este motivo usaré para el proceso científico de mi investigación el sistema mixto en el análisis de datos y para la elaboración de las conclusiones con recomendaciones, ofreciendo un trabajo útil para la comunidad.

Este manual nos ayudará a la comprensión general de un sistema de alta presión de un sistema de inyección CRDI, y como comprobar la estanqueidad de los inyectores piezoeléctricos del motor Hyundai J3, colaborando con un estudio completo, de lo que sucede en cada uno de los componentes elementales del mismo.

1.5. Marco metodológico

1.5.1. Método de investigación

Debido a que el banco de pruebas que se va a montar en un motor de inyección CRDI, nos da una lectura que debemos analizar mediante la tabulación de los resultados de forma directa en un medidor digital y con respecto a la estanqueidad de los inyectores se comprueba de forma visual.

Por lo tanto, en mis conclusiones y recomendaciones se elaboraran mediante el método investigativo mixto. Por tal motivo en mi proceso científico de investigación será respaldado por la información obtenida en los ensayos elaborados, obteniendo resultados.

1.5.2. Tipo de investigación

Este manual fue desarrollado para la comprobación alta presión y estanqueidad de inyectores, mediante el uso y montaje del banco de pruebas CRT3500, como una investigación de campo dirigida a la comunidad estudiantil y profesional en la rama automotriz como una ayuda para diagnosticar de forma rápida y eficaz los problemas del sistema de inyección electrónica.

1.6. Marco Teórico

1.6.1. Sistema de inyección Common rail CRDI

La constante evolución del motor diésel nos lleva siempre a la innovación tecnológica acorde al avance de las investigaciones, en este caso es el sistema de inyección diésel CRDI, o common rail, permite el suministro individual en presión y flujo de acuerdo a las necesidades o al régimen del motor,

La presión puede variar desde 200 bares en ralentí, hasta presiones máximas de 1200 bares, dependiendo si el sistema es Bosch, Delphi o Denso. El control electrónico de la inyección hace posible un control total en cuanto a la cantidad de combustible inyectado.

Esto es posible gracias a una bomba rotativa que en su parte de alta presión puede generar presiones hasta de 1500 bares, la cual asegura una

buena atomización del diésel en la cámara de combustión, esta bomba, como el sensor de presión del riel, el sensor de la válvula IMV y la apertura de los inyectores está comandada por la ECU (unidad electrónica de control)

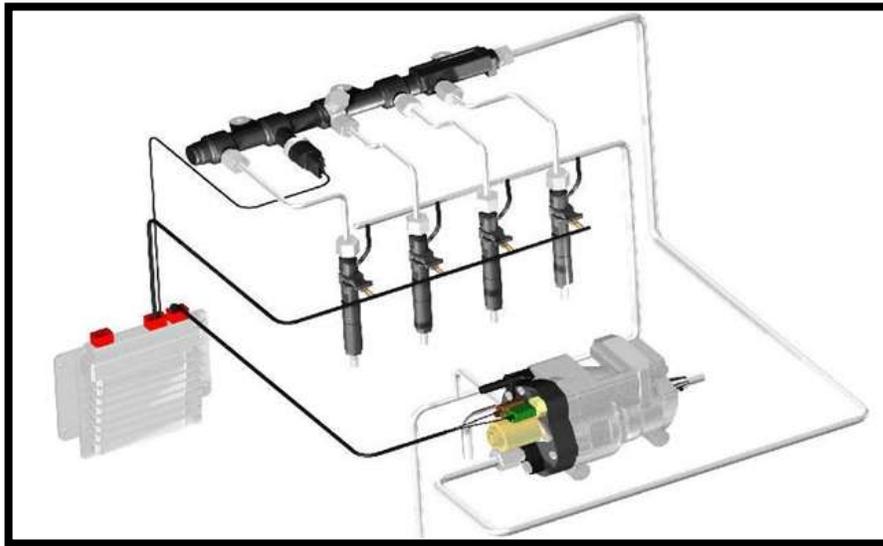


Figura 1. Sistema common rail
Fuente: Manual de Servicio Kia
Editado por: Zambrano Juan

1.6.2. Unidad electrónica de control

La ECU, es la Unidad Electrónica de Control controla la inyección y la presión del riel. Está diseñada para entre otras funciones recibir y entregar información de los sensores hacia los actuadores, controlando las funciones del motor y del vehículo. Las entradas y salidas principales son:

Entrada:

- Temperatura del combustible en la bomba.

- Presión del combustible en el riel.
- Recepción de los sensores del motor (velocidad del motor, tiempo, posición del pedal del acelerador, presión del turbo alimentador, chasis, ABS, etc.).

Salida:

- Corriente de accionamiento para la válvula de control del inyector.
- Corriente de accionamiento para la válvula IMV
- Presión de la bomba rotativa



Figura 2. ECU, Kia Carnival
Fuente: Zambrano Juan

1.6.3. Bomba rotativa de alta presión

La bomba de HP (alta presión) está diseñada para generar el nivel de presión que es requerida en el riel, cuantificar la medida de combustible comprimido con precisión de acuerdo a las necesidades de potencia, velocidad o torque del motor para cumplir con las demandas de alta presión y de combustible calculadas por el ECU.

La bomba rotativa del common rail, consiste en los siguientes elementos principales:

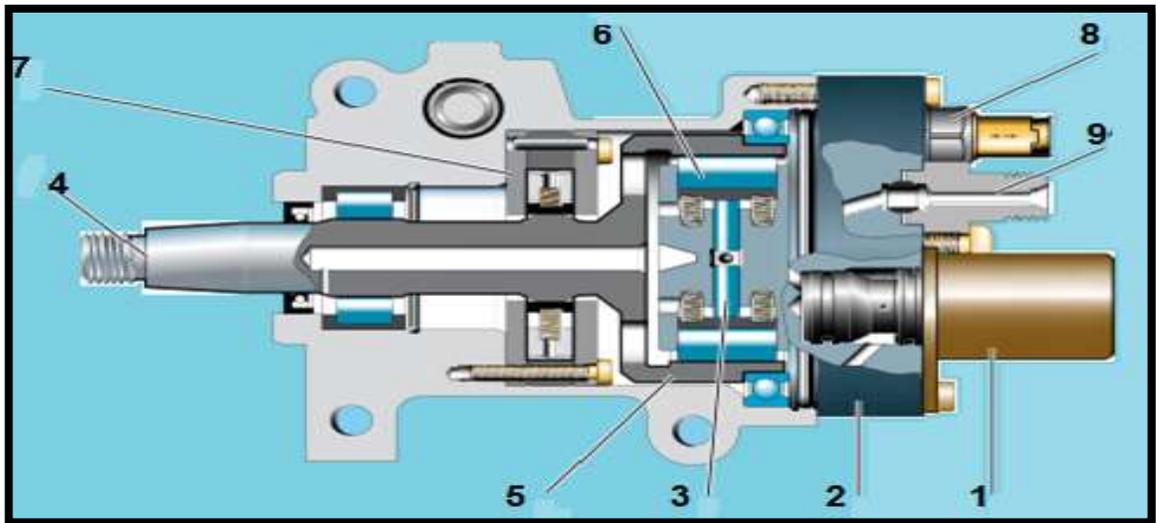


Figura 3. Componentes de la bomba rotativa alta presión

Fuente: Manual Delphi CRDI

Editado por: Zambrano Juan

1. Válvula IMV
2. Cabezal hidráulico
3. Embolo sumergido

4. Eje de la transmisión
5. Leva rotativa
6. Rodillo
7. Bomba de transferencia
8. Sensor de temperatura de combustible
9. Salida de alta presión

1.6.4. Bomba de alta presión HP

La bomba HP está compuesta de dos partes principales, la bomba de transferencia y la parte de la alta presión.

1.6.4.1. Bomba de transferencia

Integra el concepto de una pequeña turbina que está conectada al eje de la bomba de HP, su presión está regulada a 6 Bares, con el siguiente flujo de combustible:

Tabla 1. Flujo de la bomba de transferencia

FLUJO	
MINIMO	90 l/h a 300 rpm
MÀXIMO	650 l/h a 2500 rpm

Autor: Zambrano Juan

1.6.4.2. Bomba de alta presión

La bomba de alta presión, está compuesta por 4 lóbulos, en 2 cámaras, es decir 2 émbolos radiales por cámara, ambas están en fase de 45°, el diésel es absorbido por el acople de admisión de la bomba HP, este sube su presión por la bomba de transferencia la cual está en función de la velocidad a la cual está girando el eje de la bomba que está conectada al sistema de distribución del motor, la válvula reguladora mantiene una presión estable de 0.6 Bar.

Este combustible pasa por la válvula de derivación de entrada, la cual controla la cantidad de diésel, entregado a los elementos de la bomba que elevaran su presión de trabajo. Este diésel será comprimido hasta una presión máxima de 1400 bares, antes de ser enviado hacia el common rail.



Figura 4. Bomba de alta presión CRDI
Fuente: Manual de Servicio Kia
Editado por: Zambrano Juan

1.6.5. Common rail

El riel sirve como un acumulador de alta presión. De acuerdo al principio de hidráulica la presión se mantiene constante a lo largo del riel. El sensor de presión es un actuador que la ECU usa para recibir los datos del riel, Este valor se usa para el cálculo anticipado del caudal y la inyección.

Al riel se conectan las cañerías, que irán conectadas a los inyectores que conducirán el combustible directamente a la cámara de combustión de cada cilindro.

Es diferente al sistema Bosch, la presión máxima de funcionamiento es 1.600 bares.



Figura 5. Common rail
Fuente: Manual de Servicio Kia
Editado por: Zambrano Juan

1.6.6. Sensor de presión

El sensor de presión como se muestra en la figura 6 es de tipo diafragma, el suministro de voltaje es 5 Voltios, su rango de presión de trabajo es de 0 - 1800 bares, y su presión máxima es de 2200 bares.



Figura 6. Sensor de presión del riel Delphi

Fuente: Manual Delphi CRDI

Editado por: Zambrano Juan

1.6.7. Tuberías de alta presión

Son las encargadas de llevar el combustible en alta presión a cada uno de los inyectores y una adicional que se encarga de llevar el combustible desde la bomba de alta presión hasta el riel. Es importante considerar que si una de

estas cañerías es desmotada la misma debe ser sustituida por una totalmente nueva para evitar inconvenientes, fugas o fracaso en el sistema.



Figura 7. Cañerías alta presión
Fuente: Zambrano Juan

1.6.8. Inyector

El objetivo del inyector es entregar el volumen requerido y dosificado de diésel en el momento justo con una alteración mínima posible del volumen de inyección y demora en el comienzo de la inyección.

Estos inyectores trabajan bajo el mediante un efecto llamado piezoeléctrico. El fenómeno piezoeléctrico está compuesto de un cristal de cuarzo que modifica su tamaño cuando se presenta un impulso eléctrico. De manera inversa es capaz de generar un impulso eléctrico si se fuerza a cambiar deformándolo.

En los inyectores piezoeléctricos, el solenoide que comanda la apertura y cierre de la válvula para posibilitar la evacuación al retorno del diésel sobre el émbolo, es sustituido por un elemento Piezoeléctrico. La ECU comanda el mecanismo en el interior del inyector que realiza las diferencias de presiones y el movimiento mecánico permitiendo la salida de combustible a la cámara de combustión.



Figura 8. Inyector piezoeléctrico
Fuente: Manual de mantenimiento Kia
Editado por: Zambrano Juan

Con esta finalidad la ECU emite sobre el piezoeléctrico una tensión inicial de unos 70 V por un tiempo de 0,2mseg. En su interior, los cristales de cuarzo permiten elevar este voltaje a unos 140 Voltios, esto toma otros 0,2 ms y se logra con una corriente de aproximada de 7 Amperios. Este proceso se denomina tensión de carga y corriente de carga.

El incremento de tensión se alcanza gracias al contacto entre los mismos cristales los mismos que logran multiplicar el efecto de voltaje. Para terminar el mecanismo de inyección es necesario poner un impulso de tensión final denominado tiempo de descarga esto toma cerca de otros 0,2 ms.

1.6.9. Válvula de derivación de Entrada IMV

El actuador (Válvula de Derivación de Entrada) de baja presión se encuentra en el cabezal de la bomba hidráulica de alta presión. Es utilizado para dosificar en forma precisa la cantidad de combustible que ingresa en la bomba de alta presión para lograr que el reingreso de presión del riel se ajuste a lo requerido.



Figura 9. Válvula IMV

Fuente: Manual de mantenimiento Delphi

Editado por: Zambrano Juan

CAPÍTULO II

BANCO DE PRUEBAS CRT-3500

2.1. Componentes y datos técnicos

El banco de pruebas CRT-3500, es un equipo pensado para mejorar la eficiencia y precisión del diagnóstico técnico usando un equipo portátil y se puede decir no invasivo montado sobre el mismo motor optimizando su interpretación mediante la lectura directa de sus pruebas de todos los elementos que conforman el sistema de inyección diésel CRDI common rail, constituye en una herramienta útil en un taller automotriz ya que sus componentes se pueden usar en vehículos livianos y pesados.

Habilita la Prueba de Comparación de Cantidad de Inyección en condiciones de Baja y Alta presión de combustible, que no fue posible determinar con el uso de los diferentes scanner tipos hi-scan / gds / g-scan.

Además, la compresión del cilindro y la prueba del regulador de presión del riel, usando los accesorios que están disponibles en el kit de pruebas.



Figura 10. Kit del banco de pruebas CIT-3000
Fuente: Hyundai common rail injection tester
Editado por: Zambrano Juan

El kit completo del banco de prueba CRT-3500, se puede utilizar en diferentes motores que utilicen common rail de los modelos Delphi, Bosch y Denso, permite al mecánico realizar pruebas hidráulicas al sistema de alta presión, además de hacer diagnósticos al inyector piezoeléctrico de cada unidad.

El equipo es una herramienta económica, fácil de instalar y brinda un diagnóstico preciso y rápido en el sistema de alta y baja presión, incluyendo un análisis de la condición de trabajo de los inyectores piezoeléctricos.

Con los emuladores de presión de la válvula de la bomba y del common rail, podemos simular diferentes rangos de trabajo, obteniendo mediciones en diferentes regímenes del motor.

El banco de pruebas se monta directamente sobre la planta motriz, en este caso el motor que será analizado, sin necesidad de retirar ningunos de los componentes del sistema de inyección, además podemos comprobar la compresión de cada cilindro del motor.

El banco CRT-3500, brinda las siguientes pruebas en un sistema de inyección CRDI:

- Prueba sistema de baja presión.
- Prueba sistema alta presión.
- Prueba de combustible.
- Prueba de inyector piezoeléctrico.
- Prueba de combustible baja presión del inyector piezoeléctrico.
- Medición de retorno del inyector piezoeléctrico.
- Prueba de estanqueidad del inyector piezoeléctrico.
- Prueba de la cantidad inyectada de combustible.

El banco de pruebas consta de los siguientes elementos:

- Medidor electrónico de alta y baja presión.
- Tubos de prueba del inyector.
- Adaptador de inyectores.
- Inyectores de simulación.
- Manómetro para medir la compresión del motor.
- Kit de control para inyectores Delphi y Bosch.
- Mangueras medición de retorno y baja presión.
- Manómetro de vacío.
- Adaptador de conexión.
- Tapón del filtro de combustible.

El kit fue diseñado especialmente para las marcas de vehículo Kia y Hyundai, con sistemas de inyección CRDI, además contiene todos los adaptadores sustitutos y arnés eléctricos necesarios para conectar los sistemas de inyección CRDI Bosch y Delphi A2, de motores U2.

2.2. Supervisor de alta y baja presión CRDI CRT-3500

Este analizador ofrece la lectura de la presión en el riel o en la bomba dependiendo del tipo de sistema de inyección Bosch o Delphi, como el banco se ensambla sobre el motor directamente podemos tomar diferentes lecturas en

diferentes rangos de simulación, pudiendo obtener lecturas desde el ralentí hasta una gama considerable de aceleraciones.



Figura 11. Supervisor de baja y alta presión
Autor: Zambrano Juan

2.3. Simulador de sensor de presión en el riel

Son resistencias que emulan la señal electrónica del sensor de presión, con el fin de que la ECU no interprete una falla y evite seguir con las diversas pruebas que este banco nos ofrece, mientras la bomba sigue activa y trabajando.

Como su nombre lo indica este simulador permitirá con la ayuda del supervisor de alta y baja presión, emitir señales para poder subir y bajar la presión durante la realización de las pruebas.



Figura 12. Simulador de sensor de presión en el riel Delphi
Autor: Zambrano Juan

2.4. Simulador de la señal de la válvula reguladora de presión.

Resistencias que simulan la señal de la válvula reguladora de presión, por medio de esta variación podemos aumentar o disminuir la presión de la bomba para efecto de la prueba por medio de pulsos.



Figura 13. Simulador de la válvula reguladora presión
Fuente: Zambrano Juan

2.5. Inyectores sustitutos CRDI

Estos sustitutos como se muestra en la figura 14, nos sirven para que cuando se realicen las pruebas de estanqueidad, cuando se retiren los inyectores de su posición original, serán reemplazados por estos sustitutos, los cuales nos brindaran dos cosas importantes, la primera evitar que ingrese contaminantes o basura el interior del motor y la segunda es que podemos medir la compresión en cada cilindro y con la ayuda de las extensiones, colocar en manómetro en una posición de fácil lectura.



Figura 14. Inyectores sustitutos
Autor: Zambrano Juan

2.6. Extensión de Tuberías para inyectores

En la Figura 15. Son extensiones de tuberías que van conectadas al riel común y sirven para realizar 2 pruebas diferentes con el equipo CRT3500, la primera es verificar el caudal de los inyectores y la segundo nos ayudará a verificar la estanqueidad de los mismos.

Están contruidos en acero para poder soportar presiones superiores a los 1200 bares de acuerdo al sistema de inyección, que se esté probando.



Figura 15. Extensión de tuberías para inyectores
Autor: Zambrano Juan

2.7. Tubos de ensayo calibrados

Estos tubos de ensayo están calibrados en centímetros cúbicos, nos ayudaran a tomar una medición volumétrica para ver si las cantidades inyectadas están dentro de los rangos permitidos de tolerancia permitidos y se puede apreciar si alguno de los inyectores muestra problemas de exceso de inyección. Y mediante una válvula descarga el combustible a los depósitos para lograr hacer las comprobaciones del estado de los inyectores.



Figura 16. Probetas de medición.
Autor: Zambrano Juan

CAPÍTULO III

DIAGNOSTICO DE ALTA PRESION CON EL BANCO DE PRUEBAS CRT-3500

3.1. Método de prueba en alta presión de sistema CRDI motor Hyundai J3

La finalidad de esta prueba es comprobar la alta presión que una bomba rotativa del sistema CRDI debe alcanzar para que el diésel sea pulverizado de manera correcta, es decir medirá la presión de trabajo en el rail. Con los pasos adecuados puedo determinar el correcto funcionamiento del sensor de presión, exceso de inyección dependiendo del tipo de sistema si es Bosch o Delphi, y de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

Estas pruebas me permite verificar en sitio, las fallas en el sistema de baja presión o alta presión, exceso o de inyección, su estanqueidad, pudiendo determinar si el error causado proviene de la bomba, los inyectores, el sensor de presión o la válvula reguladora de presión IMV.

Para la elaboración de este manual se usó un motor Hyundai J3, que tiene el sistema de inyección electrónica common rail CRDI.

Pasos

- Retire el arnés de los inyectores y reemplácelos por el kit que viene en el banco de pruebas
- Instale el simulador IMV
- Instale el sensor de presión en el riel.
- Coloque el controlador de presión en el modo de posición Alta.
- Energice el simulador de presión conectándolo a la batería.

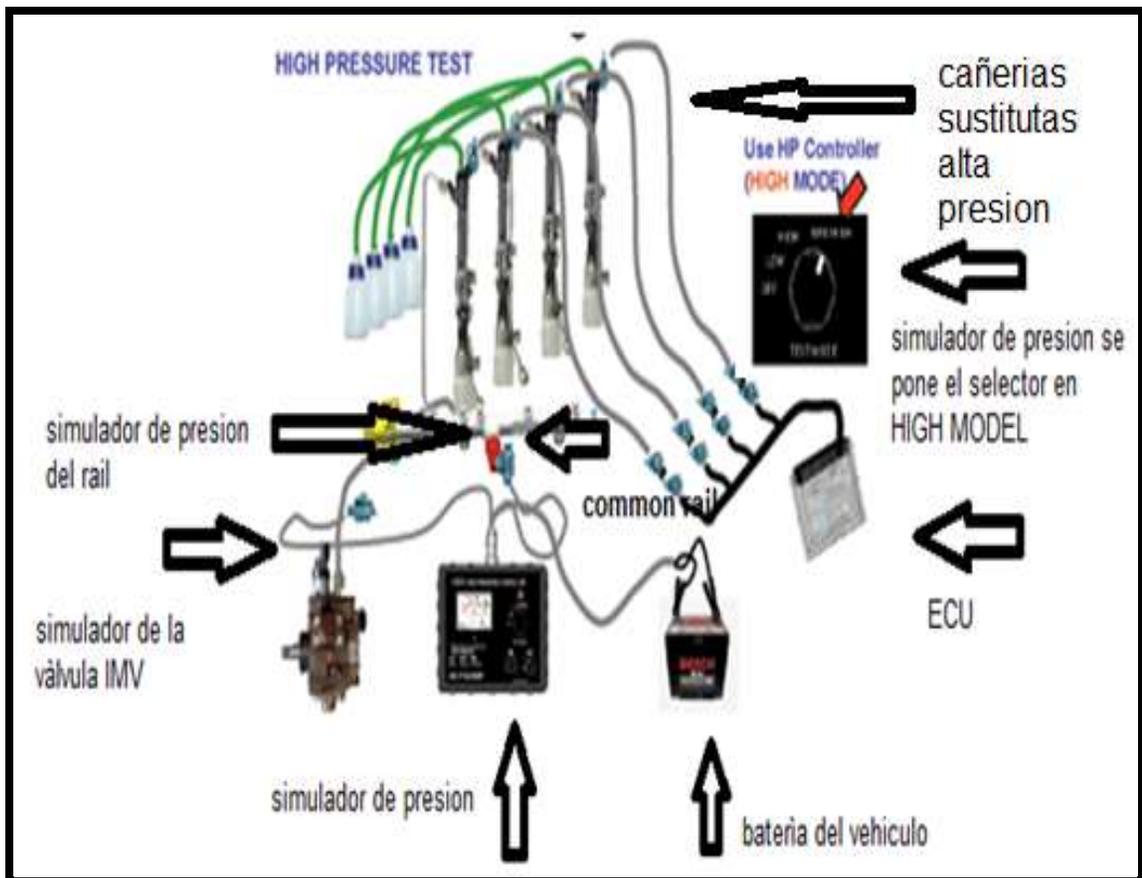


Figura 17. Pruebas en alta presión

Fuente: Globaltech CRT3500

Autor: Zambrano Juan

3.2. Prueba de presión en el common rail del motor Hyundai J3

Las siguientes pruebas se basan a la comprobación de presión de alta presión generada por la bomba rotativa y presión en el riel. Para obtener un resultado preciso es necesario realizar esta prueba 2 o 3 veces.

Pruebas

Las pruebas se realizaron en un motor Hyundai J3, de propiedad de la Universidad Internacional del Ecuador, que se encuentra ubicado en la Ciudad de Guayaquil. Como el que se aprecia en la figura 18.



Figura 18. Motor Hyundai J3
Autor: Zambrano Juan

Este motor J3, tiene un sistema de inyección diésel CRDI, con inyectores piezoeléctricos.

Este motor posee una válvula IMV, que de acuerdo a su configuración es normalmente abierta, se la desconecta, y queda abierta entonces la presión va a ser la máxima posible, por consiguiente, cuando se arranque el motor, se medirá la presión máxima de la bomba. Como lo indica la figura 19.



Figura 19. Simulador de la válvula reguladora de presión IMV
Autor: Zambrano Juan

De igual manera se deberá retirar el sensor de presión del rail, para ser reemplazado por su respectivo simulador, el cual deberá estar conectado al simulador de presión, la señal que emita este sensor será leída en el indicador o dial que se encuentra en la parte frontal del simulador de presión. Como se puede ver en la figura 20.

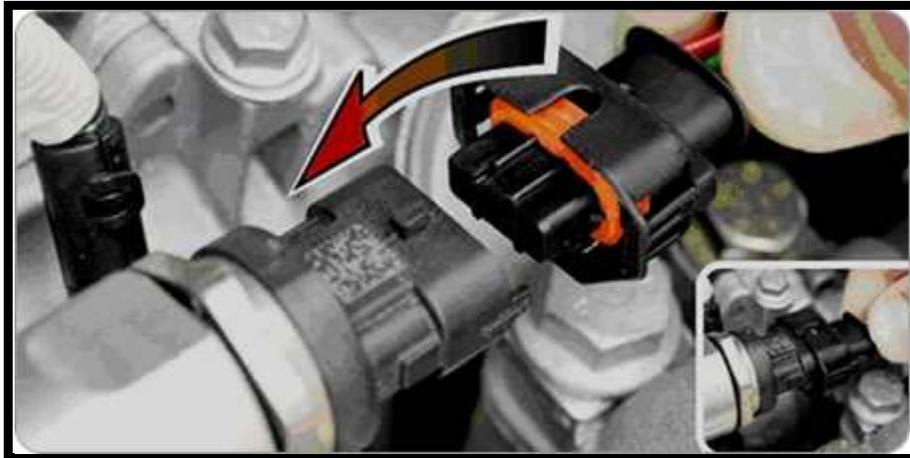


Figura 20. Desconectar el sensor del riel
Fuente: Manual de mantenimiento Jeep
Editado por: Zambrano Juan

El simulador de presión debe estar acorde con el sistema de inyección que se está analizando, por ejemplo, el motor de la muestra es un Hyundai J3, que utiliza common rail Delphi. En caso de ser Bosch se deberá usar el respectivo simulador Bosch. Como lo indica la figura 21.



Figura 21. Simulador de presión del rail
Autor: Zambrano Juan

Por tal motivo, el controlador de presión estará en posición ALTA, esa es una de las ventajas de que la válvula IMV, del sistema de inyección Delphi, sea normalmente abierta, si fuera cerrada se usaría el otro simulador de presión, y el controlador le emitiría diferentes pulsos para que funcione. Como se observa en la figura 22.



Figura 22. Simulador de presión
Autor: Zambrano Juan

Estos pulsos lo puedo regular con el simulador, puesto que este tiene los selectores que emitirán diferentes pulsos, donde sí se emiten pocos pulsos la presión será baja, cuando se aumenten los pulsos la presión será alta.

Procedemos a dar arranque al motor, recordando que se instaló el simulador de presión y de la IMV, para que la ECU, no asuma error, no genere un código de fallas y el motor arranque con normalidad.

Durante el primer arranque el supervisor de presión marco 950 bares, tal como se aprecia en la figura 23, en este primer análisis podemos determinar que la bomba se encuentra en rango normal de presión, si la bomba estuviera indicando 500 bares, podemos decir que la bomba se encuentra en mal estado y debe ser enviada a un taller para su reparación.



Figura 23. Lectura inicial 950 bares
Autor: Zambrano Juan

Pero, siguiendo con el estudio de la bomba, antes de emitir un informe debemos seguir investigando porque no llega a tener más presión.

Tenemos algunas posibilidades entre ellas están:

- Válvula IMV, dañada.
- Inyector Piezoeléctrico, en mal estado.
- Bomba rotativa mal funcionamiento.

Para esto vamos a obturar el paso de combustible, hacia los inyectores para obtener una lectura real de la presión, mediante el uso de una esferita de acero (balines), con este fin, aflojamos las tuberías que conectan a los inyectores con el riel.

Una vez que los balines están tapando el paso del combustible, se puede tener una lectura real en la presión del riel. Como se observa en la figura 24.

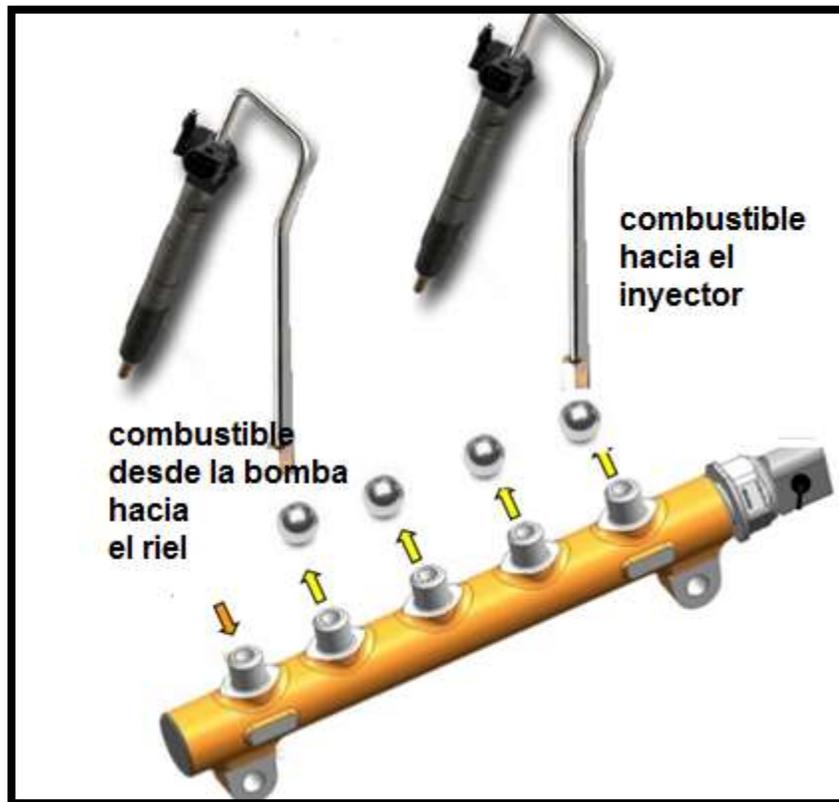


Figura 24. Balines de acero obturando el paso de combustible hacia los inyectores
Fuente: Globaltech CRT3500
Editado por: Zambrano Juan

Se vuelve a dar arranque, para obtener una segunda lectura. De igual manera que en la prueba anterior, se da arranque al motor, y se regulan los pulsos con el simulador de presión, para lograr que la bomba genere una presión que pueda ser leída en el manómetro del simulador.

En esta ocasión la lectura llegó a 1.100 bares. Como se ve en la figura 25.



Figura 25. Lectura en el simulador de presión
Autor: Zambrano Juan

Con esta lectura podemos descartar que la bomba, se encuentre el mal estado. Ahora debemos analizar, cual es el origen de la pérdida de presión, se ha descartado que sea la bomba rotativa, nos queda las siguientes opciones:

- Cañerías rotas o con fuga.
- Inyector abierto (genera código de falla, el motor no arranca).

- Inyector con exceso de retorno (o retorno abierto), cuando el inyector está abierto, porque trabaja con diferencia de presión, la presión del mismo de desploma.
- Inyector con daño en la punta de la tobera.
- Válvula IMV mal estado.

Este caso el motor Hyundai objeto de esta prueba, se ha determinado que el origen o la causa de la baja presión del sistema, es un inyector en mal estado que deberá ser retirado para su posterior análisis. Determinando que puede ser reparado o cambiar por uno nuevo.

Tabla 2. Simulación de presión en el riel usando equipo CRT3500

Simulación	Condición	Bares
Primera	Riel sin balines	950
Segunda	Riel con los balines	1100

Autor: Zambrano Juan

Debemos recordar que los inyectores piezoeléctricos, tienen que ser programados con el uso del scanner, puesto que estos poseen un código de 17 dígitos, que debe ser ingresado para que la ECU, trabaje con normalidad. Es importante porque cada inyector tiene un porcentaje de error que debe ser ingresado por medio del scanner, por ejemplo, si el inyector nuevo tiene un margen de error del 15%, ese margen debe ser ingresado para que la ECU, pueda compensar electrónicamente ese porcentaje.

De igual manera se debe marcar la posición original de cada uno de los inyectores, en el motor, para no equivocarse o confundirse en la elaboración del informe para el propietario del vehículo que está siendo monitoreado.

3.3. Prueba de estanqueidad de inyectores CRDI piezoeléctricos

El banco de pruebas CRT3500, posee las herramientas para la comprobación de la estanqueidad de los inyectores piezoeléctricos del motor Hyundai J3, objeto de estas pruebas y base para la elaboración de este manual.

El sistema de inyección diésel CRDI, necesita de presiones cercanas a los 1000 bares, por tal motivo todos los elementos que conforman este sistema deben funcionar en perfecto estado, en caso de los inyectores si estos estuvieran en mal estado se afectaría el rendimiento del motor, causando los siguientes problemas:

- Presencia en exceso de material particulado por el escape del vehículo.
- Falta de potencia en el motor.
- Calentamiento del motor.
- Elevación del consumo de combustible.
- Elevación de la temperatura del combustible.
- Golpeteo del motor.
- Emisión de gases nocivos para el medio ambiente.

- Generación de smog fotoquímico.
- Destrucción de la capa de ozono.
- No pasaría en una revisión técnica vehicular por exagerada emisión de gases contaminantes producto de una mala mezcla estequiométrica.
- No pasaría la prueba de opacidad en el analizador de gases.

Pasos

- En la figura 26. Conecte el simulador de presión del equipo CRT-3500 a la batería del vehículo.



Figura 26. Batería automotriz
Fuente: Baterías Bosch
Editado por: Zambrano Juan

- En la figura 27. Conecte el simulador de la válvula IMV



Figura 27. Simulador de la válvula IMV
Autor: Zambrano Juan

- En la figura 28. Conecte el simulador de presión del riel.



Figura 28. Simulador de presión del riel
Autor: Zambrano Juan

- En la figura 29. Desconecte la línea de arnés de la ECU del vehículo.



Figura 29. Retiro arnés original
Autor: Zambrano Juan

- En la figura 30. Conecte el arnés del equipo CRT3500.



Figura 30. Arnés de reemplazo equipo CRT3500

Autor: Zambrano Juan

- En la figura 31. Conecte el supervisor de presión. Y a este debe conectar, el arnés de los inyectores, el simulador de presión y el simulador de la válvula IMV.



Figura 31. Supervisor de presión

Autor: Zambrano Juan

- En la figura 32. Retire el inyector.



Figura 32. Retiro de inyector

Autor: Zambrano Juan

- En la figura 33. Conecte la extensión de prueba en el riel.

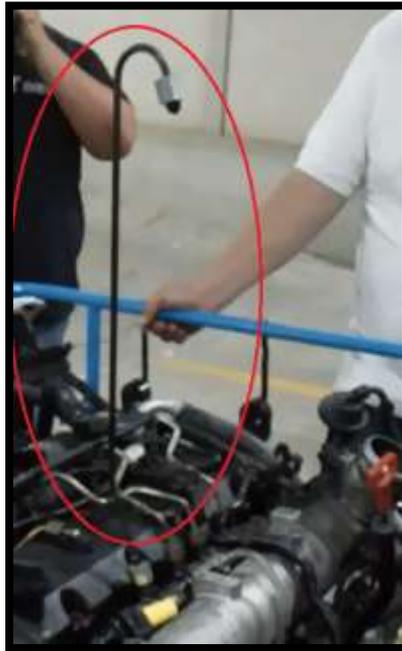


Figura 33. Extensión de tubería para prueba
Autor: Zambrano Juan

- En la figura 34. Instalar las probetas que sirven para colocar los inyectores, verificar la estanqueidad y aporte volumétrico de combustible.



Figura 34. Porta inyectores y Probetas calibradas de alta presión

Autor: Zambrano Juan

- Compruebe que todas las conexiones son correctas para conectar los tubos de cada inyector.
- Arranque el motor para tener presión en el riel y confirmar que se mantiene la estanqueidad.
- Compruebe que no exista fuga de combustible en cualquier en las conexiones.

3.4. Prueba de estanqueidad de los inyectores piezoeléctricos

Para comprobar la estanqueidad de los inyectores, mediante el uso del banco de prueba, se debe retirar los inyectores de su posición original. Y colocarlos en la porta inyectores que vienen con las probetas calibradas, deben estar conectados al riel, con las extensiones de tubería.



Figura 35. Extensiones de cañerías con porta inyectores

Fuente: Globaltech CRT 3500

Editado por: Zambrano Juan

Estos serán reemplazados por sus sustitutos que tendrán dos funciones primordiales:

- Evitaran el ingreso de suciedad o contaminantes mientras se realicen las pruebas de control volumétrico, en alta y baja presión.



Figura 36. Inyectores sustitutos
Autor: Zambrano Juan

- Medir la compresión del motor en cada cilindro.

Las extensiones se conectan al riel común, en cada extensión se encuentra su respectivo inyector con su soporte y un contenedor plástico calibrado, estas probetas nos sirven para otros tipos de test que este banco de pruebas permite hacer que es la comprobación de la cantidad inyectada de combustible. Estos tubos deben estar limpios para evitar contaminación cruzada y luego se generen problemas por impurezas.

En la figura 37. No se debe olvidar de conectar el simulador de presión del riel común y simulador de la señal de la válvula reguladora de presión.



Figura 37. Simulador de presión de la electroválvula de presión
Autor: Zambrano Juan

En la figura 38. La función del simulador de presión de riel es la de conectarse con el supervisor de presión y conocer a que presión se está trabajando y el simulador de la válvula reguladora de presión es esencial para que la ECU no genere un error de código y el motor deje de funcionar.



Figura 38. Simulador de presión del riel
Autor: Zambrano Juan

Para la prueba de estanqueidad, se debe desconectar los inyectores de la ECU y se arranca el vehículo, donde la bomba rotativa elevará la presión en el riel.

Se desconectan los inyectores de la ECU, para que estos no reciban señal de apertura, por tal motivo, al no recibir una señal estos permanecen cerrados y podemos realizar es test de estanqueidad.

Se hacen dos tipos de prueba en baja presión y alta presión.

Debido a la alta presión de la pulverización por seguridad no se debe retirar los soportes que se encuentran en la punta del inyector, visualmente se debe comprobar si el inyector está estanco o no.

Se simulan 2 tipos de presión en presión baja o presión alta. Con el supervisor de presión se genera los pulsos necesarios para subir o bajar la presión.

El motivo de las mismas es simular las prestaciones que el motor necesita en diferentes regímenes de acuerdo a lo que el conductor necesita, por ejemplo, cuando se necesita la mayor velocidad o torque.

- Prueba 1 con 1000 bares. Como lo indica la figura 39.



Figura 39. Indicador de presión 1000 bares
Fuente: Zambrano Juan

De acuerdo a esta foto, durante la primera prueba a 1000 bares, los inyectores se encuentran con buena estanqueidad, al no observar ningún goteo por las agujas. Como lo indica la figura 40.



Figura 40. Prueba de estanqueidad a 1000 bares
Fuente: Globaltec CRT3000
Editado por: Zambrano Juan

- Prueba 2 con 1500 bares, como lo indica la figura 41.



Figura 41. Simulador de presión a 1500 bares
Fuente: Globaltec CRT3000
Editado por: Zambrano Juan

En esta foto, que corresponde a la segunda prueba, a 1500 bares, tampoco se observa, goteo en las puntas de los inyectores. Como lo indica la figura 42.



Figura 42. Prueba de estanqueidad a 1500 bares
Fuente: Globaltec CRT3000
Editado por: Zambrano Juan

En conclusión, los inyectores presentan buena estanqueidad, no hay presencia de goteo, en sus respectivas puntas.

Tabla 3. Prueba de Estanqueidad, usando equipo CRT3500

Simulación	Bares	Observaciones
Baja presión	1000	No hay goteo
Alta presión	1500	No hay goteo

Autor: Zambrano Juan

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Al utilizar el banco de pruebas CRT3500, se obtuvieron datos importantes para el desarrollo de este manual nos ayudó a comprender que es un sistema de alta presión, evitar sus averías y comprender el funcionamiento de sus partes, piezas y aprender a diagnosticar fallas en el caso del motor Hyundai J3
- Al elaborar el manual de procesos para la comprobación de la alta presión y estanqueidad de inyectores piezoeléctricos CRDI HYUNDAI motor J3, mediante el uso del banco de pruebas CRT-3500, se obtuvieron datos técnicos como los rangos de trabajo y prueba del sistema de inyección, como del buen estado de los inyectores.
- Al determinar las fallas encontradas en el motor Hyundai J3, usado para la elaboración de este manual, se encontró que un inyector piezoeléctrico estaba fuera de norma, provocando las fallas en el sistema de inyección.

4.1. Recomendaciones

- Es importante que el motor objeto donde se va a realizar la comprobación este buen estado, es decir, se debe analizar la unidad de potencia con los instrumentos tecnológicos necesarios para verificar que no existan código de fallas previas a la prueba, de tal manera que cuando se realicen los análisis al sistema de inyección CRDI, se obtengan resultados valederos y precisos.
- Utilizar equipos de protección personal, puesto que se está manejando presiones de 1000 bares o más, donde si se produjera una fuga en cualquier punto del sistema de alta presión, puede causar daños a la salud de las personas.
- Se debe despresurizar con cuidado todo el sistema de alta presión antes de proceder con cualquier prueba.
- Se debe tener cuidado en la reconexión de los inyectores puesto que si se confunde la entrada de corriente puede quemar el inyector, generando costos económicos adicionales.
- Se recomienda dar mantenimiento al inyector # 2, del motor Hyundai J3 que tiene un exceso de retorno, afectando al sistema de alta presión.

- Se recopilaron datos importantes del sistema de inyección CRDI, para ayudar al conocimiento y análisis en beneficio de la comunidad que integra la UIDE.

BIBLIOGRAFÍA

- Delphi. (2007). Manual Common Rail.
- Enrique, S. (2009). Sistemas auxiliares del motor. Madrid: MACMILLAN HEINEMANN.
- Española, D. d. (01 de 03 de 2014). Diccionario de la Real Academia Española.
- Hyundai, M. (2011). Mantenimiento de Automóviles CRDI.
- Kia, M. (2017). Manual del usuario CRT-3500 CRDI.
- Kia, M. (s.f.). Manual de entrenamiento de servicios Common Rail Delphi. S.L. Primera Edicion.
- Martin, J. (2015). Diagnostico de la combustion en motores diesel de inyeccion directa . Editorial Reverte.
- Parreno Ibanez, S. (2012). Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo diesel. Malaga: IC Editorial.
- Rovira de Antonio, A. (2015). Motores de combustion interna. Madrid: UNED.
- Terracan, M. d. (2001). Sistema de combustible (J3 TCI-DSL 2.9).

ANEXOS

Glosario

BP	Baja presión
AP	Alta presión
CRT	Common rail tester
CRDI	Common rail direct injection
CO	Monóxido de carbono
EGR	Gas recirculation exhaust
Bar	Unidad de presión kg/cm ²
IMV	Inlet metering valve
ECU	Electronic control unit
l/h	Caudal litros por hora
RPM	Revoluciones por minuto
HC	Hidrocarburos no combustionados
Max	Máximo
Min	Mínimo
Nº	Número
NOX	Dióxido de Nitrógeno
PM	Material particulado