



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: BANCO DE PRUEBA PARA DIAGNÓSTICO Y
MANTENIMIENTO EN SISTEMA DE INYECCIÓN A GASOLINA
GDI**

**AUTORES: FÉLIX MARCELO MAYORGA GUTIÉRREZ
JUAN MARTIN NÚÑEZ FREIRE**

DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO

LATACUNGA

2015



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**BANCO DE PRUEBA PARA DIAGNÓSTICO Y MANTENIMIENTO EN SISTEMA DE INYECCIÓN A GASOLINA GDI**” realizado por los señores **FÉLIX MARCELO MAYORGA GUTIÉRREZ** y **JUAN MARTIN NÚÑEZ FREIRE**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **FÉLIX MARCELO MAYORGA GUTIÉRREZ** y **JUAN MARTIN NÚÑEZ FREIRE** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 20 de octubre del 2015

WASHINGTON GERMÁN ERAZO LAVERDE

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **FÉLIX MARCELO MAYORGA GUTIERREZ**, con cédula de identidad N° 180379333-8, y **JUAN MARTIN NÚÑEZ FREIRE**, con cédula de identidad N° 180465431-5, declaramos que este trabajo de titulación "**BANCO DE PRUEBA PARA DIAGNÓSTICO Y MANTENIMIENTO EN SISTEMA DE INYECCIÓN A GASOLINA GDI**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 20 de octubre del 2015

Félix Marcelo Mayorga Gutiérrez
C.C.: 180379333-8

Juan Martin Núñez Freire
CC.: 180465431-5



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **FÉLIX MARCELO MAYORGA GUTIÉRREZ** y **JUAN MARTIN NÚÑEZ FREIRE**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“BANCO DE PRUEBA PARA DIAGNÓSTICO Y MANTENIMIENTO EN SISTEMA DE INYECCIÓN A GASOLINA GDI”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 20 de octubre del 2015

Félix Marcelo Mayorga Gutiérrez
C.C.: 180379333-8

Juan Martin Núñez Freire
C.C.: 180465431-5

DEDICATORIA

A mis padres en especial a mi amada madre quien ha estado conmigo en los mejores y peores momentos, tanto de mi vida personal como en mi vida estudiantil; a mis hermanos quienes han sabido aconsejarme y motivarme siempre en mis estudios, a mis abuelitos y a mis tíos que en todo momento con una palabra de aliento me empujaban a nunca darme por vencido, y por ultimo aquel ángel que siempre acompaña a mi familia Isaac.

Félix Marcelo Mayorga Gutiérrez

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres por su apoyo incansable, por sus consejos y enseñanzas fruto de ello la consecución tan importante en mi vida; a mí “Tío Lu” que es como mi segundo padre quien con su aliento constante en momentos de flaqueza no permitió que mi voluntad quebrara; y finalmente a mis hermanas y mi sobrina que en los momentos más duros y difíciles siempre estuvieron para finalizar este camino que ha sido muy largo pero como todo esfuerzo tiene su recompensa al final, a ustedes va dedicado este logro tan suyo como mío.

Juan Martin Núñez Freire

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis el Ing. Germán Erazo quien ha sabido dedicarnos el tiempo necesario para compartir sus valiosos e incomparables conocimientos en el proyecto, siendo de gran importancia para poder culminar la carrera universitaria.

Al Ing. José Quiroz quien a más de ser un excelente docente ha sabido ser un amigo quien nos supo ayudar en cada momento y minuto de nuestra carrera, al Ing. Leónidas Quiroz quien me enseñó que ningún reto era imposible a base de estudios e investigación.

Al Ing. Danilo Zambrano quien me motivo a centrarme en la investigación de la electrónica automotriz.

Por ultimo pero no menos importante a cada uno de mis amigos con quienes conocí el significado de la verdadera amistad y compartí momentos inolvidables, tanto en la vida social como madrugadas en el área del conocimiento, Sr(es): Carlos Esmeraldas, Martín Núñez, Darwin Semanate, Omar Chilliquinga, Marcelo Martínez, Luis Murillo, David Vallesteros, Felipe Jiménez, Paúl Tiban, David Narváez, David Zambrano, Darwin Moreano, y con mi gran amiga la Señorita Yadira Semblantes.

Félix Marcelo Mayorga Gutiérrez

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial al Ing. Germán Erazo por su dedicada labor durante el tiempo que tuve la oportunidad de sentarme en un pupitre frente a él y por su sabiduría y experiencia ya que sin este invaluable aporte no habría sido posible culminar este proyecto.

Al Ing. José Quiroz además de ser mi profesor ha sido como un amigo más que siempre estuvo para extenderme su mano incondicionalmente cuando lo necesité demostrando su inmenso don como persona.

Al Ing. Mauro Parra que gracias a su influencia, a su manera de llegar a nosotros sus alumnos cambio completamente mi panorama con respecto a mi carrera por despertar en mí el espíritu emprendedor que todos llevamos.

A todos con los que compartí un aula de clases, madrugadas interminables de estudio y tareas, bromas y risas, a todos aquellos a los tuve la dicha de llamar amigos: David Narváez, Félix Mayorga, Paul Tiban, Milton Cueva, Darwin Semanate, Roberto Vallejo, Omar Chiliquinga, David Zambrano, Luis Murillo, Francisco Mesa, Franklin Caiza.

Juan Martin Núñez Freire

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xxiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxvii
RESUMEN	xxviii
ABSTRACT	xxix
PRESENTACIÓN	xxx

CAPÍTULO I.

MARCO METODOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN “BANCO DE PRUEBA PARA DIAGNÓSTICO Y MANTENIMIENTO EN SISTEMA DE INYECCIÓN GDI”	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.	2
1.3 Descripción resumida del proyecto.....	3
1.4 Justificación e importancia.....	4
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivos específicos.	5
1.6 Metas.....	5
1.7 Hipótesis.	5
1.8 Variables de investigación.	5
1.8.1 Variable independiente.	5
1.8.2 Variable dependiente.	5

		x
1.8.3	Operacionalización de variables.	6
a.	Variable independiente.	6
b.	Variable dependiente.	6
1.9.	Metodología	7
1.9.1.	Método experimental.....	8
1.9.2.	Método deductivo.....	8
1.9.3.	Método inductivo.....	9
1.9.4.	Método sintético.....	9
1.9.5.	Método analítico.....	9
1.9.6.	Método de la medición.....	9
1.9.7.	Método Matemático.....	9

CAPÍTULO II

MOTORES GASOLINA CON INYECCIÓN DIRECTA 11

2.1	Introducción	11
2.2	Objetivos de la inyección directa de gasolina.	12
2.3	Ventajas e inconvenientes de los sistemas GDI.	13
2.3.1	Desventajas	13
2.3.2	Ventajas.....	13
2.4	Estrategias de reducción de consumo y emisiones contaminantes.	14
2.5	Inyección de dos fases según condiciones de trabajo	15
2.5.1	Primera fase de inyección calentado catalizador	15
2.5.2	Segunda fase de inyección calentado catalizador.	15
2.6	Inyección de dos fases a plena carga.....	16
2.6.1	Primera fase plena carga.....	16
2.6.2	Segunda fase plena carga	16
2.7	Procesos de formación de la mezcla y de combustión	16
2.8	Formación básica de la mezcla.....	19
2.8.1	Preparación del combustible.....	20
2.8.2	Características de flujo.....	21
2.9	Inyección directa con mezcla homogénea.	22
2.10	Inyección directa con mezcla estratificada.....	27
2.10.1	Proceso de combustión pared guiada (Wall-guided).	29

	xi
2.10.2	Procesos de combustión de aire guiado (Air-guided). 32
2.10.3	Procesos de combustión por pulverización guiada 34
2.11	Ventajas y desventajas de la ubicación del inyector y la bujía35
2.13	Comparación entre la inyección directa de gasolina (GDI homogénea) y estratificado GDI.....36
2.14	Ruido Mecánico39
2.15	Sistemas de inyección y resumen de los sistemas.40
2.16	Baja presión de aire asistido de inyección directa.42
2.17	Alta presión de inyección por riel común.....45
2.18	Bombas de combustible de alta presión.47
2.19	Diseños de bombas.50
2.19.1	Bomba de Tres cilindros de pistones radiales..... 50
2.19.2	Bomba de pistones radiales de un solo cilindro. 50
2.19.3	Tres cilindros bomba de pistones axiales. 51
2.20	Riel de Alta Presión.52
2.21	Válvulas de inyección de alta presión y los inyectores53
2.21.1	Boquilla de remolino 56
2.21.2	Boquilla de múltiples orificios..... 60
2.21.3	Apertura hacia el exterior de la boquilla..... 61
2.21.4	Diseño de comparación de la boquilla 63
2.22	Estrategias de inyección65
2.22.1	Inyección múltiple 67
2.22.2	Estrategia para calentar convertidores catalíticos..... 69
2.23	Cuadro comparativo de inyectores PFI vs inyectores GDI.....70
2.23.1	Características resumidas del funcionamiento de un inyector GDI..70
2.24	Características generales de la bomba de alta presión BOSCH.....71
2.25	Arduino.....72
2.25.1	Arduino 2560 Mega..... 73
2.25.2	Puertos de entrada y salida. 74
2.25.3	Sintaxis de Programación. 74
2.25.4	Bibliotecas..... 75
2.26	Mosfet.75
2.26.1	Transistor IRFZ44N..... 76
2.27	Optoacoplador.77

2.27.1	Optoacoplador fototransistor.....	78
--------	-----------------------------------	----

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBA PARA DIAGNÓSTICO Y MANTENIMIENTO EN SISTEMA DE INYECCIÓN GASOLINA GDI.....	79
---	-----------

3.1	Características del sistema.....	79
3.2	Diseño Mecánico	79
3.3	Diseño Hidráulico.....	79
3.4	Componentes y parámetros para el funcionamiento del Banco de pruebas.	80
3.5	Diseño y selección de componentes mecánicos e hidráulicos.....	81
3.5.1	Selección Manómetros.....	81
3.5.2	Selección de la bomba de baja y alta presión.....	82
a.	Caudal bomba de baja presión.	84
b.	Caudal bomba de alta presión.	84
3.5.3.	Cálculo para la selección del motor eléctrico.	84
3.5.4	Cálculos del sistema de transmisión de poleas-correa.	85
a.	Relación diámetros revoluciones.	86
3.5.5	Diseño del depósito.	86
a.	Cálculo del volumen del depósito	86
3.5.6	Selección de válvulas.....	88
a.	Selección válvula de alivio	88
b.	Selección Válvula Check.....	89
c.	Selección válvula de paso.....	89
3.5.7	Selección de las mangueras hidráulicas.	90
a.	Manguera de baja presión.	90
b.	Mangueras de alta presión.....	90
3.5.8	Selección de uniones de las mangueras.....	90
3.5.9	Selección del fluido limpia inyectores.....	91
3.6	Diseño estructural del banco de pruebas.....	91
3.6.1	Parámetros tomados para el diseño de la estructura.....	91
3.6.2	Modelado de la estructura.....	91

	xiii
3.7	Diseño del circuito hidráulico en Automation studio..... 92
3.7.1	Descripción del funcionamiento del sistema hidráulico..... 93
a.	Activación sistema de baja presión..... 93
b.	Activación del circuito de alta presión..... 94
c.	Despresurización del sistema por válvula bypass..... 95
3.8	Diseño eléctrico y electrónico..... 95
3.8.1	Selección y cálculos de la parte eléctrica..... 95
a.	Selección del cableado..... 95
b.	Corriente de consumo del motor eléctrico..... 99
c.	Potencia absorbida por el motor..... 99
d.	Pérdidas en el motor eléctrico..... 100
3.8.2	Selección y diseño electrónico..... 100
a.	Fuentes de alimentación..... 100
b.	Circuito de potencia para activación de electroválvulas..... 101
c.	Circuito de conexión del LCD y del teclado..... 105
d.	Procedimiento para el armado del banco..... 107
3.9	Cálculos de tiempo de apertura y cierre del inyector..... 111
3.9.1	Cálculo prueba en ralentí 800 RPM..... 111
3.9.2	Cálculo de prueba a 2500 RPM..... 112
3.9.3	Cálculo de prueba aceleración brusca 7000 RPM..... 113
3.9.4	Cálculo de prueba altas revoluciones 6000 RPM..... 114

CAPÍTULO IV

PRUEBAS EN EL BANCO PARA DIAGNÓSTICO Y

MANTENIMIENTO EN SISTEMA DE INYECCIÓN GDI..... 115

4.1	Características principales..... 115
4.2	Características del circuito de control de inyectores y electroválvulas..... 115
4.2.2	Especificaciones técnicas..... 116
4.2.3	Presiones de trabajo del banco de pruebas..... 116
4.2.4	Sistema de diagnóstico..... 117
4.2.5	Dispositivos adicionales..... 117
4.2.6	Alojamiento del inyector..... 117

	xiv
4.2.7	Suministro de la señal de activación..... 117
4.2.9	Requerimiento de instalación..... 118
4.2.10	Líquido de pruebas. 118
4.3	Procedimiento para pruebas..... 119
4.3.1	Revisión de los inyectores. 120
4.4	PRUEBAS DE COMPROBACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL EQUIPO “FEMAX” PARA INYECTORES GDI..... 125
4.4.1	Pruebas para diagnóstico de inyectores 134
a.	Prueba de atomización (Spray Test)..... 135
b.	Prueba de estanqueidad (Leakage Test) 135
c.	Prueba de volumen de inyección (Injecting Test)..... 135
d.	Prueba de reversa (Reverse Flush) 135
4.5	Pruebas de inyectores a ralentí 800 RPM, 600Psi..... 136
4.6	Pruebas de inyectores a 2500 RPM, 600 Psi..... 146
4.7	Pruebas de inyectores a 7000 RPM, 1100 Psi..... 156

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO.....167

5.1.	Recursos..... 167
5.1.1.	Recursos humanos 167
5.1.2.	Recursos tecnológicos 167
5.1.3.	Recursos materiales 167
5.2.	Análisis de costos del proyecto..... 168
5.2.1.	Costos de mano de obra..... 168
5.2.2.	Costo de fabricación de tarjetas electrónicas..... 169
5.2.3.	Costo de estructuras y elementos mecánicos..... 169
5.2.4.	Costo del sistema hidráulico 170
5.2.5.	Costo neto del banco de prueba de inyectores “FEMAX”. 170
5.2.6	Análisis del costo-beneficio..... 171
5.2.7	Financiamiento..... 171
5.3	Cronograma 171

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES	172
RECOMENDACIONES	173
BIBLIOGRAFÍA	174
ANEXOS	178
ANEXO A Programas en Arduino.	
ANEXO B Diagrama eléctrico.	
ANEXO C Diagrama hidráulico.	
ANEXO D Plano estructural banco de pruebas.	
ANEXO E Cronograma.	
ANEXO F Artículo.	
ANEXO G Manual de usuario.	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama Causa efecto.	2
Figura 2 Métodos Generales de la investigación.	7
Figura 3 Métodos específicos de la investigación.....	8
Figura 4 Saturación del catalizador en función de la distancia recorrida con diferentes tipos de combustible	14
Figura 5 Primera fase de inyección Calentado Catalizador	15
Figura 6 Segunda fase de inyección calentado catalizador.	15
Figura 7 Primera fase plena carga.....	16
Figura 8 Segunda fase plena carga	16
Figura 9 Modos de composición de la mezcla y de operación.....	18
Figura 10 Estrategias de operación en el mapa.....	19
Figura 11 Parámetros que influyen en el proceso de la formación de la mezcla.....	20

Figura 12	Diferentes mecanismos de formación de turbulencia en la cámara de combustión.....	21
Figura 13	Inyección de combustible en la carrera de admisión en el VW FSI.	22
Figura 14	Diámetro de las gotas depende de la presión de combustible....	24
Figura 15	Diferencia de presión en la válvula de entrada para la inyección de colector de admisión y la inyección directa.	25
Figura 16	Posición de la boquilla de inyección y la bujía con el sistema de válvula en el orificio de admisión.....	26
Figura 17	Influencia de la tasa de recirculación de gases de escape en el consumo específico en un motor de gasolina con inyección directa y de inyección en el colector de admisión.	26
Figura 18	Intensidad del movimiento inestable del motor TFSI en comparación con el motor FSI.	27
Figura 19	Incremento de la eficiencia a través de la inyección directa.	28
Figura 20	Comparación de la combustión en el proceso real del motor, entre la formación de mezcla interna y externa	29
Figura 21	Clasificación de la combustión para motores de gasolina con inyección directa.....	29
Figura 22	Mapa de modos de funcionamiento.....	30
Figura 23	Diagrama esquemático Mitsubishi GDI.....	31
Figura 24	Diagrama esquemático del VW FSI	31
Figura 25	Movimiento de carga controlable en el colector de admisión.....	32
Figura 26	Modos de operación del Audi 2.01 FSI.....	33
Figura 27	Rangos de operación en el mapa y el consumo potencial.....	33
Figura 28	Comparativa de la liberación de calor acumulado	34
Figura 29	Comparación entre procesos con GDI y MPFI.	36
Figura 30	Comparativa de inyección al múltiple de admisión y la inyección directa, con respecto al comportamiento de	

	carga parcial.	36
Figura 31	Nivel de combustión para $n = 2.000$ rpm, $P_{me} = 2$ bares.	37
Figura 32	Aumento en el nivel de ruido emitido durante el modo estratificado de puntos de operación de carga de la parte seleccionada.	38
Figura 33	Efecto de la combustión estratificada	39
Figura 34	Efectos del peso del pistón en la aceleración del rodamiento del motor vertical y el nivel de ruido interno del vehículo de la segunda serie del motor.	40
Figura 35	Parámetros y su interacción para la formación de la mezcla... ..	40
Figura 36	Representación del sistema de un sistema de inyección de aire asistida.	43
Figura 37	El tamaño de gota en función de la presión de inyección	43
Figura 38	Patrón de rocío de inyección directa asistida:.....	44
Figura 39	Ciclo de circuito de alta presión de un sistema de inyección directa de gasolina con common rail DaimlerChrysler	47
Figura 40	Control general del motor con sistema de inyección.....	47
Figura 41	Diseños básicos de las bombas de combustible de alta presión	49
Figura 42	Bomba de tres pistones radiales.....	50
Figura 43	Bomba radial de un solo cilindro, Bosch HDP5	51
Figura 44	Bomba de pistones axiales	52
Figura 45	Riel común con inyectores y sensor de presión del combustible.....	53
Figura 46	Presión media durante la inyección	53
Figura 47	Válvula de inyección electromagnética, Bosch HDEV 5	54
Figura 48	Válvula de inyección piezoeléctrica, Bosch HDEV4.....	56
Figura 49	Generación del remolino por la boquilla.....	57

Figura 50	Diferentes tipos de boquillas y formas de spray	58
Figura 51	Generación remolino en Bosch HDEV (arriba) y Siemens Deka	58
Figura 52	Proceso de inyección en una boquilla de remolino.	59
Figura 53	Tamaño de gota y la profundidad de penetración en función de la presión de inyección.....	59
Figura 54	Diseño de una boquilla de múltiples orificios	60
Figura 55	Disposición de los agujero en la válvula de múltiples orificios. .	61
Figura 56	Apertura hacia el exterior de la boquilla con el funcionamiento electromagnético y generador de turbulencia. .	62
Figura 57	Válvula de inyección piezoeléctrica, Bosch HDEV4.....	63
Figura 58	Comparativa de boquillas de inyección.....	65
Figura 59	Cantidad de inyección en función del tiempo.....	66
Figura 60	Potencial de inyección múltiple.....	68
Figura 61	Inyección múltiple en funcionamiento estratificado +	68
Figura 62	Estrategias de inyección para calefacción de los convertidores catalíticos con los gases de escape.	69
Figura 63	Control Peak and Hold.....	71
Figura 64	Señal del inyector GDI controlada por la ECU.....	71
Figura 65	Estructura interna de la bomba de Alta presión.	72
Figura 66	Bomba de alta presión Bosch.....	72
Figura 67	Arduino Mega 2560.....	73
Figura 68	Microcontrolador Atmega 2560	74
Figura 69	Esquematación del transistor IRFZ44N.....	76
Figura 70	Optoacoplador 4N25.....	77
Figura 71	Circuito básico optoacoplador.....	78

Figura 72	Manómetro de baja (izq) y alta presión (der).	82
Figura 73	Bomba de baja presión con accesorios.	83
Figura 74	Bomba de alta presión vista frontal (izq) y vista lateral (der). ..	83
Figura 75	Ensamble del motor eléctrico con la bomba de alta presión..	85
Figura 76	Características del motor eléctrico.....	85
Figura 77	Deposito modelado (izquierda), Real (derecha).	87
Figura 78	Simbología válvula de alivio.....	88
Figura 79	Válvula de alivio de baja presión.....	88
Figura 80	Válvula de alivio de alta presión.....	89
Figura 81	Simbología válvula check.	89
Figura 82	Válvula check utilizada en el circuito de alta presión.	89
Figura 83	Simbología válvula de paso (bypass).	90
Figura 84	Válvula de paso seleccionada.	90
Figura 85	Estructura interna del banco de pruebas.	92
Figura 86	Banco de pruebas: Modelado (izq), Real (der).	92
Figura 87	Circuito hidráulico de baja y alta presión.	93
Figura 88	Circuito de baja presión activo.....	94
Figura 89	Circuito de alta presión activado.....	94
Figura 90	Despresurizado del sistema.....	95
Figura 91	Tablero secundario.	95
Figura 92	Cable flexible AWG No. 14.	98
Figura 93	Transformadores.....	100
Figura 94	Fuente de alimentación para la activación de los	

	diferentes circuitos de potencia y de bomba de baja presión.	101
Figura 95	Circuito activación electroválvulas livewire.	101
Figura 96	Placa Circuito electroválvulas.	102
Figura 97	Datasheet TIP 122.	102
Figura 98	Circuito activación optoacoplador.	103
Figura 99	Circuito de potencia.	103
Figura 100	Datasheet Regulador de voltaje.....	105
Figura 101	Diagrama LCD, Teclado, Zumbador livewire.	106
Figura 102	Diagrama LCD, Teclado, Zumbador Isis proteus.....	106
Figura 103	Prueba del circuito del LCD.	106
Figura 104	Pruebas de las placas de teclado, LCD, Zumbador y electroválvulas.....	107
Figura 105	Diagrama eléctrico completo livewire.....	107
Figura 106	Diagrama eléctrico completo Isis Proteus.....	108
Figura 107	Conexión del teclado.	108
Figura 108	Diagrama para baquelita.....	108
Figura 109	Quemado de placa.....	109
Figura 110	Placa de potencia.	109
Figura 111	Ubicación de la placa del teclado.....	109
Figura 112	Ubicación Arduino Mega.....	109
Figura 113	Conexión y ubicación de la placa de potencia.	110
Figura 114	Conexión hidráulica.	110
Figura 115	Ensamble final.	111

		xxi
Figura 116	Banco de pruebas para inyección GDI “Femax”	115
Figura 117	Verificación del estado de un “o-ring” de alojamiento inyector.	120
Figura 118	Conjunto riel-inyectores.	121
Figura 119	Ubicando los inyectores dentro de las probetas.	121
Figura 120	Riel de inyectores fijado sobre la base.	121
Figura 121	Conexión de la manguera al acople surtidor de líquido.	122
Figura 122	Conexión de los cables de señal.	122
Figura 123	Prueba de spray finalizada.	122
Figura 124	Interruptores.....	123
Figura 125	Válvula de paso	123
Figura 126	Desconexión de la cañería del riel.	123
Figura 127	Extracción de las turcas de sujeción.....	123
Figura 128	Secuencia de información mostrada una vez encendido el banco	124
Figura 129	Botonera de control.....	125
Figura 130	Medición de la resistencia interna de los inyectores.	126
Figura 131	Conexión del multímetro para medición de corriente.....	127
Figura 132	Introducción del programa mediante el puerto USB	132
Figura 133	Botón de información del banco de pruebas.....	132
Figura 134	Introducción del programa para bajas rpm.	137
Figura 135	Conexión de los cables de señal de los inyectores.....	137
Figura 136	Ajuste de la presión de alivio en el sistema de alta presión.137	
Figura 137	Grafica comparativa de datos Ti vs Volumen vs Ángulo.	140

Figura 138	Grafica comparativa Angulo vs Volumen.	140
Figura 139	Conexión del osciloscopio	141
Figura 140	Oscilograma inyector #1 prueba de spray a 800 rpm.	141
Figura 141	Oscilograma inyector #2 prueba de spray a 800 rpm. ...	142
Figura 142	Oscilograma inyector #3 prueba de spray a 800 rpm.	142
Figura 143	Oscilograma inyector #4 prueba de spray a 800 rpm.	143
Figura 144	Señal de activación y tiempo en off test de inyección.....	144
Figura 145	Señal de activación prueba de reverse.....	144
Figura 146	Introducción del programa para 2500 rpm.	147
Figura 147	Conexión de los cables de señal de los inyectores.....	147
Figura 148	Ajuste de la presión de alivio.	148
Figura 149	Grafica comparativa Ti vs Volumen vs Ángulo.....	150
Figura 150	Grafica comparativa Ángulo vs Volumen.	151
Figura 151	Conexión del osciloscopio.	151
Figura 152	Oscilograma inyector #1 prueba de spray a 2500 rpm. .	152
Figura 153	Oscilograma inyector #2 prueba de spray a 2500 rpm. .	152
Figura 154	Oscilograma inyector #3 prueba de spray a 2500 rpm. .	153
Figura 155	Oscilograma inyector #4 prueba de spray a 2500 rpm. .	154
Figura 156	Señal de activación y tiempo en off test de inyección....	154
Figura 157	Señal de activación prueba de reverse.....	155
Figura 158	Introducción del programa 7000 rpm.	157
Figura 159	Conexión de los cables de señal de los inyectores.....	158
Figura 160	Ajuste de la presión de alivio	158

Figura 161	Grafica comparativa Ti vs Volumen vs Ángulo.....	160
Figura 162	Grafica comparativa Ángulo vs Volumen.	161
Figura 163	Conexión del osciloscopio.	161
Figura 164	Oscilograma inyector #1 prueba de spray a 7000 rpm. ...	162
Figura 165	Oscilograma inyector #2 prueba de spray a 7000 rpm. ..	162
Figura 166	Oscilograma inyector #3 prueba de spray a 7000 rpm. ...	163
Figura 167	Oscilograma inyector #4 prueba de spray a 7000 rpm. ...	164
Figura 168	Señal de activación y tiempo en off test de inyección.....	164
Figura 169	Señal de activación prueba de reverse.....	165

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de variable independiente.....	6
Tabla 2.	Operacionalización de variable dependiente	6
Tabla 3.	Ventajas y desventajas de la disposición del inyector y la bujía	35
Tabla 4.	Diferencias entre inyectores PFI y GDI	70
Tabla 5	Especificaciones Arduino MEGA 2560.....	73
Tabla 6.	Características del Mosfet de Potencia IRFZ44N.	77
Tabla 7.	Componentes y parámetros de funcionamiento del Banco.....	80
Tabla 8.	Características del manómetro de baja presión y alta presión..	82
Tabla 9.	Características técnicas de las bombas de baja y alta presión.	83
Tabla 10.	Selección de conductores eléctricos.....	98
Tabla 11.	Características 4N25.....	102
Tabla 12.	Tabla de características de activación.	116
Tabla 13.	Presiones de trabajo del equipo y capacidad.....	116
Tabla 14.	Manómetros de presión.	117
Tabla 15.	Instrumentos adicionales.	117
Tabla 16.	Ubicación de los inyectores	117
Tabla 17.	Cables de señal para los inyectores	118
Tabla 18.	Aplicaciones del banco.	118
Tabla 19.	Tensión de trabajo.	118
Tabla 20.	Características del fluido de pruebas.....	119
Tabla 21.	Características de funcionamiento de las pruebas.....	124
Tabla 22.	Resistencia interna de los inyectores.....	126

Tabla 23.	Corriente de consumo en las distintas pruebas.	127
Tabla 24.	Reconocimiento de componentes.	128
Tabla 25.	Proceso de pruebas mostrado en la pantalla de información.	133
Tabla 26.	Datos obtenidos a régimen de 800 rpm.	138
Tabla 27.	Datos obtenidos en la prueba de estanqueidad.	138
Tabla 28.	Datos obtenidos de la prueba de inyección	139
Tabla 29.	Datos obtenidos de la prueba de reverse.	139
Tabla 30.	Datos generados por el osciloscopio.	141
Tabla 31.	Tabla de datos generados por el osciloscopio.	142
Tabla 32.	Datos generados por el osciloscopio.	143
Tabla 33.	Datos generados por el osciloscopio.	144
Tabla 34.	Datos generados por el osciloscopio.	145
Tabla 35.	Datos obtenidos a régimen de 2500 rpm.	148
Tabla 36.	Datos obtenidos en la prueba de estanqueidad.	149
Tabla 37.	Datos obtenidos de la prueba de inyección.	149
Tabla 38.	Datos obtenidos de la prueba de reverse.	150
Tabla 39.	Datos generados por el osciloscopio.	152
Tabla 40.	Datos generados por el osciloscopio.	153
Tabla 41.	Datos generados por el osciloscopio.	153
Tabla 42.	Datos generados por el osciloscopio.	154
Tabla 43.	Datos generados por el osciloscopio.	155
Tabla 44.	Datos generados por el osciloscopio.	155
Tabla 45.	Datos obtenidos a régimen de 7000 rpm.	158

Tabla 46.	Datos obtenidos en la prueba de estanqueidad.....	159
Tabla 47.	Datos obtenidos de la prueba de inyección.	159
Tabla 48.	Datos obtenidos de la prueba de reverse.	160
Tabla 49.	Datos generados por el osciloscopio.	162
Tabla 50.	Datos generados por el osciloscopio.	163
Tabla 51.	Datos generados por el osciloscopio.	163
Tabla 52.	Datos generados por el osciloscopio.	164
Tabla 53.	Datos generados por el osciloscopio.	165
Tabla 54.	Datos generados por el osciloscopio.	165
Tabla 55.	Costos de mano de obra.....	168
Tabla 56.	Costo de fabricación del circuito de control.....	169
Tabla 57.	Costos de materiales y elementos mecánicos	169
Tabla 58.	Costos de inversión del circuito hidráulico.	170
Tabla 59.	Costo total del proyecto.	170

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	Número de Reynolds.....	57
Ecuación 2	Caudal de la bomba.	83
Ecuación 3	Potencia para el motor eléctrico.....	84
Ecuación 4	Relación diámetro - revoluciones.	86
Ecuación 5	Volumen necesario.....	86
Ecuación 6	Volumen del depósito en forma de cubo.....	87
Ecuación 7	Corriente de consumo del motor eléctrico.....	99
Ecuación 8	Potencia absorbida por el motor.....	99
Ecuación 9	Ley de ohm.	103
Ecuación 10	Ganancia del transistor.	104
Ecuación 11	Selección de resistencia del transistor.	104
Ecuación 12	Consumo de la fuente.	105
Ecuación 13	Ciclo de trabajo.	111
Ecuación 14	Inyección simultánea.....	111

RESUMEN

La tecnología en los diferentes sistemas de inyección han ido evolucionando como es el caso de la inyección directa de gasolina GDI, este es un cambio necesario a los que el mundo debe atenerse, presenta muchas ventajas en comparación a los vehículos con inyección al múltiple de admisión PFI o MPFI, su principal diferencia es la inyección directa al cilindro y la alta presión de combustible que puede llegar hasta 200 bares, lo cual da efectos positivos en el comportamiento del vehículo como disminución en el consumo de combustible y las emisiones contaminantes, se centra en la optimización de la potencia, el par motor y comportamiento dinámico. Trabajan con estrategias de inyección para: el calentado rápido del catalizador con el propósito del funcionamiento rápido del sensor de oxígeno y mejora de potencia en condiciones a plena carga (mariposa de aceleración totalmente abierta), los valores de lambda están comprendidos entre 1,6 y 3 esto dependiendo del tipo de inyección en el que esté trabajando, pudiendo ser estas: homogénea, estratificada o mezcla homogénea y auto-ignición controlada la carga de encendido por compresión. Los inyectores GDI tienen: apariencia tipo lápiz, resistencia inferior a los 2 ohms, ubicación dentro de la cámara de combustión y es activado por la ECU con un sistema de control Peak and Hold que regula la corriente de activación puesto que al ser una resistencia interna muy baja tiene un consumo alto de corriente y esto podría calentar el bobinado lo que produciría la quema del inyector o daño del sistema.

PALABRAS CLAVE:

- **INYECCIÓN GASOLINA**
- **INYECTORES GDI**
- **MOTORES GASOLINA**
- **MECÁNICA AUTOMOTRIZ - BANCO DE PRUEBAS**

ABSTRACT

The technology in the different injection systems have evolved as in the case of gasoline direct injection GDI, this is a necessary change to the world should expect, has many advantages compared to vehicle-injected into the intake manifold PFI or MPFI, the main difference is the direct injection into the cylinder and high-pressure fuel that can reach up to 200 bar, giving positive effects on the behavior of the vehicle as decreased fuel consumption and pollutant emissions, focuses in optimizing the power, torque and dynamic behavior. Working with injection strategies: rapid heated catalyst for the purpose of fast oxygen sensor performance and improved power at full load conditions (throttle fully open throttle), lambda values are between 1.6 and 3, this depending on the type of injection you are working and may be these: homogeneous, stratified or homogeneous mixture and auto-ignition controlled charge compression ignition. The GDI injectors are: appearance pencil type, less than 2 ohms resistance, location within the combustion chamber and is activated by the ECU with a control system Peak and Hold regulating the drive current as being an internal resistance It has a very low power consumption high and this could heat the coil which would result in burns or damage the injector system.

KEYWORDS:

- **GASOLINE INJECTION.**
- **GDI INJECTION.**
- **GASOLINE ENGINE.**
- **AUTOMOTIVE MECHANIC - TESTBED**

PRESENTACIÓN

El crecimiento del parque automotor en el Ecuador abre un inmenso campo de actuación del Ingeniero Automotriz, quien debe estar a la vanguardia de las nuevas y continuas tecnologías incorporadas por los vehículos, cuyo principal objeto es disminuir la polución que generan fenómenos climáticos como el calentamiento global.

En estas tecnologías se presenta el sistema de inyección electrónica directa de vehículos gasolina GDI; recientemente en el mercado local se ha introducido vehículos con sistemas de este tipo para lo que aún no se dispone de equipos de diagnóstico y prueba adecuados.

De ahí la necesidad de realizar proyectos enfocados en el mantenimiento y reparación de sistemas. Con el propósito de dar solución a estos requerimientos tecnológicos se construyó y programó el módulo electrónico que acoplado a un banco de alta presión, permite desarrollar pruebas de diagnóstico de los inyectores GDI de BOSCH.

El trabajo de investigación está dividido en seis capítulos.

El capítulo 1, se presenta el problema de investigación, determinando el objeto, el campo de la investigación, la justificación y enunciando los objetivos correspondientes.

En el capítulo 2, se investiga fuentes bibliográficas para dar soporte al marco teórico, respetando las normas y propiedad de autores, se establecen los antecedentes de investigación donde se describe el funcionamiento de un sistema de inyección directa gasolina GDI, elementos que conforma, diferencias con un sistema normal de inyección PFI, y funcionamiento de cada componente dentro del sistema.

En el capítulo 3, consta del ensamble del banco de pruebas y la aplicación de cálculos para ir generando los resultados en base al diseño para la selección de materiales eléctricos, electrónicos.

En el capítulo 4, se desarrolla las pruebas realizadas en las opciones del banco, variando los tiempos de apertura, curvas de operación que permitan establecer la operación adecuada de los actuadores.

En el capítulo 5 se da a conocer el marco administrativo, que presenta los diferentes recursos utilizados.

Finalmente en el capítulo 6 se presenta las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación con la finalidad de que sean difundidas o utilizadas como fuente bibliográfica de consulta por los profesionales del área.

CAPÍTULO I.

MARCO METODOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN “BANCO DE PRUEBA PARA DIAGNÓSTICO Y MANTENIMIENTO EN SISTEMA DE INYECCIÓN GDI”

1.1 Antecedentes.

Debido a la necesidad de disminuir la contaminación ambiental que los vehículos ocasionan y al consumo de combustible que algunos automotores gasolina tienen, Mitsubishi diseña, genera e implementa sistemas de alimentación de combustible, para alcanzar mayor eficiencia reduciendo el impacto ambiental (Basshuysen R. v., 2009).

La tecnología en los diferentes sistemas de inyección aplicados en los vehículos, han ido cambiando, como es el caso del sistema de GDI (Inyección Directa Gasolina), que trabaja de diferente forma a un sistema convencional como lo es PFI (Inyección de Combustible por Puerto), es decir el modo de activación de un inyector GDI es diferente al PFI.

La inyección directa de gasolina (GDI) es una tecnología fundamental que permite que los motores turboalimentados de menor tamaño reduzcan sus emisiones de CO₂ y su consumo de combustible, en respuesta a unas normativas cada vez más exigentes.

El mercado de la tecnología GDI experimenta una expansión vertiginosa y se calcula que pasará a nivel mundial de unos 5 millones de motores en 2010 a 37 millones en 2020. Esta previsión de que la cifra actual se multiplique por siete supondrá que en 2020 prácticamente la mitad de todos los motores de gasolina del mundo contarán con tecnología GDI. (Skala, 2014).

Muchos fabricantes de vehículos han optado por fabricación de motores con tecnología GDI, tal como es el caso de Mitsubishi (OUTLANDER), que presenta las siguientes ventajas: menor consumo de combustible (20% de ahorro), potencia superior menor emisión de CO₂ (10% inferior), a igual cilindrada (Lecuona, A. 2015).

Algunos otros diseñadores automotrices de este tipo de tecnología son:

- Grupo PSA (PEUGEOT-CITROEN).
- AUDI (A4).
- RENAULT.
- SAAB.
- FORD (FOCUS).
- BOSCH.
- HYUNDAI (IX35).

1.2 Planteamiento del problema.

El avance tecnológico en el área automotriz, el desconocimiento de tecnologías aplicadas en los vehículos de motores de combustión interna gasolina, la falta de equipos para pruebas de elementos de los mismos, requiere que se investigue acerca del diseño de un banco de pruebas para poder realizar el mantenimiento y diagnóstico de inyectores GDI, a través de proyectos de investigación acorde con el desarrollo de las nuevas tecnologías.



Figura 1 Diagrama Causa efecto.

1.3 Descripción resumida del proyecto.

Se desarrolló la investigación bibliográfica referente a sistemas GDI, su incidencia, comportamiento normas de funcionamiento, marcas y modelos que implementan esta tecnología.

Se establece el marco metodológico pertinente para desarrollar la investigación.

Se realizó el levantamiento de requerimientos para generar el diseño del equipo de pruebas para inyectores GDI, considerando los componentes mecánicos y electrónicos para activar inyectores electromagnéticos de mayor corriente como son los de sistema de inyección directa de gasolina.

El diseño considera la fuente de alimentación que en este caso es un transformador de 110 V AC – 12 V AC 10 A, el cual es rectificado a 12 V DC 10 A, utilizado para la activación de los inyectores GDI, para la activación de las electroválvulas se utilizó un transformador de 110 V AC – 12 V AC 1 A, rectificado a 12 V DC 1A.

Se realizó la aplicación hidráulica como: selección de mangueras, válvulas, acoples, bomba para conectarlas en serie para generar la alta presión hacia el riel por lo que este tipo de sistema de inyección trabaja con elevadas presiones “2500 Psi según BOSCH” (Augeri, 2014).

Se programó en Arduino, para generar un aviso de activación visual hacia un LCD, el cual da a notar el modo en el que está trabajando el banco de pruebas; dentro de las líneas de programación está el tiempo de activación en cada prueba; este banco consta con 5 tipos de pruebas entre las que están:

1. SPRAY TEST.
2. LEAKEAGE TEST.
3. INJECTING TEST.
4. REVERSE FLUSH.
5. AUTO. CLEAN.

Adicionalmente se programó botones para las acciones de:

1. DRAIN.
2. MENÚ.
3. RESET.
4. INFORMACIÓN.

1.4 Justificación e importancia.

Los constantes e imprevistos cambios en los precios internacionales de las materias primas, así como su creciente diferencia frente a los precios de los productos de mayor valor agregado y alta tecnología, han colocado a la economía ecuatoriana, en una situación de intercambio de desigualdad, por lo que al haber cambiado la matriz productiva del país se da la oportunidad de poder diseñar, generar y construir nuestros propios equipos en la nación, por lo que en nuestro caso sería un banco de pruebas de inyectores GDI, que estaría dentro del campo de la tecnología.

Tecnológicamente es indispensable que a través de proyectos de investigación la industria automotriz nacional vaya acorde a la evolución técnica científica mundial.

Con el proyecto de investigación se logró disminuir costos de mantenimiento para usuarios de este tipo de vehículos, este sistema genera menores cantidades de gases contaminantes, dado que al poder mantener los inyectores en buen estado se asegura que la cantidad de inyección de combustible sea la correcta de esta manera mejoramos el cuidado al ecosistema.

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo general.

- Diseñar y construir un banco de pruebas para diagnóstico y mantenimiento de inyectores de sistemas de inyección a gasolina GDI.

1.5.2 Objetivos específicos.

- Investigar fuentes de información confiable en bases digitales, bibliotecas virtuales, artículos científicos.
- Establecer los parámetros de operación del sistema GDI.
- Seleccionar elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos para el sistema hidráulico y de control de activación de los inyectores GDI.
- Desarrollar pruebas de caudal, ángulos de pulverización y presión de inyección de sistemas GDI bajo diferentes condiciones de operación.
- Desarrollar el manual de usuario del equipo.

1.6 Metas.

- Disponer del banco de pruebas para inyectores GDI con las prestaciones necesarias para realizar el diagnóstico y mantenimiento de los mismos en el período de un año.
- Crear un manual de usuario para el uso del banco de pruebas.
- Desarrollar un análisis de las características de operación de inyectores GDI a través de la modificación de parámetros de funcionamiento.

1.7 Hipótesis.

- Permitirá el banco de pruebas obtener la información necesaria para diagnosticar y desarrollar el mantenimiento de manera eficiente a inyectores GDI.

1.8 Variables de investigación.

La operacionalización de variables, centra su análisis en verificar conceptos, categoría, indicadores, ítems, técnicas e instrumentos utilizados en la investigación.

1.8.1 Variable independiente.

Banco de pruebas de inyectores GDI.

1.8.2 Variable dependiente.

Diagnóstico y mantenimiento de inyectores GDI.

1.8.3 Operacionalización de variables.

a. Variable independiente.

Tabla 1.
Operacionalización de variable independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	CATEGORÍA	INDICADOR	PREGUNTAS
Banco de pruebas de inyectores GDI	ACADÉMICA	<ul style="list-style-type: none"> . Placas de control y activación < 4. . Señales de entrada para poner en funcionamiento al banco de inyectores GDI >6 	<p>¿Cuántas placas para el control de activación se utilizan?</p> <p>¿Cuántas señales de entrada se utilizan para la activación de las electroválvulas?</p>
	TÉCNICA	<ul style="list-style-type: none"> . Número de pruebas programadas para el diagnóstico del sistema =4. . Porcentaje de confiabilidad en el diagnóstico del sistema GDI 95%. 	<p>¿Cuántas pruebas programadas existen para el diagnóstico de inyectores?</p> <p>¿Cuánto es el porcentaje de confiabilidad para el diagnóstico de inyectores?</p>

b. Variable dependiente.

Tabla 2.
Operacionalización de variable dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE	CATEGORÍA	INDICADOR	PREGUNTAS
Diagnóstico y mantenimiento de inyectores GDI.	ACADÉMICA	<ul style="list-style-type: none"> . Ajustes de parámetros de presión de 0-1500 Psi. . Tolerancia de variación de caudal +/- 10%. 	<p>¿De cuánto es el parámetro de variación de presión?</p> <p>¿Cuánto es la variación máxima de caudal de inyector a inyector?</p>
	TÉCNICA	<ul style="list-style-type: none"> . Ajuste del ciclo de trabajo (CT) al 28%. . Versatilidad de reprogramación de parámetros de tiempo (Ti, Toff) al 100%. 	<p>¿De cuánto es el porcentaje del ciclo de trabajo (CT)?</p> <p>¿Qué tan versátil es la reprogramación de los parámetros de tiempo?</p>

1.9. Metodología

La metodología es experimental ya que mediante el desarrollo de experimento, pruebas de laboratorio y operación de variables se obtuvo resultados de: tiempos de apertura, tiempos de cierre, voltaje pico, señal del inyector esto dependiendo de la prueba que se esté realizando en el banco.

En el proceso de la investigación científica se utiliza diversos métodos y técnicas según la ciencia particular de que se trate y de acuerdo a las características concretas del objeto de estudio.

Existen, sin embargo, métodos que pueden considerarse generales para todas las ramas de la ciencia en tanto que son procedimientos que se aplican en las distintas etapas del proceso de investigación con mayor o menor énfasis, según el momento en que éste se desarrolle. Estos métodos son el análisis, la síntesis, la inducción y la deducción. (Ruiz, 2007)

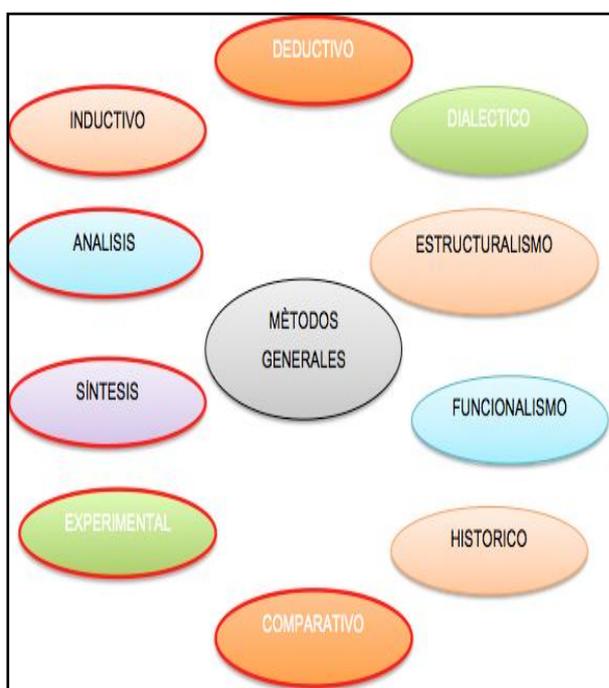


Figura 2 Métodos Generales de la investigación.

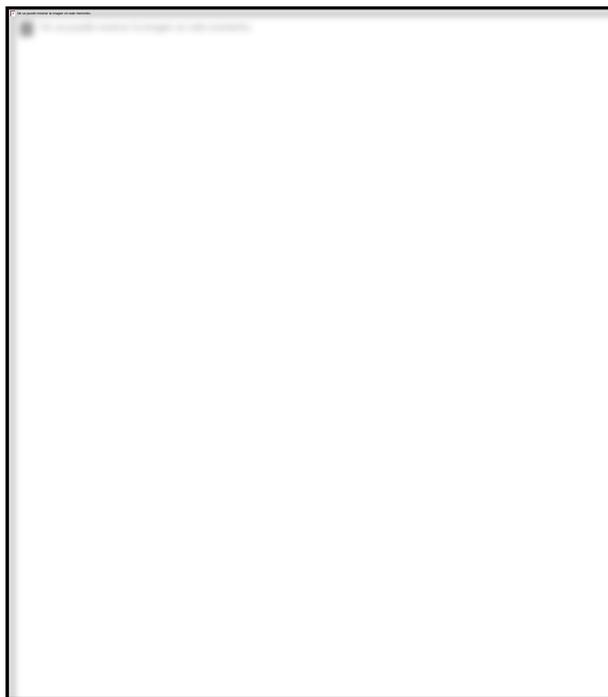


Figura 3 Métodos específicos de la investigación.

Se utilizó de los métodos generales los siguientes:

1.9.1. Método experimental.

Resulta ser el más complejo y eficaz, este surge como resultado del desarrollo de la técnica y del conocimiento humano, a base de pruebas antes ya mencionadas en esta misma sección, se encontró diferentes valores ya sea de tiempos de apertura y cierre, con la finalidad de encontrar los más adecuados para que el técnico u operador pueda diagnosticar de manera eficiente.

1.9.2. Método deductivo.

Este método trabaja de dos maneras en general:

Consiste en encontrar principios desconocidos a partir de los conocidos, también sirve para descubrir consecuencias desconocidas a partir de lo conocido.

Esto se observa al modificar los tiempos de las pruebas a partir de los cálculos realizados, se analiza la variación ya sea picos inductivos, consumo de corriente y caudal.

1.9.3. Método inductivo.

Es el razonamiento partiendo de casos particulares, se eleva a conocimientos generales. En el proyecto se aplica un método inductivo completo, dado que la conclusión sacada del estudio se basó en cuanto a todos los elementos que conforma el objeto de investigación.

1.9.4. Método sintético.

El investigador sintetiza las superaciones en la imaginación para establecer una explicación tentativa, que someterá a prueba.

En el transcurso de pruebas de las diferentes opciones que tiene el banco, se trató de modificar de manera ilógica, para observar que sucedía con el inyector a prueba, de allí también se observó resultados nuevos no esperados.

1.9.5. Método analítico.

Se distinguen los elementos de un fenómeno y se procede a revisar ordenadamente cada uno de ellos por separado.

Al variar aspectos en la programación, se observó con instrumentos de medición como osciloscopio, voltímetro, amperímetro.

1.9.6. Método de la medición.

Para la expresión de resultados no son suficientes con los conceptos cualitativos y comparativos, sino que es necesaria la atribución de valores numéricos a dichas propiedades. En el proyecto se adjuntan los valores obtenidos de manera numérica, como manera practica con instrumentos de medición observando así si existe algún tipo de variación.

1.9.7. Método Matemático.

Este se aplica en cualquier investigación que asiente números de relaciones constantes, variedad de hipótesis, diversidad de comprobaciones y estas se tomen en cuenta para afirmar o negar algo, en el proyecto se pudo asumir que es un complemento del método de medición ya que con los

resultados obtenidos en la práctica se observó cuan acertado estuvieron en los resultados obtenidos a base de los cálculos matemáticos aplicados a la electrónica e hidráulica.

CAPÍTULO II

“MOTORES GASOLINA CON INYECCIÓN DIRECTA”

2.1 Introducción

Los ingenieros de diseño perfeccionan la inyección directa de casi un siglo con el fin de mejorar la producción de energía; en solo los últimos diez años más o menos, ya Mitsubishi introdujo la gasolina de inyección directa en Europa.

Las dificultades que hay que superar son mucho más complejas que las de los motores diesel con inyección directa. Los motores de gasolina con inyección directa, necesitarán más tiempo para ser aceptados en el mercado, pero las ganancias que se hizo en la potencia, por motor, el alto potencial para reducir el consumo de combustible y las emisiones contaminantes, hacen este movimiento prácticamente obligatorio (Basshuysen R. v., 2009).

En un análisis más minucioso, se persiguen tres enfoques de desarrollo, con resultados diversos:

- Inyección directa con mezcla homogénea.
- Inyección directa con mezcla estratificada.
- Inyección directa con la mezcla homogénea y auto-ignición controlada, la carga de encendido por compresión.

El desarrollo de la inyección directa con mezclas más o menos homogéneas es comparativamente fácil, no requiere combustibles especiales, ya que el concepto de tratamiento de gases de escape existente puede ser retenido. Por lo tanto, este proceso es adecuado en todo el mundo. Se centra en la optimización de la potencia, el par y comportamiento dinámico. Influenciado por el considerable éxito inicial que ha disfrutado en los deportes de motor, este concepto se adapta especialmente a los vehículos deportivos y otros de gran alcance (Basshuysen R. v., 2009).

Inyección directa con la mezcla estratificada, se ha desarrollado principalmente para reducir el consumo de combustible y las emisiones de

CO₂. Además del concepto guiado por Mitsubishi, referente a los procesos de aire también se han introducido en la producción en serie en Europa. Las ventajas de consumo de combustible esperados de estos procesos no se materializaron, especialmente en los rangos de carga y velocidad del motor más altas. Por lo tanto, existen dudas fundadas en cuanto a estos conceptos, ya que son demasiado caros y complejos para ser implementado en todo el mundo, debido al aumento del costo de tratamiento de gases de escape en el rango sobre estequiométrico y porque requieren combustibles sin azufre. Teniendo en cuenta estos aspectos, la atención se ha ido convirtiendo de nuevo al proceso de pulverización guiada desde hace algún tiempo. A pesar de que incluso impone mayores exigencias a formación de la mezcla, se pueden esperar reducciones en el consumo de combustible de hasta el 20%. Esta es la misma notable magnitud del cambio que se logró en los motores diesel con el cambio de la inyección directa y dejaría al motor diesel con una ventaja de consumo volumétrico de sólo el 10 al 15% (Basshuysen R. v., 2009).

En el campo de la investigación, los procesos con inyección directa utilizando mezcla homogénea y auto-ignición controlada con encendido por compresión de carga se han estudiado durante mucho tiempo. Estos procesos son también conocidos como "HCCI" (carga homogénea de encendido por compresión) y "CAI" (Control de auto-ignición), se están desarrollando como nuevos procesos de combustión de la gasolina y motores diesel. Debido al gran potencial de conceptos con emisiones mínimas y un buen rendimiento de la combustión, las altas esperanzas se colocan en ellos, en combinación con los combustibles desarrollados específicamente para estos procesos de combustión, un sueño desde hace mucho tiempo podría convertirse en realidad: un nuevo proceso de combustión óptima que combina las ventajas de los dos tipos de motor podría surgir de los procesos de combustión existentes para los motores de gasolina y diesel (Basshuysen R. v., 2009).

2.2 Objetivos de la inyección directa de gasolina.

Es el de contrarrestar significativamente el consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes en los motores, tales como los

hidrocarburos, óxidos de nitrógenos y monóxido de carbono, se reducen considerablemente con la implementación de un catalizador de tres vías.

El monóxido de carbono principal causante del efecto invernadero se puede reducir con la disminución del consumo de combustible, basados en estas consideraciones los fabricantes de motores desarrollan sistemas similares a los de motores diesel en los cuales la inyección se da en un momento y lugar exacto para lograr una combustión exacta (Augeri, 2014).

2.3 Ventajas e inconvenientes de los sistemas GDI.

2.3.1 Desventajas

La desventaja es el tratamiento de los gases de escape especificadas en normas como la EURO4 muy rigurosas en ese sentido. Los óxidos nítricos que se producen como resultado del modo estratificado, en el modo mezcla homogénea-pobre, característicos de la inyección directa, su cantidad es muy elevada como para ser contrarrestados y transformados en nitrógeno como oxígeno puro en un catalizador de tres vías convencional.

Se ha desarrollado catalizadores específicos con el fin de solucionar este problema de manera que hasta el momento no se ha conseguido esta forma de inyección de un modo generalizado, otro inconveniente que se ha encontrado en los sistemas GDI es el azufre en la gasolina debido a su similitud química con otros productos de la combustión como los óxidos de nitrógeno, el azufre también puede almacenarse en convertidores catalíticos saturándolos, esto indica que mientras mayor sea el contenido de azufre en el combustible más frecuente se debe regenerar el catalizador lo que se traduce como un consumo de combustible adicional (Augeri, 2014).

2.3.2 Ventajas

Las ventajas son : Mantener bajo consumo de combustible y emisiones, trabajan con un valor de lambda comprendido entre 1,6 y 3 lo que permite el ingreso de mayor cantidad de aire por los ductos de admisión y con una menor resistencia, adicionalmente se reducen las pérdidas de calor cedido a las paredes ya que en el modo estratificado la combustión únicamente se lleva a cabo en la zona próxima a la bujía mejorando el rendimiento térmico

del motor, gracias a que la inyección se produce dentro del cilindro, el calor en el aire de admisión se ve notablemente reducido, con este efecto de refrigeración la posibilidad de que exista picado disminuye por lo que se aumenta la compresión. Este aumento conlleva al incremento de la presión de compresión por lo que también se optimiza el rendimiento térmico del motor. (Skala, 2014)



Figura 4 Saturación del catalizador en función de la distancia recorrida con diferentes tipos de combustible

Fuente: (Bosch, 2005)

2.4 Estrategias de reducción de consumo y emisiones contaminantes.

La refrigeración del motor con asistencia electrónica, reduce el consumo de combustible al igual que la incorporación de sistemas de reglaje de distribución variable, conjuntamente con la recirculación de gases de escape ya implementados en numerosos motores (Skala, 2014).

Una opción en motores con cilindros múltiples es la desactivación de cilindros que ayudan a mantener la regularidad cíclica de la marcha, en el caso de tener unidades de potencia de cuatro cilindros es conveniente la implementación de árboles equilibradores para suavizar la marcha, en los últimos años se han desarrollado más opciones viables como el uso de una mezcla aire combustible homogénea empobrecida. Otras técnicas por ejemplo la reducción de peso, coeficiente de penetración, lubricantes de última generación, contribuyen con su respectiva tasa de reducción, pero, todas estas innovaciones se han visto desplazadas por el uso de motores con inyección directa de gasolina. (Augeri, 2014)

2.5 Inyección de dos fases según condiciones de trabajo

2.5.1 Primera fase de inyección calentado catalizador

“La inyección de la primera de la primera fase se realiza a unos 300 grados APMS durante el ciclo de admisión. De esta forma se consigue un reparto uniforme de la mezcla aire-combustible” (Skala, 2014).

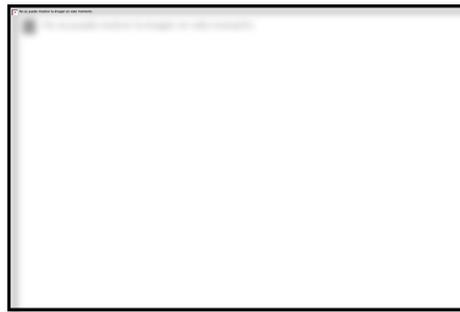


Figura 5 Primera fase de inyección Calentado Catalizador

Fuente: (AUGERI, 2014)

2.5.2 Segunda fase de inyección calentado catalizador.

“En la segunda fase se inyecta una pequeña cantidad de combustible a aproximadamente 60 grados APMS. Esta mezcla se quema muy tarde y hace que aumente la temperatura de los gases de escape” (Skala, 2014).

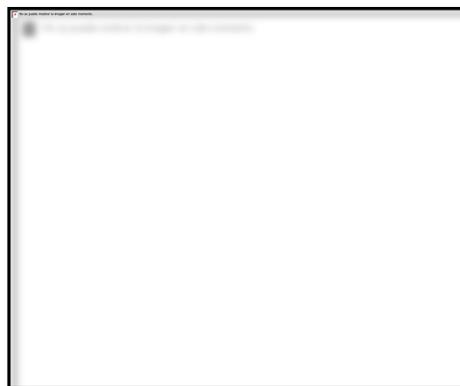


Figura 6 Segunda fase de inyección calentado catalizador.

Fuente: (AUGERI, 2014)

2.6 Inyección de dos fases a plena carga.

2.6.1 Primera fase plena carga

“La primera inyección se realiza nuevamente a 300 grados APMS durante el ciclo de admisión. Se inyecta aproximadamente 2/3 de la cantidad de combustible” (Skala, 2014).



Figura 7 Primera fase plena carga

Fuente: (AUGERI, 2014)

2.6.2 Segunda fase plena carga

“La cantidad restante se inyecta en los ciclo de compresión, de esta forma se logra evaporar más el combustible mejorando el reparto de la mezcla” (Skala, 2014).

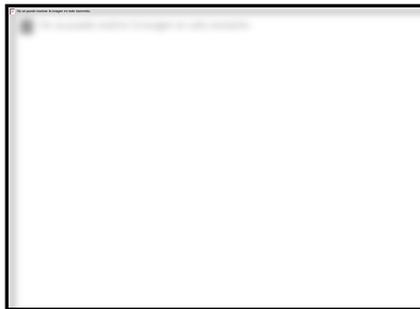


Figura 8 Segunda fase plena carga

Fuente: (AUGERI, 2014)

2.7 Procesos de formación de la mezcla y de combustión

La idea detrás de inyección directa de gasolina moderna en los motores es combinar las ventajas del motor diesel con los del motor de gasolina. Las ventajas de los motores diesel son mínimas pérdidas durante el intercambio

de gases, control de calidad (control de carga sólo a través de la cantidad de combustible suministrado) y mínimas pérdidas de calor a través de la pared de la cámara de combustión. Lo que distingue a la gasolina es su pequeño tamaño, el buen rendimiento de energía y bajas emisiones (Basshuysen R. v., 2009).

Hay dos modos diferentes de funcionamiento (estrategias de operación) para motores de gasolina con inyección directa, con las diferencias esenciales estar en sincronización de la inyección, posición de la válvula del acelerador y composición de la mezcla. En el margen de carga superior, el motor opera con una composición de mezcla homogénea como un motor de gasolina con formación de la mezcla externa. En la operación de carga parcial, se opera con la mezcla de carga estratificada. Esto es necesario a fin de aplicar en el modo de funcionamiento sin estrangulación de carga parcial, con formación de la mezcla homogénea. La carga en la cámara de combustión del motor se hace de tal manera que la ignición ya no se puede iniciar de manera fiable debido al límite de ignición para relaciones aire / combustible (λ) de aproximadamente 1,5. Para asegurar un encendido fiable y la inflamación de la mezcla aire / combustible, el proceso de formación de la mezcla debe proporcionar una formación de la mezcla combustible inflamable y formación de la mezcla con carga estratificada (Basshuysen R. v., 2009).

En la ingreso de inyección, con cargas superiores y en funcionamiento a plena carga, el combustible se introduce en la cámara de combustión durante el movimiento descendente del pistón; Figura 9 derecha. En cuanto a la preparación del combustible en motores de gasolina con formación de la mezcla externa (inyección en el colector de admisión), se inyecta el combustible durante el proceso de admisión y se mezcla temprano con aire que entra a alta velocidad (Basshuysen R. v., 2009).

En la carrera de compresión posterior, esto conduce a distribución de la mezcla homogénea en el punto de encendido, con una relación aire / combustible casi constante en toda la cámara de combustión (Basshuysen R. v., 2009).



Figura 9 Modos de composición de la mezcla y de operación en el motor de gasolina con inyección directa: I: modo de funcionamiento estratificado, D: modo de funcionamiento homogéneo.

Fuente: (Basshuysen, 2009)

A plena carga, existen condiciones de contorno casi idénticas con respecto a la eficiencia volumétrica de inyección indirecta (válvula de mariposa totalmente abierta) y la inyección directa (funcionamiento sin estrangulación). Sin embargo, los motores de gasolina con inyección directa tienen mayores eficiencias volumétricas. Esto se puede atribuir a la extracción de calor en la cámara de combustión que es debido a la evaporación casi total del combustible durante el proceso de admisión, que también puede mejorar el comportamiento de golpeteo. Por otra parte, no hay más dinámica de la película de combustible en el colector de admisión, ya que el combustible se inyecta directamente en la cámara de combustión. Esto se traduce en una mejor respuesta durante el arranque en frío, un mejor comportamiento operativo durante los cambios de carga y las emisiones más favorables (Basshuysen R. v., 2009).

En el modo de funcionamiento estratificado durante parte de la carga, un motor de gasolina con inyección directa idealmente debería operar con una válvula de mariposa totalmente abierta. Al igual que en los motores diesel, la carga se controla únicamente a través de la cantidad inyectada de combustible (control de calidad), que se introduce directamente en la cámara de combustión durante el movimiento ascendente del pistón sólo inmediatamente antes de la ignición. Este proceso se conoce como inyección en la carrera de compresión, la figura 9 izquierda. Lo ideal sería que una nube de mezcla inflamable debe estar presente en el centro de la cámara de combustión y las pérdidas de calor a la pared de la cámara de

combustión en el proceso de combustión posterior pueden ser reducidas por la capa de aire aislante. En principio, el funcionamiento del motor es muy delgado y en el punto de ignición, existe grandes gradientes en la relación aire / combustible en la cámara de combustión. La figura 10 muestra la aplicación de las estrategias de funcionamiento mencionados anteriormente en el mapa completo del motor (Basshuysen R. v., 2009).

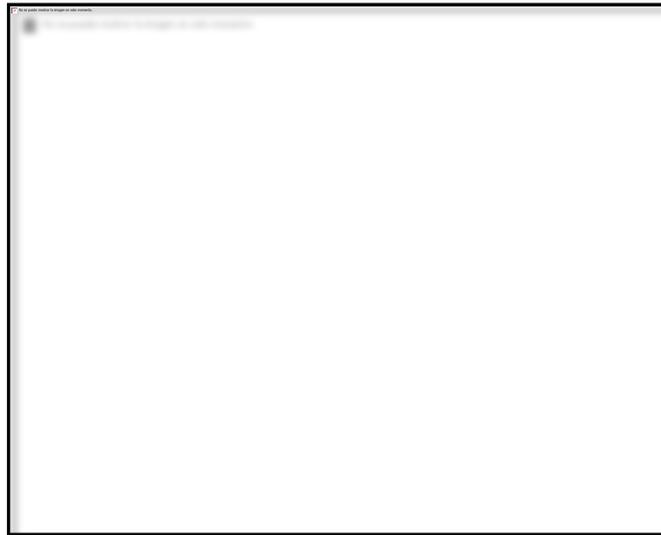


Figura 10 Estrategias de operación en el mapa.

Fuente: (Spicher & Weimar, Direkteinzpritzung im Ottomotor, 1997)

2.8 Formación básica de la mezcla.

La calibración de la formación de la mezcla para todo el rango de operación es un requisito básico esencial para lograr una buena combustión con alta eficiencia y un mínimo de emisiones. Esto se aplica a ambos modos: operando con la mezcla homogénea y operando con carga estratificada. Los factores que influyen en el proceso de formación de la mezcla son muy diversos. Buena formación de la mezcla en rangos amplios; el mapa es una guía probada para su funcionamiento económico. Del mismo modo, la buena capacidad de conducción en todo el rango de velocidad del motor depende directamente de la formación de la mezcla estable. La formación de la mezcla se determina básicamente por las influencias que se presentan en la figura 11 (Nauwerck, Untersuchung der

Gemischbildung in Ottomotoren mit Direkteinspritzung bei strahlgefuehrtem Brennverfahren. Dissertation, Uniersitaet Karlsruhe (TH)., 2006).



Figura 11 Parámetros que influyen en el proceso de la formación de la mezcla.

Fuente: (Nauwerck, untersuchung der gemischbildung in Ottomotoren mit Direkteinspritzung , 2006)

2.8.1 Preparación del combustible.

La rápida formación de la mezcla es uno de los requisitos más importantes para la implementación de los motores de gasolina de inyección directa, sobre todo en el modo estratificado. La atomización de combustible y la evaporación del combustible son lo básico para la formación de la mezcla adecuada en todas las condiciones de funcionamiento (Basshuysen R. v., 2009). Gotas pequeñas que afectan favorablemente la evaporación son el resultado de:

- Diámetros de orificio de boquilla pequeña.
- Alta velocidad de entrega de combustible (alta presión de inyección).
- Alta densidad del aire (alta relación de compresión o súper / turbo alimentación).
- Baja viscosidad del combustible.
- Baja tensión superficial del combustible.

La preparación de combustible tiene una influencia vital en la formación de la mezcla. Después de que el combustible fluye a través de la válvula de

inyección, la fase de formación de la mezcla se caracteriza por los siguientes eventos:

- Formación de gotitas de combustible.
- Evaporización o vaporización de gotitas de combustible.
- Mezcla con el aire de admisión.

2.8.2 Características de flujo

El movimiento del aire adicional en la cámara de combustión para aumentar la velocidad relativa a la pulverización de inyección (remolino, flujo de desplazamiento de la mezcla) puede mejorar la calidad de atomización y la evaporación de las gotas de combustible. La formación de vórtices de flujo en la cámara de combustión durante la fase de admisión, y su posterior comportamiento en la fase de compresión, son especialmente crucial para la combustión subsiguiente. Los vórtices de flujo tienen una influencia significativa en la transferencia de calor a través de las paredes, transporte masivo, la conversión de combustible, y la velocidad de propagación de la combustión. Por otra parte, los flujos dirigidos tienden hacerse cargo de la función de la orientación de la mezcla y transporte de la mezcla en motores de gasolina con inyección directa. Basado en el movimiento del pistón. Dos procesos de formación diferentes pueden distinguirse para la formación de vórtices de flujo, figura 12 (Fischer, 2004).



Figura 12 Diferentes mecanismos de formación de turbulencia en la cámara de combustión de un motor de combustión.

Fuente: (Fischer, 2004)

2.9 Inyección directa con mezcla homogénea.

Cuando la inyección directa de gasolina se desarrolló inicialmente en los motores de cuatro tiempos para turismos (Mercedes 300SL), la potencia en todo el rango de operación fue controlada mediante el ajuste de la cantidad por medio de una válvula de mariposa, al igual que los motores de carburador y motores con inyección al múltiple de admisión. El combustible inyectado se ajustó a la masa de aire de admisión de una manera tal que la relación de aire / combustible era casi el mismo en todos los rangos de carga. Se inyecta en la cámara de combustión al principio del proceso de admisión, Figura 13. Por lo tanto, hay tiempo suficiente disponible para la formación de la mezcla y mezcla de homogeneización, incluso a altas velocidades del motor. Esto facilita la formación de la mezcla, que es mucho más fácil que en la operación de carga parcial con carga estratificada. Hasta hace unos años, la operación de carga parcial con carga estratificada no podía ser producida en masa a causa de sus sistemas de inyección puramente mecánicos y funcionamiento dinámico del motor (Basshuysen R. v., 2009).

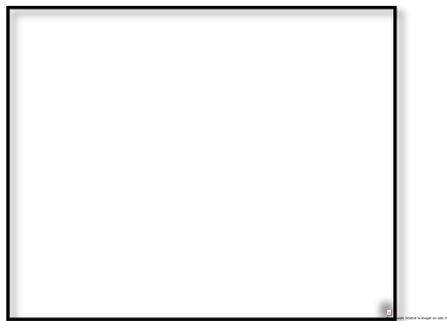


Figura 13 Inyección de combustible en la carrera de admisión en el VW FSI.

Fuente: Volkswagen.

Mientras que los motores de gasolina con inyección directa que funcionan en el modo estratificado en carga parcial han surgido recientemente en el mercado, obteniendo un modo estratificado fiable todavía es visto como un desafío, asociado con el alto costo de inversión para la electrónica y los sistemas de inyección. El concepto está siendo cada vez combinado con sobrealimentación a fin de utilizar las ventajas de la inyección directa de gasolina en el rango de carga elevada en comparación

con la inyección al colector de admisión por un lado, y por el otro, para aumentar la potencia específica a través de la sobrealimentación con reducción simultánea del tamaño del motor. La ventaja aquí es que la pérdida por fricción se reduce, por lo cual el consumo de combustible puede reducirse hasta en un 10% en comparación con un motor normal de inyección PFI, la inyección al colector sin sobrealimentación y la misma potencia (Basshuysen R. v., 2009).

Otra ventaja, por supuesto, es la experiencia adquirida al trabajar con inyección directa en la producción en serie, que promueve el desarrollo de este proceso de combustión para las necesidades futuras. Como regla general, los motores de gasolina con inyección directa son menos sensibles a la detonación de combustión que los motores con inyección al colector de admisión, debido a la refrigeración interna causada por la inyección del combustible directamente en la cámara de combustión. Si el comportamiento de detonación mejorado se utiliza para aumentar la relación de compresión, puede asumirse un aumento desde 1.5 a 2. Por lo tanto, una ventaja de aproximadamente el 5% en el consumo de combustible se puede lograr de acuerdo con un análisis teórico del proceso (Basshuysen R. v., 2009).

El hecho de que la eficiencia volumétrica es aún mayor para la inyección directa se puede explicar de acuerdo con la siguiente forma:

En la inyección al múltiple de admisión, el punto bajo condiciones a velocidades relativas medianas entre combustible y aire (relación de presión de combustible / aire: aproximadamente 3... 5/1) conducen a una combinación de la presión de atomización y la atomización de aire comprimido. En el caso de inyección directa, solamente la presión de atomización se lleva a cabo debido a las altas velocidades relativas entre el combustible y el aire (relación de presión de combustible / aire de aproximadamente 50... 200/1). Como se muestra en la figura 14, los diámetros de gotas de combustible formados a altas velocidades relativas son considerablemente más pequeños que los formados a velocidades relativas bajas. Esto se traduce en un aumento significativo en el número de

gotas de combustible y por lo tanto a un aumento en el área superficial total de combustible de todas las gotas (Herzog & Athenstaedt, 1996).



Figura 14 Diámetro de las gotas depende de la presión de combustible.

Fuente: (Herzog & Athenstaedt, 1996)

El combustible recibe la entalpía de evaporación, se requiere desde el medio ambiente durante la evaporación que sigue a la atomización; el medio ambiente proporciona el combustible necesario. En este proceso, hay dos aspectos que afectan positivamente la evaporación del combustible para la inyección directa. El potencial de evaporación es significativamente mayor que en el colector de admisión, debido a las paredes de la cámara de combustión calientes y las altas temperaturas relacionadas. Esto conduce a una evaporación considerablemente más rápida del combustible y por lo tanto una mezcla de enfriamiento con una válvula de entrada abierta en gran medida. Durante la inyección al múltiple de admisión, en cambio, parte del combustible alcanza las paredes del colector de admisión relativamente frías y no participa plenamente en la evaporación (Basshuysen R. v., 2009).

El combustible todavía se evapora en el colector de admisión durante la inyección al múltiple de admisión esto produce una caída de la temperatura y de la presión. En comparación con la inyección directa, esta caída conduce a una diferencia de presión más baja en la válvula de entrada, que es desfavorable con respecto a la carga; Figura 15 (Basshuysen R. v., 2009).



Figura 15 Diferencia de presión en la válvula de entrada para la inyección de colector de admisión y la inyección directa.

Fuente: (Basshuysen, 2009)

El volumen de combustible líquido inyectado es sustancialmente más pequeño (aproximadamente un factor 700) que el volumen de combustible gaseoso. Basándose en estas consideraciones, se puede suponer que para la inyección directa en la carrera de admisión, en comparación con la inyección al múltiple de admisión, tiene un aumento de carga y por lo tanto un aumento de potencia del 5 a 8% es realista, en función de las condiciones de contorno que prevalecen (condiciones de flujo, parámetros de inyección). Esto corresponde a las mejoras (comportamiento de vibración, relación de compresión) estimados teóricamente en diferentes estudios (Basshuysen R. v., 2009).

La figura 16 muestra la cámara de combustión con los arreglos de la válvula de inyección, la bujía y las válvulas de admisión y escape.

Cada cilindro tiene dos válvulas de admisión separadas, cuando uno de los puertos está cerrado, con mezcla de aire/combustible se genera un remolino en la cámara de combustión. Esto conduce a una combustión extremadamente eficiente. De esta manera, las tasas de recirculación de gases de escape son altas y con esto se puede lograr un resultado de un menor consumo de combustible durante la operación de carga parcial (Schnittger, W., Koenigstein, Pritze, Poepperl, & Samstag, 2003).

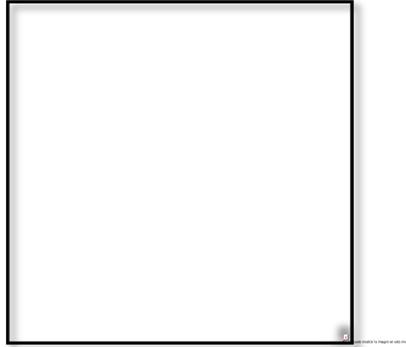


Figura 16 Posición de la boquilla de inyección y la bujía con el sistema de válvula en el orificio de admisión del motor ECOTEC 2.2 DIRECT Opel.

Fuente: (Schnittger, W., Koenigstein, Pritze, Poepperl, & Samstag, 2003)

La relación de compresión más alta (12: 1 en comparación con 10: 1 en el motor 2.2 ECOTEC) también tiene un efecto positivo, lo que resulta en un mejor desarrollo de la energía.

El consumo de combustible se encuentra alrededor de 6% por debajo de la del motor de inyección en el múltiple de admisión figura 17, en comparación a una tasa de recirculación de gases de escape superior a través de la inyección directa. Al mismo tiempo, el motor con inyección directa ofrece hasta un 10% más de par motor a velocidades de motor bajas (máximo: 220 N.m a 3800 rpm) y 6% más de potencia (Voss, et al., 2003).

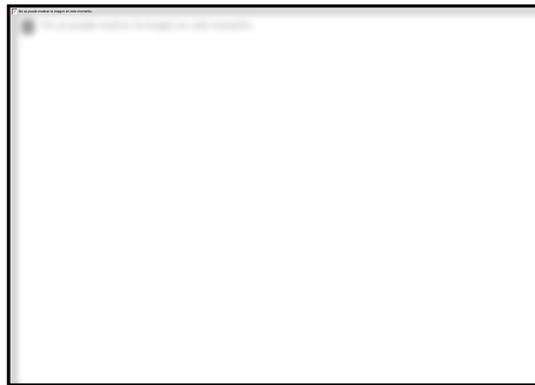


Figura 17 Influencia de la tasa de recirculación de gases de escape en el consumo específico en un motor de gasolina con inyección directa y de inyección en el colector de admisión.

Fuente: (Voss, et al., 2003)

La intensidad de movimiento del motor TFSI en comparación con la intensidad del motor FSI sin turbo alimentación se ilustra en la figura 18. Al

igual que en el motor VW FSI, las válvulas trabajan a la mitad inferior de los orificios de entrada hasta una velocidad del motor de aproximadamente 3000 rpm, por el cual se consigue el movimiento de carga y por lo tanto de alta velocidad de combustión incluso en la gama de baja velocidad del motor (Krebs, et al., 2004).



Figura 18 Intensidad del movimiento inestable del motor TFSI en comparación con el motor FSI.

Fuente: (Krebs, et al., 2004)

2.10 Inyección directa con mezcla estratificada.

Como se describe en los fundamentos de la formación de la mezcla, la operación de carga parcial de un motor de gasolina con inyección directa con mezcla estratificada es una forma útil de mejorar la eficiencia del proceso. Aquí, se inyecta el combustible durante o sólo hacia el final de la fase de compresión. Esto hace que sea posible para asegurar la estratificación de la carga en la cámara de combustión. Una mezcla inflamable requiere de la bujía en el punto de ignición (Basshuysen R. v., 2009).

Una mezcla rica relativa está presente alrededor de la bujía ($\lambda = 1$) y una mezcla muy pobre se puede encontrar en el área de la pared de la cámara de combustión. Relaciones aire / combustible escalonados, en el intervalo de 3 a 5 son generados para una carga estratificada ideal en el ensayo pertinente de carga.

Si una relación aire / combustible realista $\lambda = 4$ se supone para un punto de carga parcial típica, da ventajas de eficiencia significativas que se pueden ver, en comparación con el funcionamiento con relación estequiométrica aire / combustible y control del acelerador. Estas ventajas

se pueden ilustrar por medio de un modelo ideal de ciclo para el motor de gasolina (ciclo de volumen constante); figura 19. Las curvas características que se muestran es el resultado a partir de las condiciones de estado en el motor con inyección PFI ($\lambda = 1$) para el funcionamiento estrangulado en la carga parcial (Basshuysen R. v., 2009).

Una comparación de las cantidades de calor en el diagrama T-s muestra claramente que la pérdida de calor durante la inyección del colector de admisión es significativamente más alta que durante la inyección directa para la misma cantidad de calor suministrado (variables de las zonas rayadas en el diagrama T-s). Esto demuestra que, debido a la capacidad para conseguir mezclas más magras, la eficiencia teórica de la inyección directa debe ser significativamente mayor que la de inyección al colector de admisión.

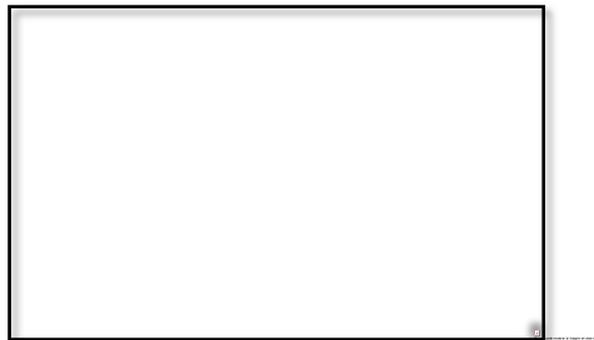


Figura 19 Incremento de la eficiencia a través de la inyección directa (ciclo de volumen constante).

Fuente: (Basshuysen, 2009)

Las pérdidas de intercambio de gases se pueden reducir considerablemente en el proceso de admisión, idealmente sin estrangulación. La figura 20 muestra claramente la disminución del bucle de intercambio de gases en el diagrama p-V en una comparación entre un motor de gasolina convencional y un motor de gasolina con inyección directa (Lueckert, Rau, Schaupp, Vent, & Waltner, 2004.).



Figura 20 Comparación de la combustión en el proceso real del motor, entre la formación de mezcla interna y externa

Fuente: (Lueckert, Frey, Kemmler, Schaupp, Vent, & Waltner, 2005)

Hay varios métodos de inserción de combustible, y la formación de la mezcla relacionados para implementar el modo de carga estratificada en un motor de gasolina con inyección directa. Al examinar los diferentes conceptos, tres tipos de procesos de formación de mezcla emergen, que difieren en sus características con respecto a cómo el combustible es guiado desde la boquilla de inyección a la bujía, figura 21 (Xander, 2006).

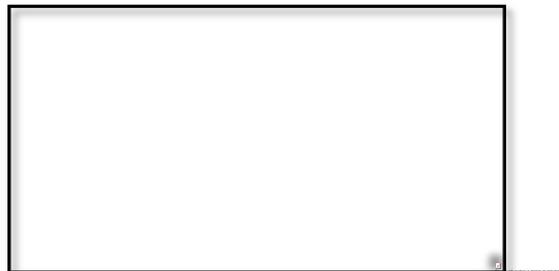


Figura 21 Clasificación de la combustión para motores de gasolina con inyección directa.

Fuente: (Xander, 2006)

2.10.1 Proceso de combustión pared guiada (Wall-guided).

La mayoría de los motores de carga estratificada de la primera generación en el mercado se basan en el proceso de combustión pared guiada, que cuenta con una distancia relativamente grande entre la bujía y la válvula de inyección. El proceso de formación de la mezcla y el transporte de la mezcla a la bujía se llevan a cabo a través de una interacción entre el fluido inyectado y la pared de cámara de combustión. La pulverización de combustible por lo general se guía hacia la bujía, con el apoyo de un flujo de

remolino o caída; y diseñando específicamente la superficie del pistón. A medida que el fluido se inyecta este es guiado directamente al pistón en este proceso de combustión, hay un aumento de la acumulación de combustible y aumento de las emisiones de hidrocarburos no quemados (Pischinger, Grassing, Taucar, & Sams) .

Además, la sincronización de la inyección está directamente relacionada con el movimiento del pistón y por lo tanto a la velocidad del motor. El transporte de la nube de mezcla a través de la distancia es relativamente largo desde la válvula de inyección a la bujía, requiere el movimiento de carga específica estable a cada velocidad del motor y la determinación precisa de los puntos de inyección y de encendido para estabilizar el vapor de combustible. La figura 22 muestra el mapa de operación y el comportamiento de control de un motor de gasolina con inyección directa y un proceso de combustión en la pared guiada. El rango del mapa en el que un modo de funcionamiento estratificado estable sea posible se limita a cargas bajas y bajas velocidades del motor por las características de la formación de mezcla de las válvulas de inyección utilizados y la dependencia de la inyección en el movimiento del pistón (Xander, 2006).

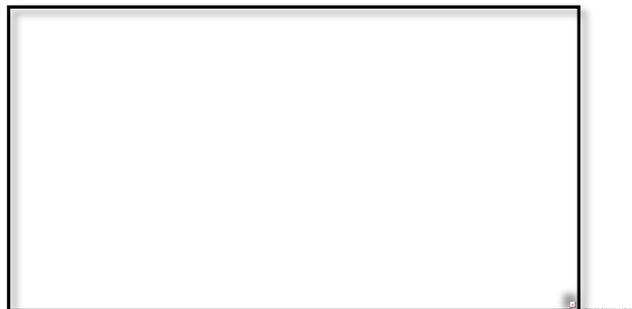


Figura 22 Mapa de modos de funcionamiento (izquierda) y el comportamiento de control a 2000 rpm (derecha) de un motor de gasolina con inyección directa y el proceso de combustión de la pared-aire guiados.

Fuente: (Stiebels, Schweizer, Ebus, & Pott, 2003)

El proceso del Mitsubishi GDI (inyección directa de gasolina), figura 23, el proceso de HPI (alta presión de inyección directa) por Citroën PSA Peugeot y los procesos FSI (inyección de combustible estratificado) por Volkswagen son ejemplos de los procesos de combustión de pared guiada actualmente disponibles en el mercado. La cámara de combustión del motor

Mitsubishi GDI, que fue presentado en el Salón Internacional del Automóvil en Frankfurt en 1995, ha sido diseñada como una cámara de combustión en forma de tejado con cuatro válvulas (Mitsubishi Motors: Mitsubishi Benzinmotor mit Direkteinspritzung., 1995).



Figura 23 Diagrama esquemático Mitsubishi GDI.

Fuente: (Mitsubishi Motors: Mitsubishi Benzinmotor mit Direkteinspritzung., 1995)

Los componentes relevantes para el proceso de combustión VW FSI se ilustran en la figura 24. Incluye un pistón que tiene un "receso de combustible" en el lado de admisión y un "receso de flujo" en el lado de escape (no visible en la vista en sección transversal) (Stiebels, Schweizer, Ebus, & Pott, 2003).

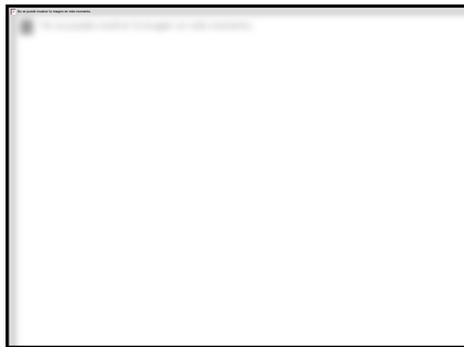


Figura 24 Diagrama esquemático del VW FSI proceso de combustión y ahorro del combustible a $n=2000$ rpm y $p=2$ bar.

Fuente: Volkswagen

El puerto de entrada es un puerto de carga con características de tambor en su geometría base y se divide en una parte superior y una mitad inferior por una placa; figura 25 (Bosch, 2005) .



Figura 25 Movimiento de carga controlable en el colector de admisión 1. Aleta ,2. Colector de admisión, 3. La válvula de mariposa, 4. La válvula de entrada

Fuente: (Basshuysen, 2009)

2.10.2 Procesos de combustión de aire guiado (Air-guided).

En los procesos de aire guiado, el combustible es transportado a la bujía únicamente por el movimiento de carga generada en el lado de admisión, el aire se mezcla simultáneamente con la pulverización. El movimiento de carga también es apoyado por un pistón en forma específica. En contraste con los procesos de combustión de pared guiada, el contacto entre el combustible y las paredes de la cámara de combustión debe ser evitado. Por lo tanto, no es lo ideal que no haya acumulación de combustible en la pared de la cámara de combustión. Una mezcla completa de combustible y aire de admisión está destinada en paralelo con el transporte de carga. La implementación exitosa de este proceso depende de la alineación de la pulverización de inyección y la generación de un movimiento dirigido de carga que se mantendrá así en la fase de compresión. El flujo de remolino o caída requerido conduce a pérdidas de eficiencia volumétrica y por lo tanto a desventajas en el rendimiento. Actualmente, sólo un proceso puramente de aire guiado es el uso de corrientes de aire disponible para la orientación de la mezcla y, por tanto, se clasifican como una mezcla de procesos, como procesos de pared / aire guiada (Buechling, 2002).

El desarrollado de un proceso de aire guiado demostrado suele ser especialmente difícil, ya que tanto los problemas del proceso de pulverización guiada y los del proceso de la pared de guiado deben ser resueltos al mismo tiempo. La figura 26 muestra el motor de Audi 2.0 FSI, que, debido a su tendencia, se puede clasificar como un proceso de aire guiado, con una aleta de carga abierta en el modo de funcionamiento

homogéneo y aleta de carga cerrada en el modo estratificado. Los rangos que operan en el mapa se ilustran en la figura 27 (Grigo, Klein, Lietz, Kunkel, Dornhoefer, & Erdmann, 2002).



Figura 26 Modos de operación del Audi 2.01 FSI: Izquierda Modo de operación Homogénea; Derecha Modo de carga estratificada.

Fuente: Audi AG.



Figura 27 Rangos de operación en el mapa y el consumo potencial del Audi 2,01 FSI motor.

Fuente: Audi AG.

La figura 28 muestra una comparación de la liberación de calor acumulado para el motor Audi FSI y el motor con inyección al colector de admisión. Lo que se puede ver claramente para el motor FSI es el centro bastante avanzado y por lo tanto termodinámicamente desfavorable de la combustión (conversión 50%) a 5 CA (ángulo del cigüeñal) antes del punto muerto superior.

El centro de combustión del motor FSI puede ser desplazado hacia el centro muerto superior (aproximadamente 0 CA) por medio de recirculación de gases de escape (Basshuysen R. v., 2009).



Figura 28 Comparativa de la liberación de calor acumulado: Audi con inyección al múltiple de admisión y Audi FSI con y sin EGR.

Fuente: (Basshuysen, 2009)

2.10.3 Procesos de combustión por pulverización guiada

Los procesos de combustión de pulverización guiada se caracterizan por distancias más pequeñas entre la bujía y la válvula de inyección. La estrecha disposición de la bujía y el inyector entre la entrada y la válvula de escape representa un gran desafío (Herden & Vogel, 2002).

Al mismo tiempo, los expertos coinciden en que sólo los procesos de pulverización guiada pueden explotar el potencial de la modalidad de funcionamiento estratificado. Por esta razón, estos procesos también se conocen como "inyección directa de la segunda generación", aunque este principio ha sido perseguido en la investigación de la gasolina de inyección directa durante más de 30 años. En los procesos de combustión de pulverización guiada, el atomizado del combustible inyectado se mezcla con el aire circundante por efectos aerodinámicos. Los gradientes de estratificación son por lo tanto muy alta, existe una mezcla muy rica en el núcleo de pulverización y el exceso de aire aumenta significativamente hacia la periferia de pulverización. Entre estas zonas, hay una zona con la mezcla inflamable. De acuerdo con el principio de la inyección directa en motores de gasolina, la bujía debe ser dispuesta de tal manera que una mezcla inflamable esté disponible en las proximidades del electrodo de encendido en el punto de encendido en todos los puntos de funcionamiento. El proceso depende en gran medida de la característica de pulverización de la válvula

de inyección y reacciona de forma muy sensible a las interferencias o fluctuaciones en este sentido (Spicher, Heidenreich, & A, Stand der Technik strahlgefuehrter Verbrennungssysteme., 2004).

2.11 Ventajas y desventajas de la ubicación del inyector y la bujía

Tabla 3.
Ventajas y desventajas de la disposición del inyector y la bujía

Disposición transversal	Disposición distante	Disposición longitudinal
+ Buena refrigeración del inyector	+ Buena refrigeración del conector de bujía.	+ Buen desarrollo con respecto a la carga térmica de la bujía y el inyector
+ Disposición simple	+ Construcción simple	+ Ninguna influencia en la construcción de la lumbrera de entrada
- Refrigeración por agua longitudinal difícil	- Refrigeración por agua longitudinal difícil	+ Buena refrigeración tanto en longitudinal como in transversal.
- Entrada restringida o lumbrera de escape	- Entrada restringida o lumbrera de escape	- Disposición difíciles (riel de combustible, bobinas de ignición)
- Alta carga térmica de la bujía	- Alta carga térmica en el inyector (rápida formación de depósitos)	

Fuente: (Basshuysen, 2009)

La figura 29 muestra una comparación entre la inyección al múltiple de admisión y pulverización guiada de inyección directa de gasolina en el modo de carga estratificada en un punto de funcionamiento con la velocidad del motor $n = 2.000$ rpm y un "imep" presión media efectiva inducida = 3 bar. Para la inyección directa, el consumo de combustible y la emisión de NOx son mejores en aproximadamente un 23% o aproximadamente 40% que en el caso de inyección múltiple de admisión. Las emisiones de hidrocarburos, en contraste, son hasta 65% más altos que los valores para el motor con inyección de colector de admisión (Kraemer, 1998).



Figura 29 Comparación entre procesos con GDI y MPFI.

Fuente: (Kraemer, 1998)

La figura 30 muestra las curvas correspondientes a la presión en los cilindros obtenidos por la indexación, en un diagrama P-V y las conversiones de energía resultantes (de liberación de calor acumulado). Debido a la masa de aire superior (funcionamiento sin estrangulación), el motor de gasolina con inyección directa alcanzado picos de presión significativamente más altos en comparación con la de inyección al múltiple de admisión (Kraemer, 1998).



Figura 30 Comparativa de inyección al múltiple de admisión y la inyección directa, con respecto al comportamiento de carga parcial.

Fuente: (Kraemer, 1998)

2.13 Comparación entre la inyección directa de gasolina (GDI homogénea) y estratificado GDI.

“Una comparación de la presión del cilindro para los modos homogéneos y estratificados de un sistema de combustión de pulverización guiada y el resultado de un análisis de frecuencia a corto plazo (wavelet) se

muestra en la Figura 31” (Stoffels, Combustion noise investigation on a turbocharged spray guided gasoline direct injection I4-engine.SAE Conference, 2005).



Figura 31 Nivel de combustión para $n = 2.000$ rpm, $P_{me} = 2$ bares combustión estratificada con sobrealimentación en comparación con la combustión homogénea (mitad derecha: análisis wavelet de la excitación combustión).

Fuente: (Basshuysen, 2009)

El análisis muestra que el aumento de la presión máxima del cilindro y gradiente de presión puede ocurrir durante el funcionamiento en modo estratificado cargado. Esto resulta en un aumento en el nivel de excitación de la combustión, especialmente en el rango de frecuencia de 3 a 5 kHz. Esto se puede ver a partir del análisis de frecuencia a corto plazo de la presión del cilindro en la mitad derecha de la figura 31 (Stoffels, Combustion noise investigation on a turbocharged spray guided gasoline direct injection I4-engine.SAE Conference, 2005).

Sin embargo, una proyección de este comportamiento en los demás puntos de la velocidad del motor y puntos de carga en el rango del mapa del motor con el modo estratificado no puede ser linealmente relacionada con el comportamiento acústico. Teniendo en cuenta la influencia de la combustión estratificada sobre el ruido emitido; no se observa ningún cambio significativo en los rangos de velocidad y carga del motor más altas, como se muestra en la figura 32 (Basshuysen R. v., 2009).

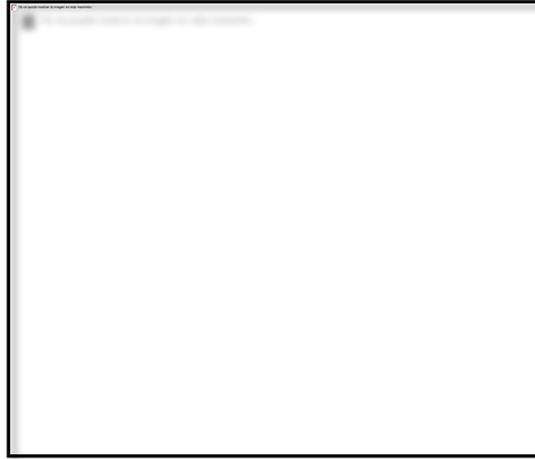


Figura 32 Aumento en el nivel de ruido emitido durante el modo estratificado de puntos de operación de carga de la parte seleccionada.

Fuente: (Basshuysen R. v., 2009)

A velocidades del motor con cargas bajas, el cambio en la acústica del motor es más claro debido a los aumentos de la eficiencia del aire, lo que a su vez resulta en un mayor pico de presión y el gradiente de presión (Stoffels, Combustion noise investigation on a turbocharged spray guided gasoline direct injection I4-engine.SAE Conference, 2005).

“Una consecuencia adicional del modo estratificado es el aumento de vibraciones de torsión asociados con ella, como se muestra en la figura 33” (Stoffels, Untersuchungen zur Verminderung von Torsionsschwingungen in PKW Antriebsträngen, VDI-Berichte 1493, 2001). Puede requerir contramedidas para el motor afectado, tales como amortiguadores especiales para el accionamiento auxiliar, o medidas acústicas, tales como la aplicación de doble masa del volante en el lado del sistema de propulsión (Stoffels, Combustion noise investigation on a turbocharged spray guided gasoline direct injection I4-engine.SAE Conference, 2005).



Figura 33 Efecto de la combustión estratificada en el movimiento de vibración rotacional ($n = 2.000$ rpm, $P_{me} = 2,6$ bar)

Fuente: (Basshuysen R. v., 2009)

2.14 Ruido Mecánico

En inyección directa de gasolina, el pistón y a veces el engranaje de la válvula se modifican.

El pistón puede ser una posible fuente de ruido no deseado, especialmente en el caso de los procesos de la pared guiada y aire guiado. Esto es debido a las cabezas de pistón que en su mayoría son diseñadas asimétricamente, que son necesarios para tal control de la combustión, especialmente durante el funcionamiento de aire guiado. La masa del pistón resultante conduce a un aumento en las fuerzas de inercia y por lo tanto a un aumento en el montaje del motor ocasionando vibración, tal como se representa en la figura 34 (Menne & bRINKMANN, 2005).

La operación de carga estratificada puede requerir un diseño asimétrico en la cabeza del pistón, que da lugar a componentes de desviación más altos en el tensor de inercia del pistón. Si hay movimientos secundarios de los pistones, esto puede conducir a un comportamiento de inflexión alterado, que a su vez da como resultado fuerzas de contacto más altas con el cilindro, que finalmente se traduce en un mayor nivel de ruido



Figura 34 Efectos del peso del pistón en la aceleración del rodamiento del motor vertical y el nivel de ruido interno del vehículo de la segunda serie del motor.

Fuente: (Bosch R. , 2005)

2.15 Sistemas de inyección y resumen de los sistemas.

Con el fin de aprovechar el potencial máximo de GDI (inyección directa de gasolina) y evitar el uso de combustible obtenido de esta manera debido a un mayor consumo de energía de los equipos auxiliares, cada uno de los componentes individuales debe optimizarse, teniendo en cuenta el aumento de la demanda. El mayor contribuyente individual a estas medidas es reducir al mínimo la potencia absorbida por la bomba para la generación de alta presión mediante la regulación de la cantidad de combustible y la reducción de la fricción. Adicionalmente, los componentes de inyección que interactúan con las condiciones ambientales del motor están sintonizados entre sí de modo que para todas las posibles condiciones de funcionamiento, es posible lograr una formación de la mezcla adaptada a los requisitos de rendimiento, menor consumo y las emisiones más bajas posibles (Basshuysen, 2009).



Figura 35 Parámetros y su interacción para la formación de la mezcla.

Fuente: (Basshuysen, 2009)

El alto grado del parámetro de correlación hace que la adaptación del sistema de inyección para todo el rango de operación sea costoso e impide el desarrollo de un concepto de inyección que da cuenta de las variadas circunstancias en diferentes puntos de operación y para las demandas relacionadas con el consumo de combustible, las emisiones de contaminantes, costos y el confort de conducción.

A fin de lograr una buena atomización del combustible inyectado, como se requiere por todos los procesos de combustión con inyección directa de gasolina, los siguientes métodos de inyectar el combustible directamente en la cámara de combustión son los dos métodos principales usados en la industria del automóvil:

- Baja presión de aire asistido de inyección directa
- De alta presión de inyección directa con riel común

La Inyección directa de baja presión se desarrolló rápidamente por Orbital hacia el final de la década de 1980 y el comienzo de la década de 1990. El objetivo principal era entonces para inyectar el vapor más denso posible de aire / combustible con gotitas muy pequeñas de combustible en la cámara de combustión a una presión de inyección relativamente baja. Cuando se estaba desarrollando esta tecnología de inyección, no había sistemas adecuados de inyección de alta presión de combustible disponible que cumplía con los requisitos impuestos por el funcionamiento dinámico del motor en la formación de la mezcla durante la inyección directa en los motores de gasolina.

No fue sino hasta mediados de la década de 1990 que la inyección de alta presión Common Rail se ha desarrollado para los motores diesel. Desde el encendido, esta tecnología de inyección también fue desarrollada para motores de gasolina de inyección directa y se puso en práctica por primera vez en el Mitsubishi GDI, que fue lanzado en el mercado japonés en 1995 y el mercado europeo en 1997 (Basshuysen, 2009).

2.16 Baja presión de aire asistido de inyección directa.

Inyección directa de baja presión de aire asistida, a menudo referido como bajo la presión de inyección de mezcla, dispone de mezcla parcial de aire y de combustible antes de ser inyectado en la cámara de combustión. La configuración básica de un sistema de inyección directa de baja presión de este tipo, con la generación externa de la presión de aire de acuerdo con el sistema OCP/Siemens (proceso de combustión Orbital). En este caso, el combustible se inyecta a una presión de hasta 8 bares en las válvulas de inyección, que está lleno de aire comprimido (hasta 5 bares).

En la inyección directa de alta presión, la desintegración de pulverización de combustible en pequeñas gotitas y su posterior vaporización se producen debido a la turbulencia y la inercia en la pulverización de combustible. La profundidad de penetración es correspondientemente grande. La formación y la vaporización de las gotitas se producen en la inyección asistida por aire si hay un flujo de aire sobre el combustible líquido y el esfuerzo de tracción en la superficie del combustible es mayor que la tensión superficial. En el caso de la inyección en la válvula OCP las gotas de combustible se desintegran cuando son aceleradas por el aire expandido que se escapa fuera de la boquilla. Gran parte de la desintegración de combustible y la vaporización se produce dentro de la cámara de aire en la válvula de inyección. Por lo tanto, la mezcla de aire / combustible ya vaporizado se inyecta en la cámara de combustión, barrido de este modo la cámara de aire con el aire comprimido que se alimenta en él, al inyectar el combustible que aún no se ha vaporizado en la cámara de aire junto con el aire comprimido. El aire se comprime a 5 bares utilizando el compresor de aire de accionamiento externo. Sin embargo, también es posible suministrar el aire comprimido a través de la energía liberada durante la combustión [(Koingsted, Muller, Jablonski, Dirschnable, Uhrich, & Hatz, 2006)].



Figura 36 Representación del sistema de un sistema de inyección de aire asistida.

Fuente: (Stoffels, Combustion noise investigation on a turbocharged spray guided gasoline direct injection I4-engine.SAE Conference, 2005)

Sólo una pequeña cantidad de la inyección o pulverización de la nube inyectada de mezcla de aire y combustible penetra en la cámara de combustión debido a las pequeñas gotas de combustible formadas debido a la vaporización parcial. La mezcla está lista hasta el punto en que una parte puede ser inflamada. Cuanto más mezcla de aire y combustible exista la transferencia de carga y distribución de la mezcla en la cámara de combustión puede ser soportada además por remolino y / o secadora de flujo.

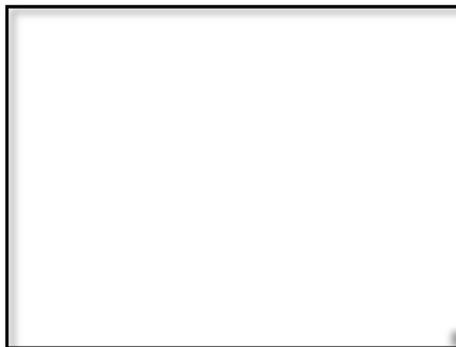


Figura 37 El tamaño de gota en función de la presión de inyección

Fuente: (Herden & Vogel, 2002)

Este proceso también reduce el tamaño de las gotas como los aumentos de la presión de inyección. Una alta tasa de recirculación de gases de escape (EGR) sólo se puede lograr a través de las gotitas muy pequeñas en la nube de mezcla inyectada. La nube de mezcla es normalmente inyectada con una boquilla de inyección de apertura hacia el exterior. Si tiene una sección transversal en forma de anillo en la apertura y cuenta con un amplio

cono de pulverización. Por lo tanto, principalmente la estratificación de carga favorable se puede lograr con una inyección temprana, es decir, con la presión baja en la cámara de combustión. Debido a la baja presión de inyección, el retraso de la inyección hacia el final de la carrera de compresión, es decir, en alta presión del cilindro, no es posible. Aunque la estratificación de carga favorable se puede lograr mediante la inyección de una mezcla temprana. Existe el riesgo de que el vapor se pierda antes del punto de encendido y por lo tanto no ser encendido debido al flujo de aire-cilindro interno. Esta es también la desventaja significativa de este proceso, ya que la carga estable de estratificación propicia para puntos de operación bajo carga rara vez se pueden generar. La pérdida de producción neta debido a la necesidad de generar aire comprimido es otra desventaja. Dado que este proceso es relativamente fácil de implementar, que fue probado por algunos fabricantes de automóviles a pesar de las desventajas antes mencionadas, durante este tiempo, sin embargo, la atención se centró en lograr un funcionamiento homogéneo con una relación estequiométrica de aire / combustible (Spicher & Weimar, Direkteinzpritzung im Ottomotor, 1997).



Figura 38 Patrón de roció de inyección directa asistida: cantidad de inyección = 69mm²

Fuente: (Herzog & Athenstaedt, 1996)

Hasta ahora, la inyección a baja presión de aire asistida ha sido probada en los motores de dos tiempos. Cada vez más pruebas y desarrollos se están llevando a cabo también para la aplicación del motor de cuatro tiempos. Un proceso de combustión por aspersion guiada en la que la válvula de inyección y la bujía se colocan estrechamente entre sí se implementa en la práctica total de las aplicaciones de este proceso en los motores de cuatro tiempos. Las pruebas han revelado que una mezcla pobre particularmente puede ser creada mediante la inyección de la mezcla. Esto y

la posibilidad de lograr altas tasas de EGR han afectado favorablemente el consumo de combustible y la emisión de contaminantes. El rendimiento con respecto a las emisiones de hidrocarburos es una de las principales ventajas de este proceso. Dado que el combustible líquido casi no tiene contacto con el frente de la llama, las emisiones de hollín también son bajas.

Los sistemas de inyección directa de baja presión de aire asistida son fabricados por la firma Austalian Orbital EngineCompany, entre otros. Por ejemplo, válvulas de inyección de este fabricante están en uso en un motor fuera de borda de dos tiempos Mercury Marine 200 HP V6 y otros motores de dos tiempos en vehículos de dos ruedas. (Altenschmidt, 2005)

2.17 Alta presión de inyección por riel común.

El sistema de inyección common rail fue desarrollado originalmente para los motores diésel, que se basa en la investigación llevada a cabo por IHE ETH Zurich de 1976 a 1992. El sistema de inyección common rail deriva su nombre de la línea de combustible o en el conducto común. Basado en la investigación por la ETH Zurich, un prototipo del "Sistema Unijet" fue desarrollado por Magneti Marelli, Centro Ricerche Fiat y Elasis a finales de la década de 1980. El desarrollo fue trasladado a Bosch para la producción industrial en serie mediante la cual ETH Zurich y Fiat hicieron trabajo pionero significativo y por lo tanto son reconocidos como fundadores del sistema Common Rail.

Fue solo en los últimos años que la tecnología de inyección common rail se implementó en los motores de gasolina. Mitsubishi presentó el primer coche de pasajeros de serie con inyección directa de gasolina estratificado, primero con el Carisma GDI en 1995 en Japón y luego en Europa en 1997 (Basshuysen, 2009).

Las condiciones para la buena aplicabilidad de un sistema de inyección en todo el mapa de un motor de gasolina con inyección directa son: el punto de inyección seleccionado al azar, múltiples inyecciones cuando sea necesario dentro de un ciclo de trabajo de un cilindro, una alta calidad de la atomización, una penetración de pulverización con profundidad adaptado

para el proceso de formación de la mezcla, y la presión variable del sistema, en particular en caso de la inyección de alta presión. El sistema common rail cumple mejor estos requisitos. El riel común se utiliza para almacenar y amortiguar el combustible a presión (presión del sistema) por la bomba de combustible de baja presión y la bomba de alta presión. A partir de este riel común, el combustible a alta presión se inyecta en los cilindros individuales a través de las válvulas de inyección con una presión de combustible adaptado a las condiciones de funcionamiento respectivas. A diferencia de algunos sistemas que son conocidos por la aplicación de diésel como bomba de inyección del riel y la tecnología de boquilla de la bomba de alta presión está constantemente disponible en el sistema common rail.

Por lo tanto el combustible se puede inyectar en cualquier momento mediante una válvula de inyección accionada eléctricamente. Los sistemas de inyección common rail son tecnología de última generación para motores de gasolina con inyección directa. (Waltner, Lueckert, & Schaupp, Piezo-Einspritzsystems fuerstrahlgefuehrte Brennverfahren, 2006).

Se compone de una bomba de alta presión de combustible, el riel común, un sensor de presión, una válvula de control de presión y una válvula de inyección para cada cilindro. El aumento de las presiones de inyección requiere refrigeración del combustible por medio de un radiador.

El sistema de combustible se compone principalmente de una baja presión y un circuito de alta presión. El circuito de baja presión en el lado del depósito, en el que se genera una baja presión de aproximadamente 4 bares, esta se compone de una bomba de combustible eléctrica y un controlador de presión mecánico y está conectado a la entrada de la bomba de alta presión. La bomba de combustible de alta presión genera la alta presión (un máximo de 200 bares) y las bombas de combustible en el circuito de alta presión (common rail) a la que se conectan las válvulas de inyección. En el circuito de alta presión, el circuito de control que comprende el sensor de presión y la válvula reguladora de presión, establece la presión en todo el mapa operativo independiente de la velocidad de la inyección y la bomba según las necesidades específicas de las condiciones de operación.



Figura 39 Ciclo de circuito de alta presión de un sistema de inyección directa de gasolina con common rail DaimlerChrysler

Fuente: Bosch, R., Ottomotor Management 3, Verlag, 2005.

El número de inyecciones (por ejemplo, inyección piloto, inyección múltiple y después de la inyección) son posibles, con la alta presión constantemente disponible en la válvula de inyección, el accionamiento eléctrico de las válvulas de inyección (independiente del ajuste del árbol de levas) y la presión de inyección ajustable.



Figura 40 Control general del motor con sistema de inyección

Fuente: (Bosch R. , 2005)

El patrón de inyección deseado también se puede lograr utilizando válvulas de inyección modernos piezoeléctricas. (Waltner, Lueckert, & Schaupp, Piezo-Einspritzsystems fuerstrahlgefuehrte Brennverfahren, 2006).

2.18 Bombas de combustible de alta presión.

La bomba de alta presión aumenta la presión del combustible procedente de la bomba de baja presión (aproximadamente 4 bares) en el circuito de baja presión a la alta presión que se requiere para inyección

(hasta 200 bares). La presión de suministro depende del punto de funcionamiento respectivo del motor. Para ello, el flujo de combustible suministrado debe tener las menores pulsaciones posibles de presión y caudal volumétrico para mantener la presión constante en el acumulador de combustible. El flujo de volumen suministrado debe ser independiente de la presión de suministro. Por lo tanto se utilizan bombas de pistón. Para alcanzar la potencia de accionamiento necesaria, la bomba de combustible de alta presión se maneja mediante el árbol de levas. Dado que se genera la alta presión solamente a velocidad máxima del motor, la inyección de combustible en los ciclos de trabajo iniciales de arranque se produce sólo en la presión del circuito de baja presión.

Principalmente, las fugas se producen entre pistones y cilindros de la bomba. Mezcla de aceite del motor y el combustible se deben evitar en ambas direcciones, de lo contrario, ya sea el aceite se vuelve delgado, no mediante la reducción de la lubricación, o el combustible está contaminado, aumentando así las emisiones de hidrocarburos. Por lo tanto, los pistones y cilindros de la bomba están sellados, a menudo también las partes de la unidad de pistón de la bomba están sellados contra el aceite de lubricación del cilindro y se lubrican con el combustible (lubricación medios de comunicación). Estos sistemas de deslizamiento de las bombas se someten a estrés tribológico debido a una lubricación de medios combinados con las compresiones de superficie en los sistemas de deslizamiento de la bomba que aumenta constantemente debido a las altas presiones de suministro, y las características de lubricación pobres de la gasolina, que se ve agravada por el azufre reducido contenido (Basshuysen, 2009).

Otros objetivos de desarrollo surgen de las demandas generales de la ingeniería automotriz. Por lo tanto, la bomba de combustible de alta presión debe ser adecuada para la aplicación en todo el mundo, es decir, también para un componente de etanol de 25% o más. Esto restringe aún más la selección de materiales (por ejemplo, el alcohol corrosión del aluminio). Requisitos de embalaje, tales como dimensiones compactas, evitando el uso de una fuga (retroalimentación) de línea al depósito sin el consiguiente

adelgazamiento del aceite del motor y los costos también juegan un papel importante aquí.



Figura 41 Diseños básicos de las bombas de combustible de alta presión: bomba de pistones axiales (izquierda); bomba de pistón radial (centro); bomba en línea (a la derecha).

Fuente (Bosch R. , 2005)

Son posibles los siguientes principales diseños para bomba de combustible de alta presión:

- Bomba de pistones axiales
- Bomba de pistones radiales
 - En el diseño de múltiple cilindro como una estrella o disposición en línea.
 - Con el anillo de desplazamiento o directamente en las levas
- Dentro de la línea de la bomba

Los diferentes diseños, con sus respectivas ventajas y desventajas, se exponen en el resumen a continuación. Los diseños más utilizados son la bomba de pistón radial y la bomba de pistones axiales, en la que en su mayoría los diseños de múltiples cilindros se eligen para reducir las pulsaciones en el flujo de suministro de combustible. Sin embargo, las bombas de un solo cilindro de inyección de gasolina de alta presión también están disponibles. Bombas de membrana también se utilizan en casos aislados.

El motor necesita una cantidad definida de combustible adecuado para el punto de funcionamiento. Dado que la bomba de alta presión se acopla directamente al árbol de levas, la cantidad de combustible requerida es proporcional a la velocidad del motor. La cantidad necesaria también

aumenta con la velocidad. La dependencia de la cantidad de combustible requerido en el estado de carga del motor interfiere con la velocidad (Bosch R. , 2005).

2.19 Diseños de bombas.

2.19.1 Bomba de Tres cilindros de pistones radiales.

La bomba de combustible que se muestra en la figura 42 es una bomba de pistón radial de tres cilindros separados por 120° , que cuenta con un suministro de combustible y, debido a esto, menos pulsaciones. Es impulsado por el árbol de levas del motor. El eje de accionamiento con un solo excéntrico y un anillo de desplazamiento generan la carrera de desplazamiento del pistón de la bomba. La válvula de admisión está integrada en el pistón hueco, con lo que el combustible fluye a través de la carcasa del anillo excéntrico. Los sistemas de deslizamiento del pistón / cilindro y el bloque de excéntrica se lubrican. La cantidad de alimentación depende proporcionalmente de la velocidad del motor. El combustible suministrado en exceso (por ejemplo, la operación de carga parcial) se descomprime al nivel de baja presión y se introduce en el lado de admisión (Basshuysen, 2009).

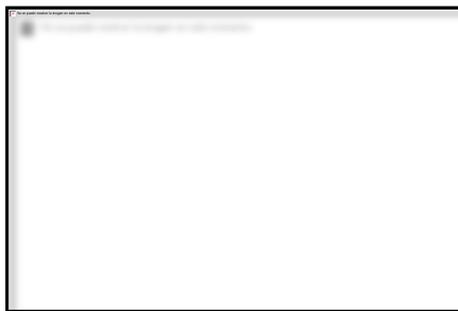


Figura 42 Bomba de tres pistones radiales.

Fuente: (Basshuysen, 2009)

2.19.2 Bomba de pistones radiales de un solo cilindro.

La bomba de pistones radiales de un solo cilindro. Se refiere como una bomba de conexión radial de accionamiento directo con el árbol de levas (lóbulos de leva adicional). El flujo se transfiere directamente a través de la cubeta-empujadora integrada en la culata. Una válvula de control de la

cantidad eléctricamente conmutable permite que el combustible pueda ser devuelto a la entrada. Ajusta la cantidad de suministro de combustible por lo que el motor reduce el consumo de energía de la bomba y con ello el consumo de combustible. Las pulsaciones de presión que resultan de las características de suministro de la bomba se reducen usando un amortiguador de presión. El pistón actuando como un separador entre el combustible y el área de aceite del motor, es el elemento funcional más importante y se descomprime mediante la conexión a la línea de fuga que va al tanque. Se lubrica utilizando los medios de comunicación; se da sólo en el sistema de deslizamiento del pistón y el cilindro y no entre el bloque excéntrico y deslizante como en el caso de la bomba de pistones radiales de tres cilindros. (Basshuysen, 2009)

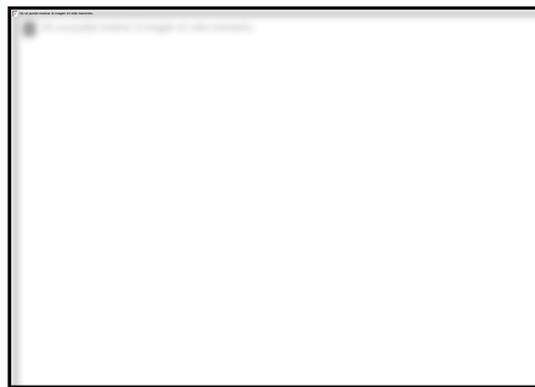


Figura 43 Bomba radial de un solo cilindro, Bosch HDP5

Fuente: (Bosch R. , 2005)

2.19.3 Tres cilindros bomba de pistones axiales.

La carrera de los tres pistones en esta bomba se genera utilizando una placa oscilante que se hace girar mediante el eje de potencia. Para conseguir una buena eficiencia, el suministro de combustible se controla mediante una válvula de tres vías integrada en el lado de entrada de la bomba. No hay necesidad de una línea de retorno desde el controlador de presión a la entrada de la bomba de alta presión, lo que simplifica el sistema. Esto reduce la temperatura del combustible a la entrada de la bomba de alta presión ya que la gasolina climatizada no fluye de vuelta. Entonces el pistón, el sistema de deslizamiento del cilindro, el plato oscilante y el bloque de deslizamiento están lubricados. (Basshuysen, 2009)



Figura 44 Bomba de pistones axiales

Fuente: (Altenschmidt, 2005)

2.20 Riel de Alta Presión.

La línea de combustible tubular común se conoce como el riel (tren de distribución de combustible). El common rail se utiliza para almacenar y amortiguar el combustible a alta presión y suministrarla a las válvulas de inyección del motor o una bancada de cilindros.

Cuanto mayor sea la capacidad de almacenamiento, mejores serán las propiedades de amortiguación. Sin embargo, la acumulación de presión se produce lentamente, así como el control de la presión (componente de retardo de tiempo). Esto significa que cuanto mayor sea la capacidad de almacenamiento, más lenta será la respuesta del sistema de inyección a los cambios dinámicos en las condiciones de funcionamiento del motor. Como medida de lo posible, las válvulas de inyección, el sensor de presión y, si es necesario, la válvula de control de presión está conectada directamente al almacenamiento de combustible o el riel de combustible.

El material del componente se somete a altas exigencias relacionadas con la resistencia y con una explosión debido a la alta frecuencia de las fluctuaciones de presión causadas en el riel común por la bomba y las válvulas de inyección, junto con la presión interna que prevalece constantemente. Los rieles anteriores estaban hechos de aluminio. Debido a los aditivos de etanol que pueden conducir a la corrosión y el aumento de las presiones, el aluminio fue reemplazado por el material a base de hierro, acero de alta aleación, o acero inoxidable.



Figura 45 Riel común con inyectores y sensor de presión del combustible.

Fuente: (Stoffels, Combustion noise investigation on a turbocharged spray guided gasoline direct injection I4-engine.SAE Conference, 2005)

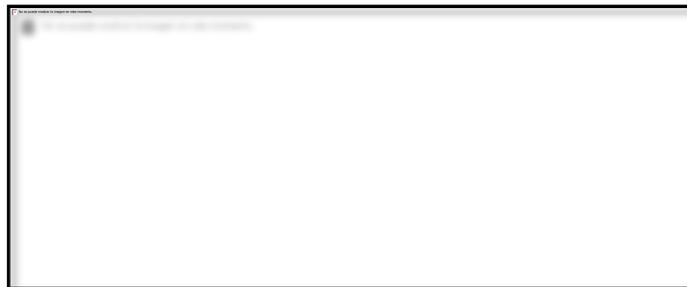


Figura 46 Presión media durante la inyección durante un ciclo de trabajo de un motor Mercedes 3.5 lts V6.

Fuente: (Waltner, Lueckert, & Schaupp, Piezo-Einspritzsystems fuerstrahlgefuehrte Brennverfahren, 2006)

2.21 Válvulas de inyección de alta presión y los inyectores

La válvula de inyección de alta presión tiene como propósito dosificar el combustible, la mezcla del aire y el combustible en la cámara de combustión mediante la atomización del combustible. Al hacerlo, las respectivas condiciones de funcionamiento tienen que ser tomadas en cuenta. La mezcla de aire / combustible en la operación homogénea debe ocurrir en toda la cámara de combustión, mientras que en el modo estratificado, en parte, la carga de la mezcla aire / combustible debe ocurrir de una manera bastante amplia en la zona de la cámara de combustión. A fin de efectuar la ignición de forma fiable, se debe asegurar que la mezcla de la nube de aire / combustible se posiciona en la cámara de combustión de una manera tal que está en contacto con la bujía o la chispa en el momento de la ignición. Las válvulas de inyección de altas presiones utilizadas son accionadas ya sea electromagnéticamente o por un material piezoeléctrico.

En las válvulas de inyección electromagnéticas la aguja de válvula se abre energizando la bobina. La aguja de la válvula está conectada directamente a la armadura y por lo tanto sigue el movimiento de la armadura. Cuando la corriente se hace pasar a través de la bobina, el campo magnético se retrae la aguja de válvula desde el asiento de la aguja. (Basshuysen, 2009)

Esto desbloquea el taladro de salida de la válvula, y el combustible fluye debido a la diferencia de presión en la cámara de combustión. Cuando la corriente no fluye a través de la bobina, la aguja se cierra de nuevo debido a la presión del resorte, y se interrumpe el flujo de combustible. La apertura y cierre se produce de forma rápida y en contra de la presión del riel disponible. Una sección transversal constante se abre durante la duración de apertura. La presión del riel, la cámara de combustión y la duración de apertura son determinadas por la cantidad de combustible. El combustible es atomizado como por la geometría de la boquilla y se inyecta en la cámara de combustión (Basshuysen, 2009).

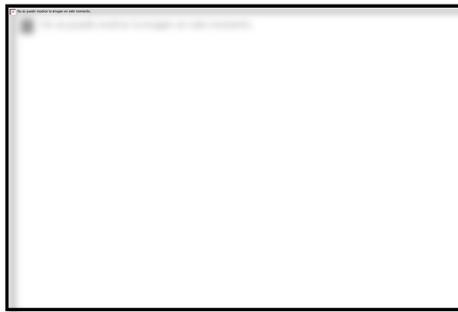


Figura 47 Válvula de inyección electromagnética, Bosch HDEV 5

Fuente: (Basshuysen, 2009)

Las válvulas de inyección piezoeléctricas se caracterizan por un tiempo de reacción extremadamente corto hasta cuatro veces más corto que en el caso de válvulas de inyección electromagnéticas. Además, las válvulas piezoeléctricas proporcionan los trazos de boquilla más corta y la dosificación precisa de combustible. Por aplicación en motores de gasolina con inyección directa se puede lograr una muy buena atomización en aerosol (Basshuysen, 2009).

Por lo tanto, en una válvula de inyección, varios elementos piezoeléctricos están conectados uno tras otro como elementos de cerámica de varias capas para formar lo que se conoce como la pila piezoeléctrica. La distancia de 80 μm se cubre en menos de una milésima de segundo. En este caso, la fuerza teórica con la que las boquillas de inyección de aguja se mueve es 6300 N. Dado que la cerámica no puede soportar cualquier esfuerzo de tracción, los elementos piezoeléctricos están precargados utilizando un resorte. Esto evita la formación de esfuerzo de tracción en el estado desplazado protegiendo así el actuador contra daños. El desplazamiento máximo que se puede lograr con un elemento piezoeléctrico depende de su longitud y la tensión que se aplica. Los actuadores piezoeléctricos utilizados en válvulas de inyección tienen un desplazamiento de la aguja de la válvula de 30 μm por un elemento cerámico de aproximadamente 40 mm de presión de combustible a 200 bar (Warnecke, Achleitner, & Baecker, Siemens VDO Piezo-Einspritzsystems fuer strahlgefuehrte , 2006).

Los tres grupos de funciones, boquillas de inyección, actuador piezoeléctrico y elemento de compensación (acoplador), se disponen linealmente. Puesto que la aguja de la tobera es operada directamente por la pila piezoeléctrica, la apertura y cierre se producen sin demora. El efecto de la temperatura sobre el comportamiento de desplazamiento del elemento piezoeléctrico plantea un problema. Para solucionar esto, se ha instalado un elemento que compensa las diferentes dilataciones térmicas de la pila en la carcasa de inyección y elemento piezoeléctrico. El elemento de compensación actúa como un compensador hidráulico que debe ser suficientemente rígido para no causar pérdida de desplazamiento en caso de tiempos de apertura más largos. Al utilizar el elemento de compensación se garantiza que el desplazamiento de la aguja y con ello el flujo a través de todo el rango de temperatura se mantenga constante durante el funcionamiento del motor. (Basshuysen, 2009).



Figura 48 Válvula de inyección piezoeléctrica, Bosch HDEV4.

Fuente: (Basshuysen R. v., 2009)

La válvula de inyección de Siemens llega al desplazamiento máximo después de aproximadamente 200 μ s; el tiempo de cierre también se basa en el desplazamiento máximo de aproximadamente 200 μ s. Además del desplazamiento completo, el desplazamiento parcial también se puede ajustar en el caso de actuadores piezoeléctricos. Alternativamente, el desplazamiento parcial se puede mantener durante un período de tiempo definido. Debido a los tiempos pequeños de inyección, la reproducibilidad es muy importante. En particular, cuando pequeñas cantidades de combustible inyectado están involucrados, los diferentes diseños de boquillas utilizadas son la boquilla de remolino, el tipo de boquilla multi-agujero con apertura hacia el interior con agujas de boquilla, y la boquilla que se abre hacia el exterior a través de la operación de la válvula de hongo (Warnecke, Achleitner, & Baecker, Siemens VDO Piezo-Einspritzsystems fuer strahlgefuehrte , 2006).

2.21.1 Boquilla de remolino

Boquillas de Remolino se abren hacia adentro, electromagnéticamente accionado las válvulas que tienen un generador de remolino para la atomización del combustible. El diseño y la funcionalidad son similares a las válvulas de inyección convencionales en la inyección al colector de admisión. Primero, el combustible fluye axialmente dentro de la boquilla y luego se desvía tangencialmente, por lo que crea un remolino.

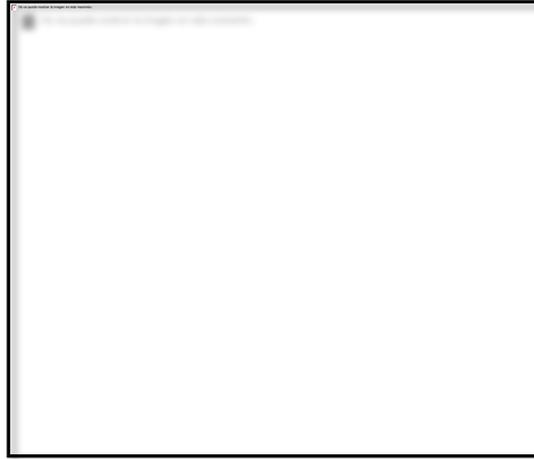


Figura 49 Generación del remolino por la boquilla.

Fuente: (Warnecke, Achleitner, & Baecker, Entwicklungsstand de Siemens VDO Piezo-Einspritzunsystems fuer strahlgefuehrte Brennverfahren. Internationales Wiener Motorensymposium., 2006)

El ángulo de turbulencia es una medida para el movimiento axial del combustible y el ángulo de inclinación de la inyección es una medida de la expansión de la pulverización de la inyección. El movimiento axial del combustible se somete a un movimiento tangencial. Esto reduce la energía cinética de las gotas de combustible en la dirección axial, y disminuye la profundidad de penetración. Un generador de remolino se incorpora en la boquilla de abajo del flujo. El número de Reynolds del remolino (SRN) se utiliza para designar el remolino de combustible. Este se define como:

$$SRN = U \frac{r}{\mu} \text{ Ecuación 1 Número de Reynolds.}$$

Dónde:

U = Velocidad tangencial del movimiento de remolino [m / s]

r = Remolino radio [m]

μ = Viscosidad [m / s²]

Cuando la SRN es idéntica, los diferentes modelos muestran características de pulverización similares. El diseño en la que el torbellino de combustible se genera a través de orificios laterales generalmente se obtiene un corte tangencial, por razones relacionadas con la fabricación.



Figura 50 Diferentes tipos de boquillas y formas de spray

Fuente: (Xander, 2006)

En el modelo de Bosch, como se ve en la figura 50, la abertura de pulverización es oblicua y no perpendicular. A través de este, el combustible es pulverizado oblicuo al eje de la válvula de inyección. Los ángulos de hasta 25 ° del eje se analizan mediante la alineación de la abertura de inyección. Esto puede ser ventajoso para la pared guiada y los procesos de formación de la mezcla de aire-guiada, así como para la formación de mezcla homogénea.

Un cono hueco es claramente visible. El remolino de aire que entra en el ahusamiento desde arriba desvía las pequeñas gotas en el cono y luego fuera de él. Las gotas grandes inicialmente no se desvían. La pared del es cono robusta, sin embargo, la inyección continua cambia el cono hueco en una estructura cada vez más cilíndrica. Al final de la inyección, la estructura cilíndrica está casi completamente llena de combustible (Basshuysen, 2009).

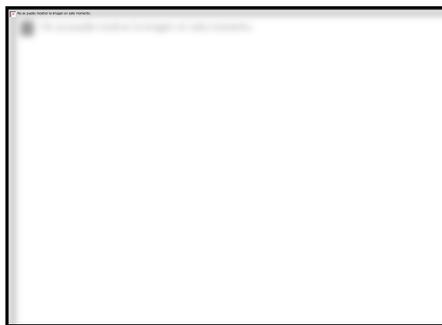


Figura 51 Generación remolino en Bosch HDEV (arriba) y Siemens Deka

Fuente: (Basshuysen, 2009)



Figura 52 Proceso de inyección en una boquilla de remolino.

Fuente: (Herzog & Athenstaedt, 1996)

Durante este proceso, la presión de combustible (presión de inyección) y el ángulo de conicidad de pulverización tienen un efecto considerable en el diámetro de las gotitas y su profundidad de penetración. El tamaño de la gota aumenta con la disminución de la presión de inyección. Al mismo tiempo, la profundidad de penetración disminuye con la disminución de la presión de combustible.

Todas las pruebas relacionadas con la preparación de la pulverización para inyección de alta presión muestran que hay un gran número de parámetros que influyen en la pulverización de inyección y la formación de la mezcla. Para un proceso de combustión precisamente sintonizado con inyección directa, también es importante ajustar la válvula de inyección y la presión de inyección para el motor de manera precisa, también en función de las características de funcionamiento deseadas (Basshuysen, 2009).

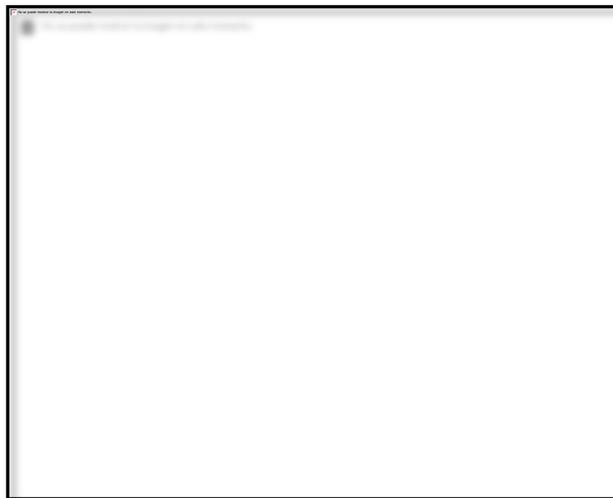


Figura 53 Tamaño de gota y la profundidad de penetración en función de la presión de inyección.

Fuente: (Ortmann, Wuerfel, Grzeszik, Raimman, Samenfink, & Schlerfer, 2001)

2.21.2 Boquilla de múltiples orificios.

El diseño de válvulas multi-agujero es muy similar a la de las válvulas de inyección diésel convencionales. Patrones de pulverización altamente flexibles son posibles utilizando boquillas de orificios múltiples, ya que el número y configuración de los aerosoles de inyección en la cámara de combustión se pueden combinar con las exigencias del proceso de combustión. Así, por ejemplo, es posible bloquear las áreas en la cámara de combustión que son críticas para las emisiones, evitando de esta manera humedecer las válvulas de admisión abiertas durante la inyección. Por otra parte, una brecha de pulverización evita a la bujía quedar humedecida con combustible.

Como regla general, las variantes que han sido diseñados tienen entre 4 y 12 agujeros de inyección. También es posible inclinar los aerosoles de inyección en el eje de la válvula de inyección, lo que aumenta la flexibilidad de montaje. Dependiendo del diseño, siempre hay un volumen muerto entre el asiento de válvula y el orificio de inyección.

El combustible que permanece en este agujero de inyección después de cerrar la aguja de la válvula se vaporiza en la cámara de combustión. Residuos de combustible pueden causar la formación de depósitos de carbón sobre la boquilla que puede afectar la extensión del spray. La geometría del orificio de pulverización puede influir en la propagación de pulverización y la formación mezcla (Basshuysen, 2009).

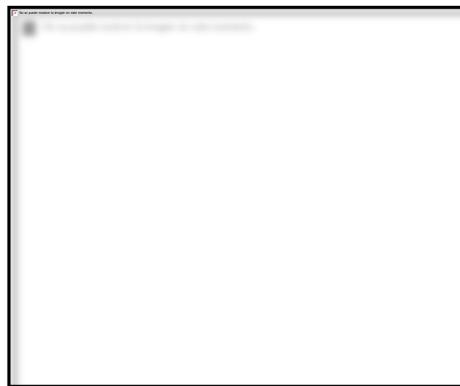


Figura 54 Diseño de una boquilla de múltiples orificios

Fuente: (Bosch, 2005)

1 Carrera superficie de tope agujero 2 Fijación, 3 Arca anular expuesta, 4 Doble guía de la aguja superficie, 5 Aguja eje, 6 Agujero de inyección, 7 Boquilla cúpula, 8 Cuerpo de la boquilla, 9 Boquilla arca anular cuerpo de la cámara, 10 Alojamiento de presión, 11 Orificio de entrada 12 Guía de aguja 13 Cuello del cuerpo de la boquilla 14 junta, FF. Fuerza del muelle, Fe Fuerza como resultado de la presión de combustible, en el área anular expuesta.

2.21.3 Apertura hacia el exterior de la boquilla.

La boquilla de apertura hacia el exterior crea un hueco en forma de anillo al abrir la aguja del inyector. Esta brecha permite que el combustible forme una película delgada y fluya hacia fuera a alta velocidad. Un cono hueco uniforme que cuenta con muy buenas propiedades de atomización y que no requieren fumigación piloto. Durante esto, el ángulo de pulverización se mantiene casi no afectado debido a la presión trasera de la cámara de combustión. El espesor de la cubierta cónica hueca en la salida de la tobera está determinado por la carrera de la válvula. El tamaño de las gotitas se puede reducir adicionalmente con el uso de un generador de turbulencia adicional en la boquilla.



Figura 55 Disposición de los agujeros en la válvula de múltiples orificios.

Fuente: (Xander, 2006)

Durante el funcionamiento del motor, la punta de la válvula es sometida a grandes variaciones de temperatura. El riesgo de depósitos de residuos y la carbonización es menor en el caso de boquillas de remolino y boquillas de

orificios múltiples, ya que el movimiento de la válvula tiene un efecto de limpieza.

La boquilla puede ser operada ya sea con una doble válvula electromagnética o con un actuador piezoeléctrico. En el accionamiento electromagnético, la placa de la armadura de la aguja de la válvula se coloca entre dos bobinas cuya distancia se define por el desplazamiento de la aguja (Basshuysen, 2009).



Figura 56 Apertura hacia el exterior de la boquilla con el funcionamiento electromagnético y generador de turbulencia (Delphi): flujo interno a) diseño esquemático, b) la operación de dos bobinas de la aguja de la válvula, c) calculo.

Fuente: (Voss, et al., 2003)

Con bobinas separadas para apertura y cierre, las características de apertura y cierre se pueden mejorar. El muelle de retorno es útil para mantener la válvula bien cerrado, para apoyar el proceso de cierre y para compensar la expansión térmica de los componentes.

En válvulas de inyección piezoeléctricas, los tiempos de conmutación de apertura y cierre son típicamente menos de 0,2 ms, lo que hace inyecciones múltiples fáciles de realizar. Otras ventajas son el accionamiento directo de la aguja de la válvula, de alta precisión y reproducibilidad de la carrera de la válvula de ciclo a ciclo. Las ventajas adicionales de la actuación piezoeléctrica son la buena preparación de la mezcla y la prevención de colocar inyecciones hacia el final de la inyección.

La cantidad de inyección se dosifica con muy alta precisión y en desviaciones de menos de 2%. Al mismo tiempo, el rango de funcionamiento dinámico es grande y un flujo superior es posible con actuadores

piezoeléctricos que con boquillas que se abren hacia el interior. La sección transversal de apertura y mezcla son de gran ayuda en el uso de la presión del combustible disponible casi sin pérdidas del acelerador.

La compensación de temperatura supone un reto importante, ya que la pila piezoeléctrica tiene una expansión claramente menos térmica que la carcasa de la válvula de inyección. Las diferentes expansiones que ocurren en la operación y que bien pueden estar en el orden de magnitud de la carrera de la válvula se compensan en el elemento hidráulico cerrado (acoplador). Excelente calidad de la preparación con un diámetro Sauter de menos de 15 μm , el gran rango lineal resultante de los tiempos de conmutación cortos y la alta protección contra la formación de depósitos de carbono hacen este tipo de válvula de inyección muy adecuado para su uso en el proceso de combustión estratificado por pulverización guiada, a pesar de los altos costos significativos.

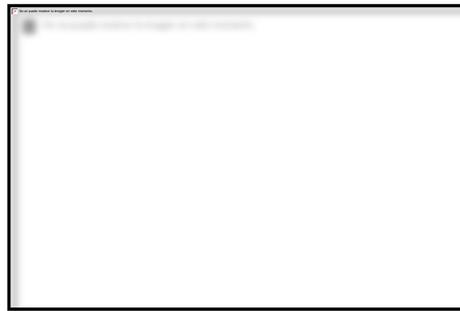


Figura 57 Válvula de inyección piezoeléctrica, Bosch HDEV4.

Fuente: (Basshuysen, 2009)

2.21.4 Diseño de comparación de la boquilla

La figura 58 muestra los tres tipos de boquillas de uso hoy en día. Como se ha mencionado, las boquillas se diferencian principalmente de acuerdo con el movimiento de apertura del elemento de cierre. La apertura hacia el exterior de la boquilla (A-boquilla) libera la sección transversal de la boquilla, mientras que la apertura de la boquilla genera el patrón de pulverización a través de la forma cónica. Este tipo de boquilla se puede también utilizar para la inyección a baja presión. La boquilla de múltiples orificios y la boquilla de remolino se abren hacia adentro (I-boquillas).

La boquilla de múltiples orificios ya es conocido por su uso en la tecnología de inyección diesel. La boquilla de remolino incluye un generador de remolino.

La figura 58 muestra sprays para las tres toberas de inyección en el mismo punto del tiempo después del inicio de la inyección. La presión de inyección durante cada medición fue de 120 bar (Ortmann, Wuerfel, Grzeszik, Raimman, Samenfink, & Schlerfer, 2001).

La boquilla de remolino cuenta con una excelente calidad de atomización y una alta flexibilidad de pulverización. También es relativamente resistente a la suciedad y el impacto mecánico y térmico. El gran número de estas toberas de inyección hace que sean relativamente baratos de fabricar. El número de pulverización de estas válvulas de inyección forma un cono hueco, con lo cual el ángulo de conicidad es altamente dependiente en la presión de la cámara de combustión.

El ángulo de pulverización es casi independiente de la presión de nuevo, la figura 58 muestra su forma, sin embargo, la preparación no es de alta calidad como con la boquilla de remolino. Esto es debido a la contracción de pulverización es demasiado baja y limitante de la pulverización de lubricante severa. En el uso de accionamiento piezoeléctrico, es posible efectuar múltiples inyecciones a intervalos de ultra corto tiempo con este tipo de inyector. Por otra parte, este tipo de accionamiento se denomina accionamiento de imán convencional (Achleitner, Berger, Frenzel, Klepatsch, & Warnecke, 2004).

La bujía de encendido para un proceso de combustión por pulverización guiada con este tipo de inyector se puede colocar en la zona de recirculación, así como en la superficie de la pulverización de combustible. El A-boquilla es una variante favorable para un proceso de pulverización guiada a presiones significativamente altas de inyección en el rango de 200 bares y, posiblemente más en el futuro.

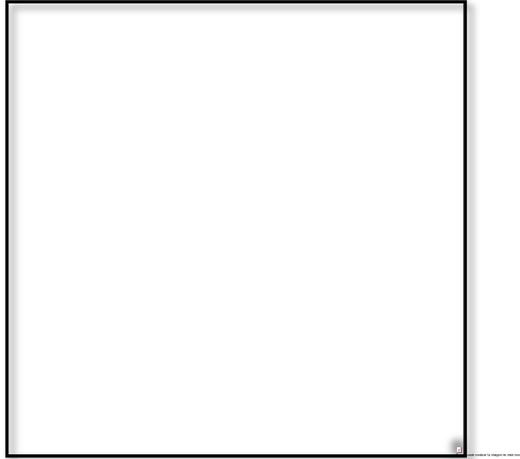


Figura 58 Comparativa de boquillas de inyección: Boquilla de múltiples orificios (izquierda), la apertura hacia el exterior de la boquilla (centro), la boquilla de turbulencia (derecha).

Fuente: (Ortmann, Wuerfel, Grzeszik, Raimman, Samenfink, & Schlerfer, 2001)

2.22 Estrategias de inyección

Presión de combustible superior, mucho menos tiempo disponible para la formación de inyección y la mezcla en la cámara de combustión son las principales diferencias entre la inyección directa de gasolina e inyección múltiple de admisión PFI. Requisitos para el tiempo de inyección disponibles para inyección de gasolina y la inyección al colector de admisión se muestran en la figura 59 hasta dos rotaciones del cigüeñal están disponibles para la inyección del combustible en la admisión (20 ms a 6.000 rpm) en el caso de inyección al múltiple de admisión, mientras que sólo la mitad de una rotación del cigüeñal (5 ms a 6.000 rpm) está disponible durante la inyección en la carrera de admisión (funcionamiento a plena carga) durante la inyección directa. En el caso del modo de carga estratificada con la inyección durante la compresión, el tiempo de inyección de combustible con formación de la mezcla subsiguiente hasta que se produce la ignición es mucho más corto. Para la utilización completa de la mezcla estratificada en el proceso de formación de la mezcla moldeada por pulverización, un máximo de 1 a 3 ms está disponible para inyección y formación de la mezcla en un motor en marcha en vacío. Esto se traduce en altos requerimientos del sistema de inyección y de la estrategia de inyección respectiva (Basshuysen R. v., 2009).

La válvula de inyección debe ser accionada con una trayectoria de corriente compleja para inyección precisa. Al inicio del accionamiento, se abre la aguja de la válvula, una corriente baja es suficiente para el accionamiento de desplazamiento de la aguja constante. La cantidad de inyección de combustible solo depende del tiempo de apertura del inyector (Bosch R. , 2005).



Figura 59 Cantidad de inyección en función del tiempo: en inyección al colector de admisión y la inyección directa

Fuente: (Bosch R. , 2005)

El punto de inyección tiene un efecto significativo en la combustión del motor y con ello el buen funcionamiento y la emisión de un motor con inyección directa de gasolina. Con un punto de inyección avanzado, se da niveles muy bajos de emisiones de hollín y se realizan a través de un tiempo largo de formación de la mezcla. Las emisiones de hidrocarburos, aumentan debido al "sobre mezclado" (demasiado pobre, no hay zonas candentes "extinción de la llama"). La inflamación de retraso y una transición lenta ocurre en la fase de combustión temprana. La inyección retardada conduce a bajas emisiones de hidrocarburos y NOx pero el tiempo de formación de la mezcla corta aumenta las emisiones de hollín (combustión difusión heterogénea). También hay un riesgo de que los depósitos de carbono se formen en la bujía y en el inyector. La inflamación es altamente retrasada pero la transición a la fase temprana de combustión ocurre rápidamente

(Warnecke, Achleitner, & Baecker, Entwicklungsstand de Siemens VDO Piezo-Einspritzunsystems fuer strahlgefuehrte Brennverfahren. Internationales Wiener Motorensymposium., 2006).

2.22.1 Inyección múltiple

Debido a las diversas dificultades en la adaptación precisa del suministro de combustible y la formación de la mezcla en relación con las condiciones de contorno, una sola inyección a menudo no es suficiente para cumplir con los requisitos que se indican a las condiciones de contorno, y de igual manera una sola inyección a no es suficiente para cumplir los requisitos citados en el caso de inyección directa de segunda generación. Las condiciones de frontera tienen que ser tomadas en cuenta en el caso de funcionamiento en todo el mapa del motor por un lado y para la adhesión de las leyes de emisiones por el otro. Por lo tanto, hay una transición cada vez mayor de la inyección al múltiple en el desarrollo del proceso de inyección directa de gasolina.

Debido a su muy alta dinámica, el sistema de inyección common rail y particularmente las válvulas de inyección con actuadores piezoeléctricos permiten más de una inyección dentro de un ciclo de trabajo, de hecho, dentro de una carrera de compresión. Con inyecciones múltiples, la estratificación en funcionamiento a carga parcial se puede describir como en gran medida óptima para la combustión (Lueckert, Frey, Kemmler, Schaupp, Vent, & Waltner, 2005).

De esta manera, sin duda es posible evitar las zonas de mezcla excesivamente ricas o magras que llevan ya sea para la formación de hollín o de pérdida de la llama con un aumento relacionado en hidrocarburos y emisiones de CO. La figura 60 muestra una comparación entre la inyección simple, múltiple para la preparación de pulverización, formación de la mezcla y la combustión subsiguiente (Lueckert, Frey, Kemmler, Schaupp, Vent, & Waltner, 2005).



Figura 60 Potencial de inyección múltiple.

Fuente: (Lueckert, Frey, Kemmler, Schaupp, Vent, & Waltner, 2005)

La mezcla también puede encenderse en caso de tiempos de inyección y encendido retardado, un centro de la masa de combustión termodinámicamente adecuado, figura 61 da una buena calidad de la mezcla y el uso de inyección múltiple son los requisitos previos para extender la operación estratificada a cargas más altas. La zona de la estratificación no se limita en este proceso mediante valores de las emisiones de hollín, sino por la relación aire / combustible que se establece y por lo tanto por la ventaja de consumo contra el funcionamiento homogéneo (Waltner A. , Lueckert, Schaupp, Rau, Kemmler, & Weller, 2006).



Figura 61 Inyección múltiple en funcionamiento estratificado a 2000 rpm, IMEP = 3 bares: resultados de la simulación.

Fuente: (Waltner A. , Lueckert, Schaupp, Rau, Kemmler, & Weller, 2006)

2.22.2 Estrategia para calentar convertidores catalíticos

Como se muestra en la figura 62 los convertidores catalíticos de calefacción pueden ser acelerados mediante la distribución de la cantidad de combustible en múltiples inyecciones. Una mezcla básica homogénea magra se prepara mediante la inyección temprana durante la carrera de admisión. Una o más inyecciones cerca del tiempo de encendido generan una rica mezcla de gas en el área de la bujía. Esto garantiza que incluso en el caso de ignición retardada y mezcla básica magra aumentara la temperatura de los gases de escape y provocara un rápido light-off del convertidor catalítico. Esto puede reducir eficazmente la emisión de hidrocarburos no tratados.

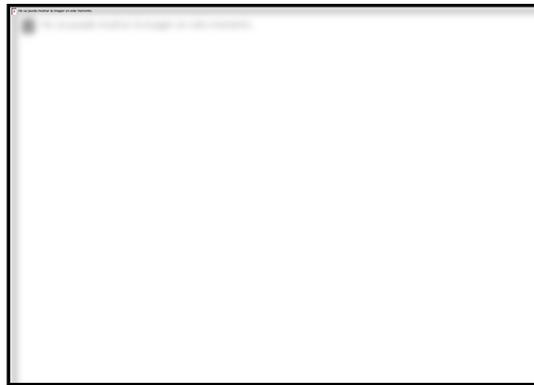


Figura 62 Estrategias de inyección para calefacción de los convertidores catalíticos con los gases de escape.

Fuente: (Waltner A. , Lueckert, Schaupp, Rau, Kemmler, & Weller, 2006)

La inyección múltiple también puede mejorar significativamente la calidad de la formación de la mezcla y el comportamiento de emisión en la operación de arranque en frío. El calor generado por la inyección retardada, que ya no se puede utilizar completamente en el proceso y por lo tanto en la potencia del motor, conduce a un consumo de combustible reducido. Debido a la inyección múltiple, hay una cierta desviación del rendimiento ideal de la inyección directa con carga estratificada. La nube generada de mezcla no es tan pequeña que tendría que ser de carga estratificada ideal, ya que en comparación con la inyección única. Esto puede ser atribuido al intervalo de tiempo más largo de la inyección y formación de la mezcla. En el caso de inyección múltiple, esto puede conducir a la separación de la mezcla en la zona límite de la nube. Esto también tiene que ver con el hecho de que el

potencial en la inyección directa no se utiliza por completo (Basshuysen R. v., 2009).

2.23 Cuadro comparativo de inyectores PFI vs inyectores GDI

Tabla 4.
Diferencias entre inyectores PFI y GDI

INYECTORES PFI	INYECTORES GDI
Trabajan con una presión máxima de 5 bares.	Trabajan con una presión máxima de hasta 200 bares.
Resistencia de la bobina de 12-17 ohm.	Resistencia de la bobina menor a 2 ohm.
Activado con masa constante de la ECU.	Activado por sistema Peak and Hold.
Se ubican por el múltiple de admisión	Se ubican dentro de la cámara de combustión.
Realiza un pulso de inyección en diferentes tiempos, sin tener estrategias de control de emisión de gases nocivos para el ambiente.	Tiene dos estrategias de inyección para calentado del catalizador y a plena carga.

2.23.1 Características resumidas del funcionamiento de un inyector GDI

Inyectores de alta presión

El inyector de alta presión es el interfaz entre el rail de combustible y la cámara de combustión. Su función es dosificar el combustible y vaporizarlo de tal modo que este y el aire se mezcle en una zona específica de la cámara de combustión a fin de lograr una quema perfecta. (Augeri, 2014)

La presión de trabajo de estos inyectores puede superar los 100 bares, la resistencia de la bobina está bajo los 2 ohmios; por lo que la resistencia de la bobina es más baja y es activado por sistema Peak and hold.

El sistema Peak and hold regula la corriente de activación dado que al ser una resistencia interna muy baja tiene un consumo alto de corriente y esto podría calentar el bobinado del mismo lo que produciría la quema del inyector o daño del sistema.



Figura 63 Control Peak and Hold

Fuente (AUGERI, 2014)

La activación del inyector GDI se da colocando una tensión alta de 80 Voltios (condensador ubicado en la ECU), este pico de tensión da una abrupta apertura del inyector, una vez que el voltaje se agota por la descarga del capacitor el inyector se queda con 12 voltios y el valor de corriente se estabiliza en torno de los 5 A, allí la bobina tiende a calentarse excesivamente por lo que la ECU tiende a enviar unos pulsos para bajar la corriente a unos 2.5 A ya que no es necesario tanta corriente para tener abierto el inyector, por lo que la señal del inyector tendrá unos pulsos que terminara manejando una corriente menor y la bobina no se calentara. Este crecimiento y decrecimiento de la corriente asegura una apertura y cierre más instantáneo.



Figura 64 Señal del inyector GDI controlada por la ECU

Fuente: (Skala, 2014)

2.24 Características generales de la bomba de alta presión BOSCH.

“El combustible es suministrado por la bomba de transferencia con una presión de 3 a 5 bares, el combustible se comprime (bomba alta presión) hasta llegar a la presión de inyección de 40 a 120 bares”. (Augeri, 2014, p.

32) Pico máximo según BOSCH 3000 Psi. (Augeri, 2014, p. 32) La bomba es accionada por el árbol de levas. (Augeri, 2014, p. 34)



Figura 65 Estructura interna de la bomba de Alta presión.

Fuente: Augeri. F (2014).



Figura 66 Bomba de alta presión Bosch.

Fuente: Augeri. F (2014).

2.25 Arduino.

Arduino es una plataforma de prototipos electrónicos de hardware libre o código abierto, comprendida por una placa y un microcontrolador, con la posibilidad de desarrollo, creada para hacer más fácil el uso de la electrónica en proyectos de diferentes aplicaciones. El hardware está equipado con un microcontrolador Atmel AVR y con varios puertos de entrada/salida. Esta interface es equipada con Microcontroladores: ATmega8, Atmega168, Atmega328, Atmega1280, Atmega2560. El software se desarrolla con el lenguaje de programación Arduino Programming language (Wiring) y el Arduino Development Environment (Processing).

“El software de Arduino es compatible con plataformas como Windows, Macintosh y Linux. La mayoría de Microcontroladores están limitados a su compatibilidad con Windows” (Analuca & Sangucho, 2013, p. 45).

2.25.1 Arduino 2560 Mega.

Consta de un microcontrolador 2560. Para utilizar el dispositivo, es suficiente con conectarlo a una PC mediante el puerto USB o el poder con un adaptador de CA a CC o un acumulador. La interface Mega tiene compatibilidad con la mayor parte de los escudos creados para el Arduino Duemilanove o Diecimila.

Características:

Tabla 5
Especificaciones Arduino MEGA 2560

Especificaciones	Descripción
Voltaje de Operación	5 V
Voltaje de alimentación	7 – 12 V
Límite de alimentación	6 – 20 V
Microcontrolador	Atmega 1280/2560
Pines de entrada y salida digital	45/14 salida PWM
Pines analógicos de entrada	16
Intensidad de corriente	40 mA
Memoria Flash	128KB (4KB reservados para el bootloader)
Sram	8 kB
Eeprom	4 kB
Frecuencia de oscilación del reloj	16 MHz



Figura 67 Arduino Mega 2560.

Fuente: (Analuca & Sangucho, 2013)

2.25.2 Puertos de entrada y salida.

Cada uno de los 54 pins digitales en el Arduino Mega se puede utilizar como una entrada o salida, utilizando las funciones `pinMode ()`, `digitalWrite ()`, y `digitalRead ()`. Funcionan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia interna (desconectada por defecto) de 20-50 k Ω . (Analuca & Sangucho, 2013, p. 47)

“El Mega2560 tiene 16 entradas analógicas, cada una de las cuales proporcionan 10 bits de resolución (es decir, 1024 valores diferentes). Por defecto se mide desde tierra a 5 voltios, aunque es posible cambiar el extremo superior de su rango usando el pin AREF y `analogReference ()` la función” (Analuca & Sangucho, 2013, p. 47).

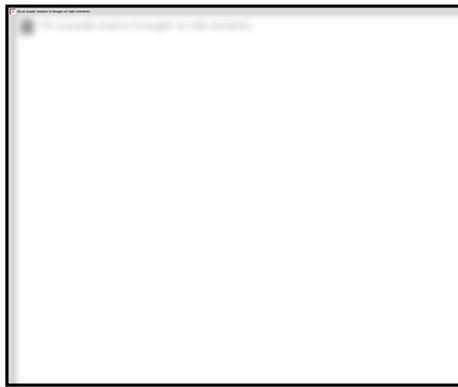


Figura 68 Microcontrolador Atmega 2560

Fuente: (Analuca & Sangucho, 2013)

2.25.3 Sintaxis de Programación.

- Delimitadores: `;`, `{}`
- Comentarios: `//`, `/* */`
- Cabeceras: `#define`, `#include`
- Operadores aritméticos: `+`, `-`, `*`, `/`, `%`
- Asignación: `=`
- Operadores de comparación: `==`, `!=`, `<`, `>`, `<=`, `>=`
- Operadores Booleanos: `&&`, `||`, `!`

- Operadores de acceso a punteros: *, &
- Operadores de bits: &, |, ^, ~, <<, >>
- Incremento/decremento de variables: ++, --
- Asignación y operación: +=, -=, *=, /=, &=, |=

2.25.4 Bibliotecas.

Para seleccionar una biblioteca en la barra de herramientas se debe escoger la opción Sketchy, designar la biblioteca y se incluirá #include correspondiente a la biblioteca previamente seleccionada; Las bibliotecas que muestra Arduino por default son las mencionadas a continuación:

- **SERIAL.-** Lectura y escritura por el puerto serie.
- **EEPROM.-** Lectura y escritura en el almacenamiento permanente. read(), write()
- **FIRMATA.-** Comunicación con aplicaciones de ordenador utilizando el protocolo estándar del puerto serie.
- **LIQUIDCRYSTAL.-** Permite realizar la programación y elControl de LCDs.La biblioteca soporta los modos de 4 y 8 bits.
- **SOFTWARESERIAL.-**Por defecto Arduino incluye comunicación sólo en los pines digitales 0 y 1, mediante esta biblioteca se realiza la comunicación con el resto de pines.
- **WIRE.-** Envío y recepción de datos sobre una red de dispositivos o sensores mediante Two Wire Interface (TWI/I2C).

2.26 Mosfet.

Es un transistor utilizado para amplificar o conmutar señales electrónicas y es el más utilizado en el mundo, está presente en prácticamente todos los dispositivos electrónicos, gracias a sus características de tamaño, facilidad de uso y bajo consumo de energía, ya sea en circuitos analógicos o

digitales. Son dispositivos controlados por voltaje. (Analuca & Sangucho, 2013, p. 49)

2.26.1 Transistor IRFZ44N.

Es un transistor tipo Mosfet (Metal – Oxide – Semiconductor – Field - Effect) de elevada potencia que muestra destacadas características que lo hacen perfecto para ser aplicado para procesos de conmutación y modulación por amplitud de pulso (PWM).

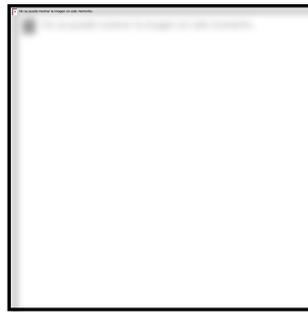


Figura 69 Esquematació del transistor IRFZ44N.

Fuente: (Analuca & Sangucho, 2013)

Se utiliza en técnicas de procesamiento donde se requiere una baja resistencia por área de Silicio, esto junto con la velocidad de conmutación y un diseño sólido ofrece una elevada eficiencia y un integrado fiable para ser usado en una amplia gama de aplicaciones.

El encapsulado TO-220 es altamente preferido por comerciantes e industrias en aplicaciones de disipación de energía en niveles de alrededor de 50 vatios. Su baja conductividad térmica, resistencia y bajo precio del encapsulado contribuyen a su alta demanda en varias industrias. Consta de tres pines Drenado, Surtidor y Puerta los mismos que se encuentran en otra clase de transistores.

Sus principales aplicaciones gracias a su rápida conmutación y características antes expuestas son las siguientes:

- Inversores
- Fuentes conmutadas
- Equipos de computo

- Circuitos de modulación por ancho de pulso (PWM)

Tabla 6.
Características del Mosfet de Potencia IRFZ44N.

Características	Valor
Voltaje Drenador - Surtidor (V _{DD} S)	55 V
Corriente del Drenador	49 A
Resistencia estática Drenador - Surtidor	0,032Ω Max
Potencia total de disipación (PD)	94 W
Rangos de Temperatura de almacenamiento	-55 ~ 175 °C

2.27 Optoacoplador.

La manipulación de altas corrientes implica tener consideraciones de seguridad eléctrica para los operarios y el sistema digital. Por tal razón es deseable que las etapas digitales y potencia se realicen por medio de un acoplamiento que permite aislar eléctricamente a los sistemas. (Analuca & Sangucho, 2013, p. 50)

Permite acoplar óptimamente la parte digital con la de potencia de un circuito y un óptimo aislamiento térmico entre sistemas. Cuando se produce cortocircuito en la etapa de potencia o se evidencia una anomalía eléctrica el optoacoplador protege los circuitos digitales de control.

“Se produce el acoplamiento en un rango del espectro infrarrojo producido por dispositivos emisores de luz y dispositivos que la detectan actuando como una especie de receptores” (Analuca & Sangucho, 2013, p. 50).



Figura 70 Optoacoplador 4N25.

Fuente: (Analuca & Sangucho, 2013)

2.27.1 Optoacoplador fototransistor.

“Se compone de un optoacoplador con una etapa de salida formada por un transistor BJT. Los más comunes son 4n25 y 4n35” (Analuca & Sangucho, 2013, p. 51).



Figura 71 Circuito básico optoacoplador

Fuente: (Analuca & Sangucho, 2013)

CAPÍTULO III.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBA PARA DIAGNÓSTICO Y MANTENIMIENTO EN SISTEMA DE INYECCIÓN GASOLINA GDI.

3.1 Características del sistema.

El banco de pruebas para diagnóstico y mantenimiento en sistema de inyección GDI debe ajustarse a ciertos parámetros de aplicación y funcionalidad, los cuales se detallan a continuación:

- Presentar versatilidad de acoples para distintos sistemas de inyección que poseen inyectores GDI.
- Realizar pruebas de comprobación de funcionamiento de los inyectores como son: estanqueidad, caudal y ángulo de pulverización.
- El procedimiento referente a limpieza de inyectores como parte del mantenimiento normal de los sistemas de inyección de combustible, comandado por circuitos de control de potencia para la activación en el banco de pruebas de forma automática con selección manual o selección asistida por la interface del computador.
- Las solicitudes mecánicas quedan establecidas en el diseño, considerando los factores críticos de operación, resistencia y calidad de los materiales empleados para asegurar su correcto desempeño y durabilidad.
- La aplicación del software y hardware de programación (Arduino) del diseño del sistema de activación y control de tiempos, convierte al banco de comprobación de inyectores en un dispositivo de alta precisión frente a las elevadas exigencias de prestación de servicios en los motores modernos.

3.2 Diseño Mecánico

Fue construido sobre la base de consideraciones mecánicas para la selección de los distintos componentes que lo conforman, previo a la construcción y montaje del grupo hidráulico; el diseño se desarrolló en sistema CAD para simular cargas y ver su punto de flexión y ruptura.

3.3 Diseño Hidráulico.

“El diseño de un circuito hidráulico lleva dos tareas primordiales:

- El cálculo y la definición concreta del componente en función de sus necesidades (presión, caudal, potencia, cc/rev).
- El dibujo o croquis del circuito.

Para los cálculos y selección de los componentes de este sistema se tomó en cuenta la disponibilidad de los mismos dentro del mercado ecuatoriano.

3.4 Componentes y parámetros para el funcionamiento del Banco de pruebas.

Los componentes usados para el banco de pruebas se muestran en la siguiente tabla, con una breve descripción y datos previos para la aplicación de diseño.

Tabla 7.
Componentes y parámetros de funcionamiento del Banco

SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIONAMIENTO
Sistema de combustible de baja presión 0-60 Psi (0-5 bar).	Depósito	Es el reservorio de almacenamiento del fluido limpia inyectores.
	Bomba de transferencia	Es de tipo eléctrico y su accionamiento se da por la activación de un switch.
	Manguera	Es la encargada de soportar la presión y transportar el fluido a su destino.
	Válvula regulador de presión de 0-130 Psi (0-9 bar).	Como su nombre mismo lo indica regula la presión es decir que al llegar a la presión máxima esta se abre y devuelve el fluido extra al depósito.
	Manómetro de 0-160 (0-11 bar).	Instrumento de medición que mide la presión generada en un circuito hidráulico con carga en este caso circuito de baja presión.
	Filtros	Dispositivo del tipo metálico que filtra del fluido algún tipo de residuos que podrían afectar al sistema.
	Bomba de alta presión	Encargada de generar la alta presión a través de émbolos internos, la cual es movida a través de un motor eléctrico de 1hp por transmisión polea-correa.
	Manguera	Es la encargada de soportar la presión y transportar el

Sistema de alimentación de alta presión 0-1500 Psi (0-103 bar).		fluido a su destino.
	Válvula check	También llamada válvula anti retorno se encarga de que el fluido no regrese así siga generando presión y evita contraflujo en el sistema.
	Válvula de alivio 500-1500 Psi	Regula la presión es decir que al llegar a la presión máxima esta se abre y devuelve el fluido extra al depósito, esta se regula igual de manera manual.
	Manómetro de alta 0-1500 Psi (0-103 bar)	Instrumento de medición que mide la presión generada en un circuito hidráulico con carga en este caso circuito de alta presión.
	Válvula de paso	Permite o no el paso del fluido en este caso sirve para despresurizar el sistema, es decir se abre para que después de la prueba evacuemos la presión dentro del sistema.
	Riel de inyectores	Es el distribuidor de combustible donde van a instalarse los inyectores para sistemas de 3, 4 y 6 cilindros tienen que ser diseñados según sus presiones de operación (0-1100 psi)
	Inyectores	Válvulas solenoides a los cuales se les realizara las operaciones de comprobación y mantenimiento.
	Probetas	Dispositivos de medición y recolección del fluido de pruebas para verificación del estado de los inyectores.
	Electroválvulas	Solenoides encargados de drenar el fluido que contienen las probetas con dirección al depósito.

3.5 Diseño y selección de componentes mecánicos e hidráulicos.

3.5.1 Selección Manómetros

La selección del manómetro se realiza de acuerdo a dos criterios:

1. Rango de precisión.
2. Presiones de operación.

Tabla 8.
Características del manómetro de baja presión y alta presión.

Precisión	0,1 - 4%
Presión	De 0-11 bares De 0-1500 bares.

Fuente: Wika, Manómetros con elementos elásticos Pag.1.pdf

En la figura 72 se muestran los manómetros de baja y alta presión respectivamente.

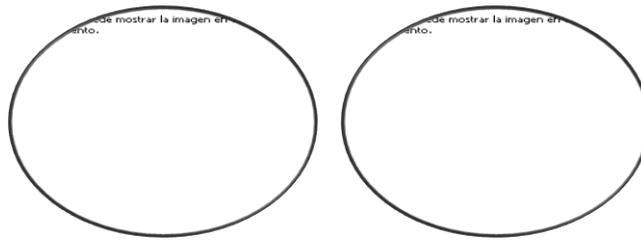


Figura 72 Manómetro de baja (izq) y alta presión (der).

3.5.2 Selección de la bomba de baja y alta presión.

“Las bombas son los elementos destinados a elevar un fluido desde un nivel determinado a otro más alto, o bien, para convertir la energía mecánica en hidráulica” (Analuca & Sangucho, 2013, p. 80).

Una bomba produce movimiento de líquido o caudal pero no genera la presión, porque está en función de la resistencia al paso del fluido que se genera en el circuito. Así, por ejemplo, la presión a la salida de una bomba es cero cuando no está conectada al sistema (no está en carga), pero si la misma bomba se conecta a un circuito (carga), o simplemente se le tapona el orificio de salida, la presión aumentará hasta vencer la resistencia de la carga (válvula de alivio). (Analuca & Sangucho, 2013, p. 80)

Para la selección se tomó en cuenta el factor económico, facilidad de movimiento del eje impulsor de la bomba y el tamaño, por lo cual se seleccionó una bomba Denso CP3.

Tabla 9.
Características técnicas de las bombas de baja y alta presión.

Bomba de Baja Presión	
Presión Máxima	11 bares.
Gama de regímenes	1.27 GPM
Alimentación eléctrica	12 v, más de 3 A
Presión Máxima	160 Psi
Bomba de Alta Presión	
Presión Máxima	1350 bares
Gama de regímenes	75-3000 l/min
Caudal máxima/vuelta	05-07 cc/vuelta
Potencia absorbida	3.5 KW a régimen nominal y una presión en el conducto common rail de 1350 bares.

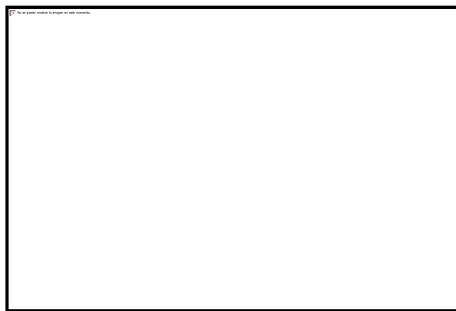


Figura 73 Bomba de baja presión con accesorios.

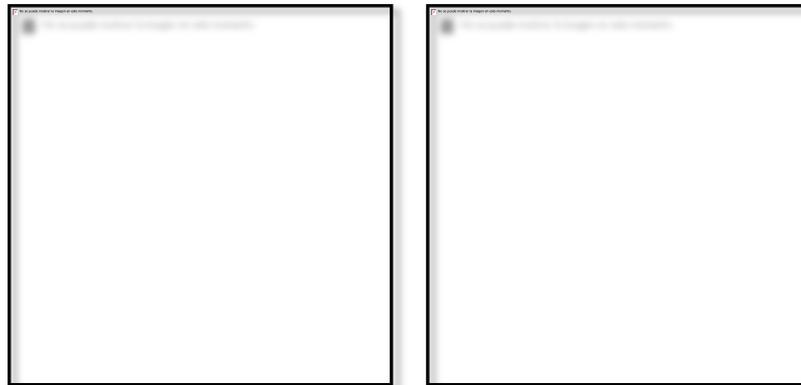


Figura 74 Bomba de alta presión vista frontal (izq) y vista lateral (der).

Definición de los cálculos de la bomba hidráulica para la aplicación:

Para la selección del motor eléctrico se necesita el caudal que envía cada bomba por revolución.

$$Q = \frac{cc}{rev} \times rpm \left[\frac{lt}{min} \right] \quad \text{Ecuación 2 Caudal de la bomba.}$$

Dónde:

Q = caudal de la bomba hidráulica (lts/min).

cc/rev = Descarga de la bomba por revolución.

RPM = Revoluciones del motor.

a. Caudal bomba de baja presión.

$$Q_1 = 1.27 \text{ GPM}$$

b. Caudal bomba de alta presión.

$$Q = \frac{CC}{rev} \times rpm \left[\frac{lt}{min} \right]$$

$$Q_2 = \frac{0,7 \times 1730}{1000} \left[\frac{lt}{min} \right]$$

$$Q_2 = 1.21 \left[\frac{lt}{min} \right]$$

$$Q_2 = 0.32 \text{ GPM}$$

3.5.3. Cálculo para la selección del motor eléctrico.

Una vez conocidos los caudales, reemplazamos los valores en la Ecuación 3, la cual nos da a conocer la potencia necesaria para mover dicha bomba por lo cual se obtiene el motor necesario para la aplicación.

$$hp_1 = P \times Q (7 \times 10^{-4}) \text{ Ecuación 3 Potencia para el motor eléctrico}$$

Dónde:

P = Presión de trabajo (Psi).

Q = caudal de la bomba hidráulica (GPM).

$$hp_1 = P \times Q (7 \times 10^{-4})$$

$$hp_1 = 160 \text{ Psi} \times 1.27 \text{ GPM} (7 \times 10^{-4})$$

$$hp_1 = 0.14 \text{ Bomba de baja presión.}$$

$$hp_2 = P \times Q (7 \times 10^{-4})$$

$$hp_2 = 1500 \text{ Psi} \times 0.32 \text{ GPM} (7 \times 10^{-4})$$

$hp_2 = 0.33$ Bomba de alta presión

$hp_t = 0.47 \cong 0.5$ Motor necesario para movimiento de la bomba CP3.

Se optó por la selección de un motor de 1 hp por mantener un diseño muy precavido.

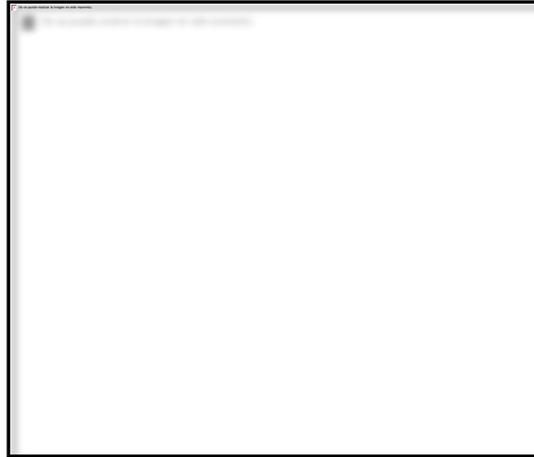


Figura 75 Ensamble del motor eléctrico con la bomba de alta presión.

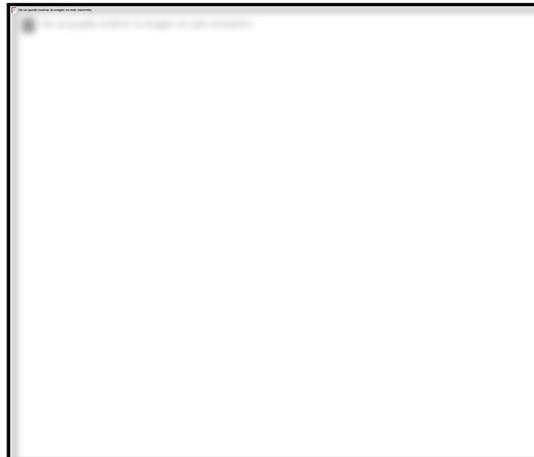


Figura 76 Características del motor eléctrico.

3.5.4 Cálculos del sistema de transmisión de poleas-correa.

Este diseño es el más sencillo, económico y uno de los más efectivos para la transmisión de movimiento.

Se encontró en el mercado dos poleas de un material de aluminio por lo que estos fueron sujetos a la bomba y el motor eléctrico, transfiriendo su movimiento a través de una correa dentada.

a. Relación diámetros revoluciones.

Datos:

$$D_1 = 5 \text{ cm (Polea motor)}$$

$$D_2 = 15 \text{ cm (Polea bomba)}$$

$$n_1 = 1730 \text{ rpm (motor)}$$

$$n_2 = ?? \text{ rpm (bomba alta presión)}$$

$$\frac{D_1 \times n_1}{d_2} = n_2 \quad \text{Ecuación 4 Relación diámetro - revoluciones.}$$

$$\frac{D_1 \times n_1}{d_2} = n_2$$

$$n_2 = 576,7 \text{ rpm.}$$

3.5.5 Diseño del depósito.

Para el diseño, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Almacenar un volumen de fluido grande, aproximadamente de dos a tres veces el caudal que entrega la bomba.
- Para el dimensionamiento del depósito se debe tener en cuenta los caudales que envían las bombas tanto de baja como de alta presión.

a. Cálculo del volumen del depósito

Se necesita la suma total de las bombas para realizar el dimensionamiento para almacenar el fluido limpia inyectores.

Datos:

$$Q_1 = 1.27 \text{ GPM}$$

$$Q_2 = 0.32 \text{ GPM}$$

$$V = 3 (Q_1 + Q_2) \quad \text{Ecuación 5 Volumen necesario.}$$

$$V = 3 (Q_1 + Q_2)$$

$$V = 3 (1.27 + 0.32) \text{GPM}$$

$$V = 4.77 \cong 5 \text{ gal}$$

Por lo tanto se seleccionó las siguientes medidas:

- Ancho (a): 45 cm.
- Profundidad (b): 42 cm.
- Altura (h): 10 cm.

$V = a \times b \times h$ **Ecuación 6 Volumen del depósito en forma de cubo**

$$V = a \times b \times h.$$

$$V = (45 \times 42 \times 10) \text{cm}^3$$

$$V = 18900 \text{ cm}^3$$

$$18900 \text{ cm}^3 \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ cm}^3} \frac{1 \text{ gal}}{3.78 \text{ l}} = 5 \text{ gal}$$



Figura 77 Depósito modelado (izquierda), Real (derecha).

3.5.6 Selección de válvulas.

a. Selección válvula de alivio

“Las válvulas de alivio evitan que la presión del sistema aumente por encima de un valor establecido. Cuando el sistema se sobrecarga la válvula se abre y el flujo de la bomba se descarga directamente al depósito” (Analuca & Sangucho, 2013, p. 86).

Para la selección de las válvulas de alivio se tomó en consideración las presiones de funcionamiento del sistema GDI.

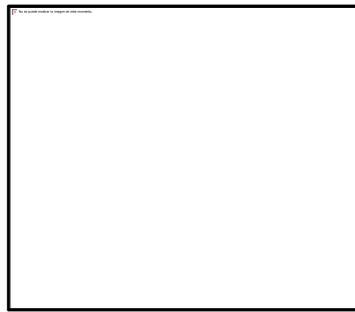


Figura 78 Simbología válvula de alivio.

Fuente: Manual de válvulas Vickers.

Sistema de baja presión.- Funciona hasta 60 PSI, por lo tanto se seleccionó una válvula muy cercana a los parámetros de funcionamiento, dicha válvula tiene ajuste manual figura 79.

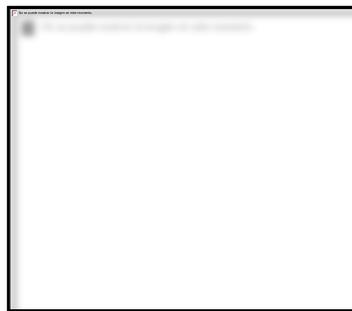


Figura 79 Válvula de alivio de baja presión.

Sistema de alta presión.- Funciona entre 500 a 1500 Psi, de ajuste manual con tornillo.



Figura 80 Válvula de alivio de alta presión.

b. Selección Válvula Check

Denominada válvula anti retorno o válvula unidireccional, solo permite el paso del fluido en un solo sentido evitando de esta forma el contraflujo del sistema hidráulico hacia la bomba de alta presión, previniendo daños en el sistema.



Figura 81 Simbología válvula check.

Fuente: Manual de válvulas Vickers.



Figura 82 Válvula check utilizada en el circuito de alta presión.

c. Selección válvula de paso.

Funcionan como bypass, cuando el sistema hidráulico no necesita presión, evitando el consumo innecesario de potencia y alargando la vida de los elementos y del fluido de operación, ayuda al despresurizado del sistema.



Figura 83 Simbología válvula de paso (bypass).

Fuente: Manual de válvulas vickers.



Figura 84 Válvula de paso seleccionada.

3.5.7 Selección de las mangueras hidráulicas.

Se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- La presión de trabajo.
- El caudal.
- La caída de presión admisible.
- La compatibilidad

Con los parámetros conocidos de presión de trabajo del sistema. Se procede a la selección de las siguientes mangueras.

a. Manguera de baja presión.

- ATFLEX ID 5/16 lin-Fuel hose – W/P 20 Bares (300 PSI).

b. Mangueras de alta presión.

- SAE 100 R16S 8 1/2 in MAX 2750 Psi.
- SAE 100 R2AT 6 3/8 in WP 330 Bares (4785 Psi).

3.5.8 Selección de uniones de las mangueras.

Se seleccionó de acuerdo a sus dimensiones y presiones que deben soportar, según tablas del fabricante.

3.5.9 Selección del fluido limpia inyectores.

El fluido de calibración, es un fluido de referencia utilizado en los equipos de prueba de inyección diesel (por la bomba de alta presión). Además cumple con los exigentes límites especificados para las pruebas y el desarrollo de las piezas originales.

Precauciones:

- Puede causar irritación a los ojos
- Puede causar irritación a la piel
- Una excesiva inhalación de vapores o niebla puede causar irritación a las vías respiratorias
- Si llega a tragarlo puede causar una irritación gastrointestinal.

3.6 Diseño estructural del banco de pruebas.

Para el diseño estructural del banco de pruebas se utilizó software CAD, en este caso fue el SOLIDWORKS 2013.

3.6.1 Parámetros tomados para el diseño de la estructura

- Resistencia: Que soporte la masa del sistema de inyección GDI parte electrónica e hidráulica.
- Distorsión: Que no se deforme en los puntos críticos de sujeción.
- Corrosión: Que soporte cualquier ataque electroquímico del entorno, protegiendo el material con la pintura adecuada.
- Costo: Que sea económico sin que esto afecte la seguridad del diseño.

3.6.2 Modelado de la estructura.

El diseño de la base se lo realizó con tubo estructural cuadrado cuyas medidas son de 1 1/2 x 2 pulgadas, para las partes donde soportará cargas estáticas. En la parte superior del banco, se utilizó soportes para el panel de instrumentos. El material seleccionado es un acero ASTM A 36, que tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPA (36 ksi) y es muy utilizado en la construcción de estructuras metálicas.

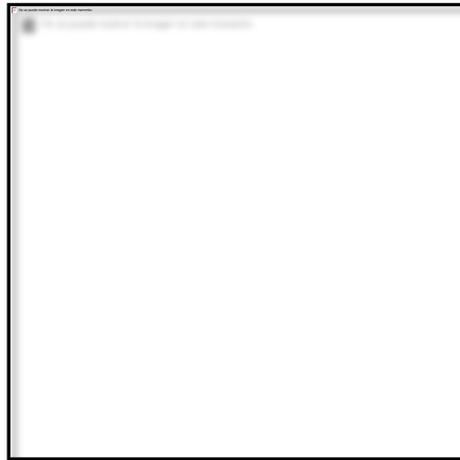


Figura 85 Estructura interna del banco de pruebas.

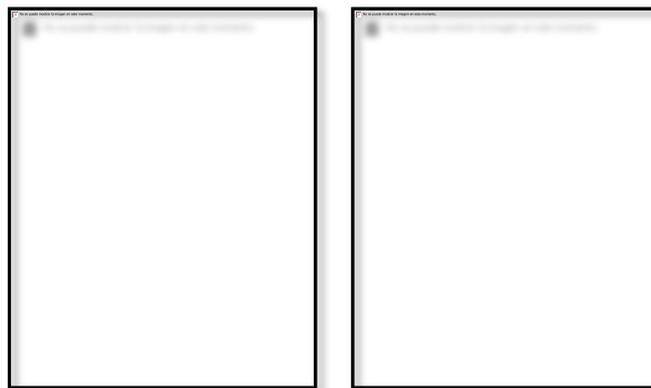


Figura 86 Banco de pruebas: Modelado (izq), Real (der).

3.7 Diseño del circuito hidráulico en Automation studio.

En el diseño del circuito hidráulico se analizó las posibilidades de generar la presión necesaria para poder simular de una manera real el sistema de inyección GDI, y la disponibilidad de componentes similares que realicen la misma función.

El diseño final se realizó con la ayuda de Automation Studio 5.0 que es un programa de simulación versátil para circuitos neumáticos e hidráulicos.



Figura 87 Circuito hidráulico de baja y alta presión.

3.7.1 Descripción del funcionamiento del sistema hidráulico.

El circuito hidráulico consta de tres funciones:

- Activación sistema de baja presión.
- Activación sistema de alta presión.
- Despresurización del sistema por válvula bypass.

a. Activación sistema de baja presión.

A través del switch No. 1 ubicado en el tablero secundario, figura 91, observando en el manómetro que llegue a la presión de descarga (apertura de la válvula de alivio del circuito de baja presión), se confirma que el circuito de baja está cargado.

Para la activación de esta bomba se utilizó un transformador de 110 V AC -12 V DC (puente rectificador) 3A.

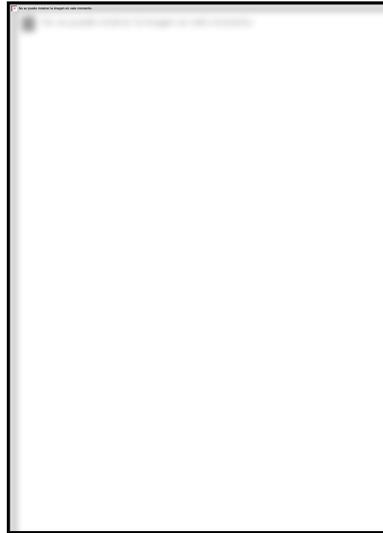


Figura 88 Circuito de baja presión activo.

b. Activación del circuito de alta presión.

Una vez funcionando el circuito de baja presión activamos el switch No.2 del tablero secundario, se encuentra en la parte superior.

El motor eléctrico mueve a la bomba de alta presión, observamos el manómetro de alta presión, hasta que se active la válvula de alivio del circuito de alta.

Para la activación del motor eléctrico se utiliza una conexión domestica 110-120 V AC.



Figura 89 Circuito de alta presión activado.

c. Despresurización del sistema por válvula bypass.

Al terminar las pruebas no desconectar el riel o abrir alguna cañería pues el sistema sigue con presión interna por lo cual el banco tiene instalado una válvula de despresurización para aliviar la presión interna del circuito hidráulico.



Figura 90 Despresurizado del sistema.

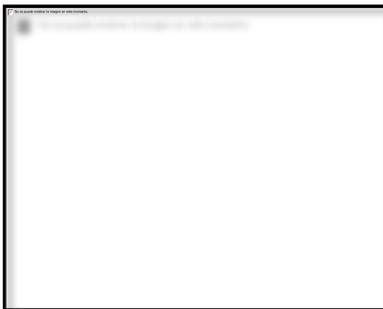


Figura 91 Tablero secundario.

3.8 Diseño eléctrico y electrónico.

3.8.1 Selección y cálculos de la parte eléctrica.

La parte eléctrica se desarrolló en cuanto a la selección del cableado, fusibles de protección y switch de activación.

a. Selección del cableado.

La selección del cableado se da más a notar en las instalaciones de electrónica de potencia y activación del motor.

Tener en cuenta que si usamos un cable no adecuado, este va a calentarse y posteriormente a quemarse o deteriorarse por el hecho de la corriente que se está manejando en el circuito más que el voltaje de alimentación.

Para seleccionar un cable flexible considerar:

1. Carga o consumo: Esta define que corriente soporta el conductor eléctrico, la puedes tener en KW, HP, KVA o como en nuestro caso AMP. Las cargas pueden ser muy diversas, en nuestro diseño esta los motores eléctricos, electroválvulas y elementos que conforman el diseño. Considerar si la carga se conecta a un sistema monofásico o trifásico, que dependiendo el tipo, el consumo puede ser menor (tanto por el voltaje, como por el número de fases).

2. Distancia de la carga: La resistencia de los conductores eléctricos depende de tres factores: dos geométricos y uno químico; refiriéndose a la sección transversal o área del conductor, la longitud y su resistividad. El segundo es un factor determinante que define la caída de tensión en los cables eléctricos. Esto por una razón muy simple, la longitud del conductor es directamente proporcional a su resistencia. Considerar la distancia que tiene la carga, mientras más cerca mucho mejor.

3 Temperatura ambiente: Dependiendo de los requerimientos de la instalación, habrá zonas a baja o alta temperatura, este banco será usado de manera permanente en la ciudad de Latacunga, por lo que será fundamental saber la temperatura ambiente, el ambiente donde esté el cable, determinará que corriente llevará sin que esta genere perdidas en el conductor. Ambientes con temperaturas muy altas, obliga a los cables a consumir más energía. Esto provocado por la variación en el coeficiente de resistividad del conductor. Por ejemplo para una temperatura entre los 20° C y 25°C la resistividad de un material de cobre es de $1,71 \times 10^{-8}$, elevándose esta aún más por el aumento de la temperatura. Este incremento en la resistividad crea en el conductor una elevación en su resistencia, por lo que en este habrá una mayor caída de tensión. Consumiendo más corriente de la que el conductor pueda transportar.

Según www.vivelatacunga.com (web), la ciudad de Latacunga tiene una temperatura máxima de 18,1 grados centígrados.

4 Factor de agrupamiento: Los conductores eléctricos generan calor al circular por este una corriente eléctrica. Estos conductores son encaminados por las canalizaciones eléctricas o tuberías, al estar agrupado en la misma tubería y todos generando calor en una determinada medida, esto provoca que todo el calor se concentre en ese espacio. Aumentando la resistividad de los conductores, y generando mayores pérdidas en este. El factor de agrupamiento, define la corriente real que puede llevar un conductor, dependiendo del número de cables en donde este se aloje. En nuestro caso no se observa muchos agrupamientos de cables, dado que no es excesivo el uso de cableado para el área donde se han acomodado los mismos que es en el interior del banco de pruebas.

5. Tipo de aislante: La transferencia de calor depende del tipo de material que se interponga entre dos medios con distintas temperatura. Si verificas en las tablas de ampacidades de los conductores, por ejemplo un cable 12 AWG-TW conduce una corriente máxima de 20 A, sin embargo, un cable 12 AWG THW conduce un corriente máxima de 25 A, este dato, te dice que el aislante influye en la corriente que puede soportar el conductor, y debemos tener en cuenta el ambiente donde se vaya a instalar este.

Tabla 10.
Selección de conductores eléctricos.



Fuente: <http://asterion.almadark.com/2010/05/31/calibre-de-conductores-y-su-amperaje-máximo/>

6. Caída de tensión: La distancia, la carga a instalar, la corriente por factor de agrupamiento, el nivel de tensión, el tipo de sistema de suministro (monofásico o trifásico), estos factores determinan la caída de tensión en los cables eléctricos. Se tiene por norma que esta no debe superar el 2% para alimentadores principales, y el 3% para circuitos derivados del alimentador. Esto es en total de 5% para toda la instalación.

Conclusión: Se procedió a utilizar el cable flexible 14 AWG, 0.3KV, 90° para las de protecciones del motor y control de encendido, dado que este cable es uno de los más utilizados en instalaciones eléctricas domésticas y a más de la cualidad de soportar hasta 32 A en distancias cortas; este cableado fue conectado a los switch de activación ubicados en el tablero secundario del banco, dichos interruptores soportan de la misma manera corrientes y voltajes adecuados para la aplicación (250V DC y 15 A).



Figura 92 Cable flexible AWG No. 14.

b. Corriente de consumo del motor eléctrico.

$$IP = \frac{P}{E.FP.N} \text{ Ecuación 7 Corriente de consumo del motor eléctrico}$$

Dónde:

- IP = Corriente nominal o a plena carga que consume un motor (A).
- P = Potencia que desarrolla un motor (W).
- E = Tensión a la que se conecta el motor (V).
- FP = Factor de potencia.
- N = Rendimiento del motor.

Los datos del motor lo observamos en la Figura 3.5:

$$P = 1 \text{ HP } (0.75 \text{ KW})$$

$$FP = 0.56$$

$$N = 0.80$$

$$E = 110 \text{ AC}$$

$$IP = ??$$

$$IP = \frac{750}{110 \times 0.56 \times 0.80}$$

$$IP = 15.21 \text{ A}$$

c. Potencia absorbida por el motor.

$$P_{abs} = \frac{P(w)}{n} \text{ Ecuación 8 Potencia absorbida por el motor}$$

- P = Potencia que desarrolla un motor (W).
- n = Rendimiento del motor.

$$P_{abs} = \frac{750}{0.80}$$

$$P_{abs} = 937.5 \text{ W} = 0.93 \text{ KW}$$

d. Pérdidas en el motor eléctrico.

$$Pérdidas = P_{abs} - P$$

$$Pérdidas = 0.93 - 0.75$$

$$Pérdidas = 0.18 \text{ KW}$$

3.8.2 Selección y diseño electrónico.

Está compuesto por: una fuente de alimentación para dispositivos electrónicos, una fuente de potencia para la activación de los inyectores, una fuente de potencia para la activación de las electroválvulas (drenaje), y el teclado para selección de la prueba a realizarse.

a. Fuentes de alimentación.

Tres transformadores conectados a sus respectivos puentes rectificadores, esto para generar corrientes DC y poder activar distintos componentes entre los que enunciaremos a continuación:

- Transformador de 110 V AC 1A – 12 V DC 1A para activar las electroválvulas.
- Transformador de 110 V AC 10 A – 12 V DC 10 A para la activación de los inyectores.
- Transformador de 110 V AC 10 A – 12 V DC 3A para la activación de la bomba de transferencia del circuito de baja presión.

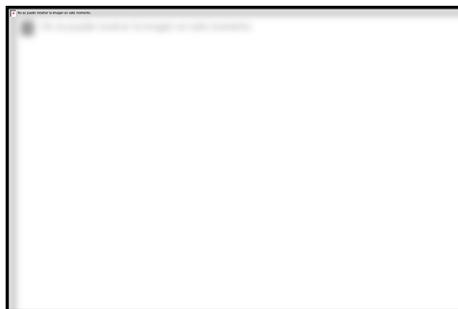


Figura 93 Transformadores.

b. Circuito de potencia para activación de electroválvulas.

Toma como voltaje de entrada la conexión de la red doméstica (110-120 AC Ecuador), esta corriente se conecta al transformador, la corriente resultante sigue siendo alterna, por lo que es necesario rectificarla a través de un puente rectificador (puente de diodos), figura 94, una vez dada la conversión de corriente se conecta a la alimentación del circuito de potencia, el cual está protegido del circuito digital por el uso de un opto acoplador 4N25, este se utiliza como protector del circuito de baja potencia del de alta, se utiliza este foto transistor para activar los diferentes transistores.



Figura 94 Fuente de alimentación para la activación de los diferentes circuitos de potencia y de bomba de baja presión.

Fuente: http://www.mcbtec.com/fuentes_lineales.htm

Para la activación de las electroválvulas es necesaria una energía de alimentación de 12 voltios D.C. a un máximo de 1 A.



Figura 95 Circuito activación electroválvulas livewire.



Figura 96 Placa Circuito electroválvulas.

Se utilizó un transistor Darlington TIP 122 para la activación de las electroválvulas, Figura 97.

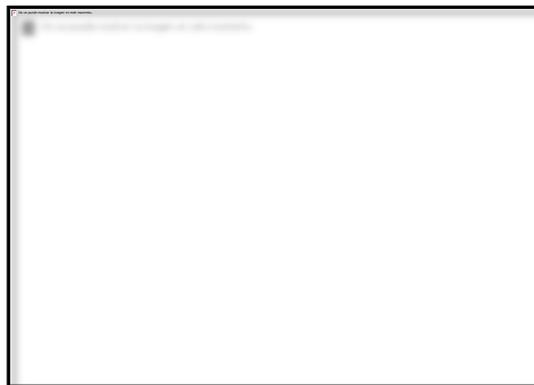


Figura 97 Datasheet TIP 122.

Fuente: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Tip122>

Características del circuito optoacoplador 4N25.

**Tabla 11.
Características 4N25**

OPTOACOPLADOR 4N25	
Aplicación	Diseñado para acoplamiento óptimo y un aislamiento eléctrico de protección del circuito digital del de potencia.
Alimentación y consumo	5V, 12 VCD y 115 VCD
Pines de conexión	Total 6 se usan 4 (1, 2, 4,5).
Protección	Contra sobrecargas y cortocircuitos en cada solenoide.
Conectores	A través de sockets del timer 555.

Cálculos circuito digital y de potencia.

Este cálculo se aplicó para las dos placas tanto como para la activación de las electroválvulas como para la activación de los inyectores; en el caso

de la activación de los inyectores varia la utilización del transistor (Mosfet IRFZ44N).



Figura 98 Circuito activación optoacoplador.

Datos digitales:

$V_{pulsante} = 0 \text{ y } 5 \text{ V}(\text{arduino})$

$I_{in} = 40 \text{ mA}(\text{maximo arduino})$

$R_2 = ?? \Omega$

$V = I \times R$ **Ecuación 9 Ley de ohm.**

$$V = I \times R$$

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{5}{20}$$

$$R = 250 \Omega$$

La resistencia de 250Ω no encontramos en el mercado por lo que seleccionamos una de 330Ω para la activación del circuito digital.

Cálculos del transistor



Figura 99 Circuito de potencia.

Datos:

$$I_c = 5 A$$

$$I_b = 120 mA.$$

$$V_T = 0.7 V$$

$$V_{cc} = 5 V$$

$$\beta = \text{¿?}$$

$$R_2 = \text{¿?}$$

$$\beta = \frac{I_c}{I_b} \text{ Ecuación 10 Ganancia del transistor.}$$

Dónde:

- I_b = Corriente de base.
- I_c = Corriente colector.

$$\beta = \frac{I_c}{I_b}$$

$$\beta = \frac{5}{0.12}$$

$$\beta = 41.66.$$

$$R_1 = \frac{(V_{cc} - V_T)}{I_b} \text{ Ecuación 11 Selección de resistencia del transistor.}$$

Dónde:

- V_{cc} = Voltaje arduino.
- V_T = Voltaje activación transistor.

$$R_1 = \frac{(V_{cc} - V_T)}{I_b}$$

$$R_1 = \frac{(5 - 0.7)}{0.12}$$

$$R_1 = 35.83 \Omega$$

Se pudo utilizar una resistencia de montaje superficial "SMD", sin embargo se decidió por una de 330Ω 1 Watt, por la facilidad de ser encontrada en cualquier electrónica, y al probarla no presentó ningún problema.

$P = V_{cc} \times I_b$ **Ecuación 12 Consumo de la fuente.**

$$P = V \times I_b$$

$$P = 5 \times .12$$

$$P = 0.6 W$$

La potencia que activa al transistor es de 2 W, la potencia del transistor no debe ser sobrepasada.

c. Circuito de conexión del LCD y del teclado.

Se requiere un voltaje regulado de 5V DC para la parte de alimentación del sistema de control, tomada de la fuente principal de 12V DC (Vin Arduino), por lo que es necesaria la utilización de un LM7805.



Figura 100 Datasheet Regulador de voltaje.

Fuente: <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/LM/LM7805.pdf>



Figura 101 Diagrama LCD, Teclado, Zumbador livewire.



Figura 102 Diagrama LCD, Teclado, Zumbador Isis proteus.

El circuito está conectado directamente a la tarjeta programada del Arduino, recibe los datos del mismo dependiendo del botón seleccionado y envía datos a los pines de lectura del LCD para que escriba lo que corresponda.

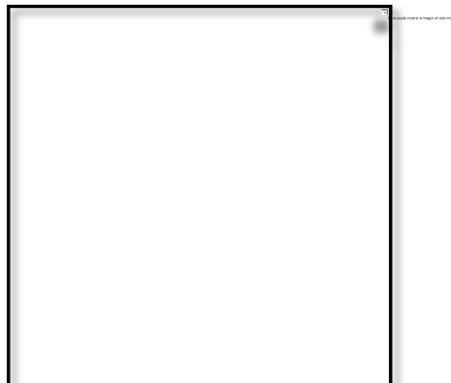


Figura 103 Prueba del circuito del LCD.

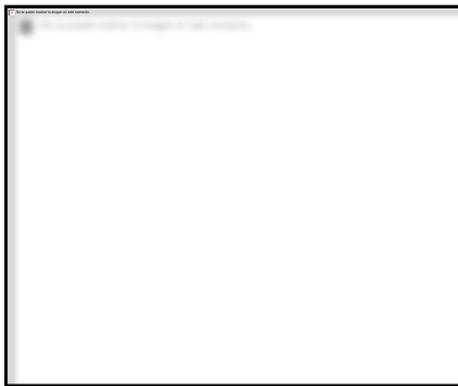


Figura 104 Pruebas de las placas de teclado, LCD, Zumbador y electroválvulas.

d. Procedimiento para el armado del banco

1. Diagramación final en el software de la especialidad.

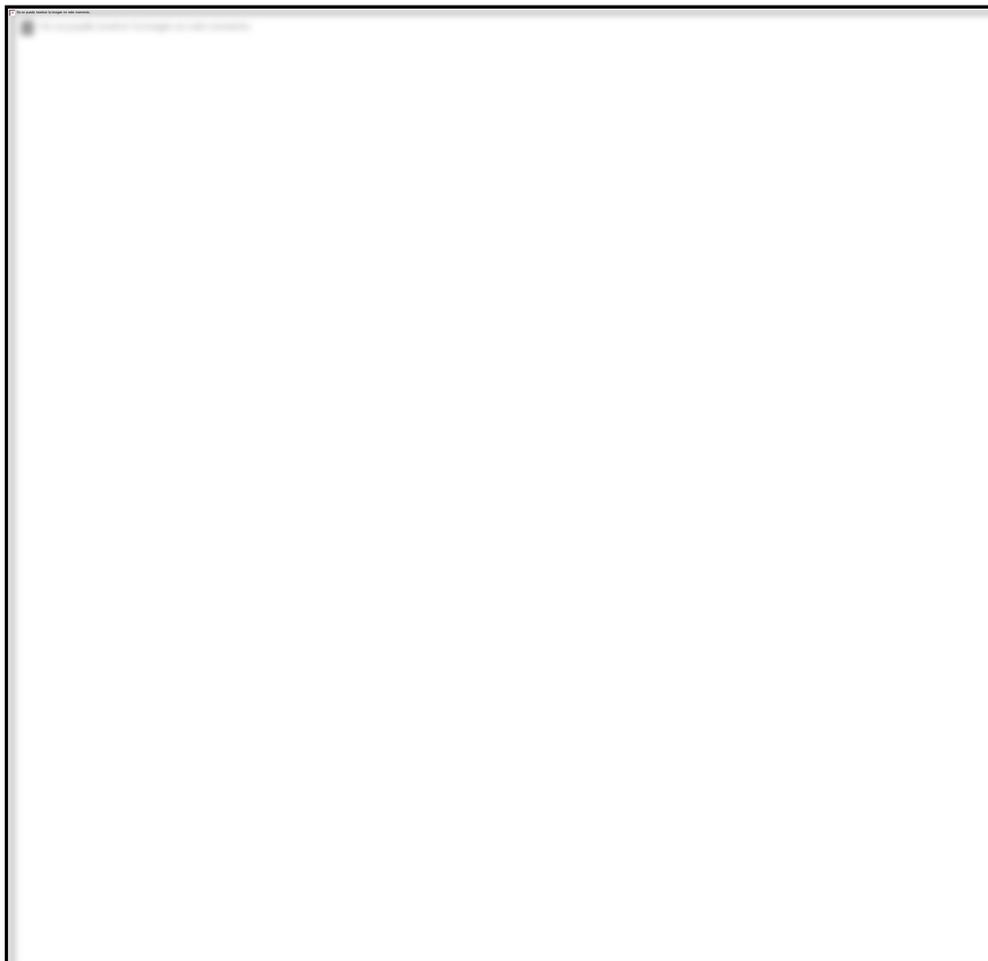


Figura 105 Diagrama eléctrico completo livewire.



Figura 106 Diagrama eléctrico completo Isis Proteus.

2. Reconocimiento, conexión y verificación del teclado.



Figura 107 Conexión del teclado.

3. Placas para el circuito de potencia diseñado en PCB Wizard y Livewire.



Figura 108 Diagrama para baquelita.

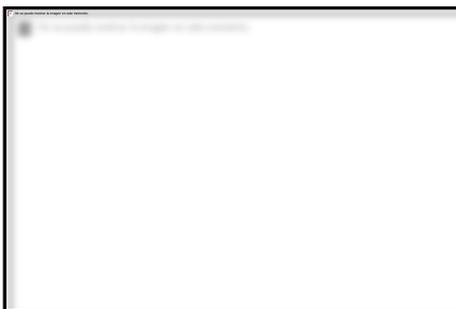


Figura 109 Quemado de placa.

4. Elementos electrónicos soldados en la placa.



Figura 110 Placa de potencia.

5. Conexión en la estructura interna del banco de pruebas.



Figura 111 Ubicación de la placa del teclado.

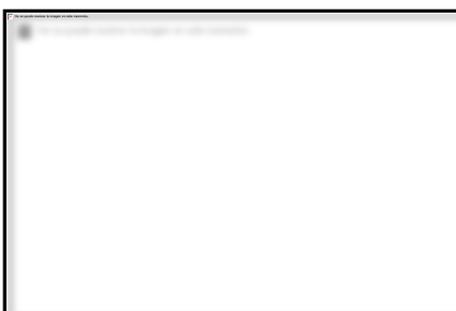


Figura 112 Ubicación Arduino Mega.

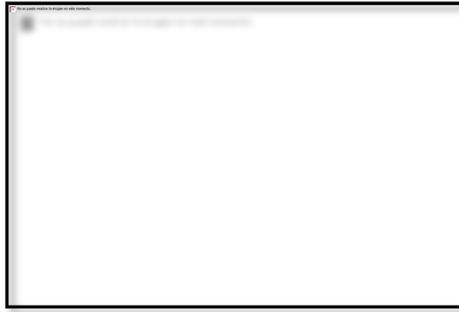


Figura 113 Conexión y ubicación de la placa de potencia.

6. Conexión parte hidráulica guiados del diseño realizado en Automation Studio 5.0.

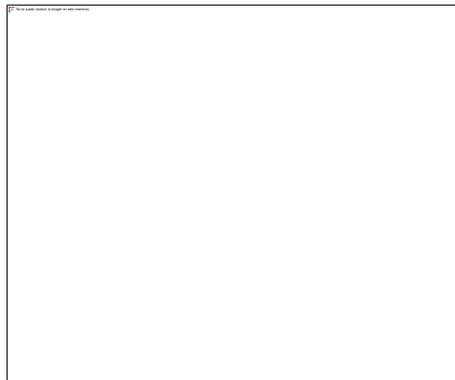


Figura 114 Conexión hidráulica.

7. Finalmente se ensambla como un solo conjunto al grupo eléctrico, electrónico e hidráulico.

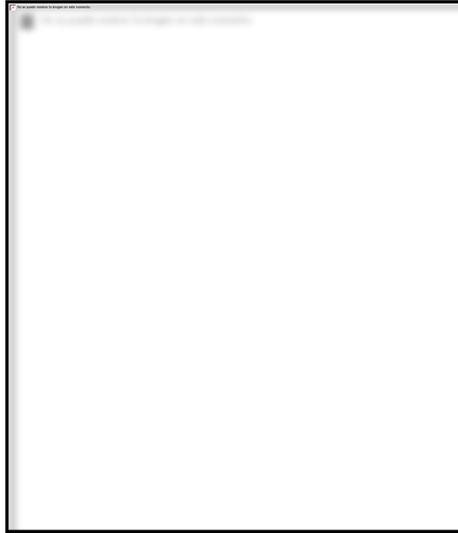


Figura 115 Ensamble final.

3.9 Cálculos de tiempo de apertura y cierre del inyector

3.9.1 Cálculo prueba en ralentí 800 RPM.

$$\%CT = \frac{T_i}{T_i + T_c} \times 100 \quad \text{Ecuación 13 Ciclo de trabajo.}$$

$$N = \frac{60000}{T} \quad \text{Ecuación 14 Inyección simultánea.}$$

Dónde:

- %CT= ciclo de trabajo (25-30%).
- N= Revoluciones del motor (rpm).
- T_i= Tiempo de inyección (ms).
- T_c= Tiempo cerrado inyector (ms).

Datos:

$$N = 800 \text{ rpm.}$$

$$\%CT = 28$$

$$N = \frac{60000}{T}$$

$$800 = \frac{60000}{T}$$

$$T = \frac{60000}{800}$$

$$T = 75 \text{ ms}$$

$$\%CT = \frac{T_i}{T_i + T_c} \times 100$$

$$\%28 = \frac{T_i}{75} \times 100$$

$$T_i = 21 \text{ ms}$$

$$T_o = 54 \text{ ms}$$

3.9.2 Cálculo de prueba a 2500 RPM.

Datos:

$$N = 2500 \text{ rpm.}$$

$$\%CT = 28$$

$$N = \frac{60000}{T}$$

$$2500 = \frac{60000}{T}$$

$$T = \frac{60000}{2500}$$

$$T = 24 \text{ ms}$$

$$\%CT = \frac{T_i}{T_i + T_c} \times 100$$

$$\%28 = \frac{T_i}{24} \times 100$$

$$T_i = 6.72 \text{ ms}$$

$$T_o = 17.28 \text{ ms}$$

3.9.3 Cálculo de prueba aceleración brusca 7000 RPM

Datos:

$$N = 7000 \text{ rpm.}$$

$$\%CT = 28$$

$$N = \frac{60000}{T}$$

$$7000 = \frac{60000}{T}$$

$$T = \frac{60000}{7000}$$

$$T = 8.57 \text{ ms}$$

$$\%CT = \frac{T_i}{T_i + T_c} \times 100$$

$$\%28 = \frac{T_i}{8.57} \times 100$$

$$T_i = 2.4 \text{ ms}$$

$$T_o = 6.17 \text{ ms}$$

3.9.4 Cálculo de prueba altas revoluciones 6000 RPM (reverse flush).

Datos:

$$N = 6000 \text{ rpm.}$$

$$\%CT = 28$$

$$N = \frac{60000}{T}$$

$$6000 = \frac{60000}{T}$$

$$T = \frac{60000}{6000}$$

$$T = 10 \text{ ms}$$

$$\%CT = \frac{T_i}{T_i + T_c} \times 100$$

$$\%28 = \frac{T_i}{10} \times 100$$

$$T_i = 2.8 \text{ ms}$$

$$T_o = 7.2 \text{ ms}$$

CAPÍTULO IV.

PRUEBAS EN EL BANCO PARA DIAGNÓSTICO Y MANTENIMIENTO EN SISTEMA DE INYECCIÓN GDI



Figura 116 Banco de pruebas para inyección GDI “Femax”

El equipo dispone de probetas para medición de volumen de inyección además de un control electrónico de cada una de sus procesos de comprobación para 4 inyectores. El banco incorpora una rampa de inyectores por donde se suministra el fluido de prueba para estos y además manómetros que indican la presión tanto en el circuito de alta como de baja y dispone de una bandeja de servicio.

4.1 Características principales.

- Sistema hidráulico con reguladores en los circuitos de alta y baja presión.
- Botonera de control y Display.
- Puerto USB para modificación de tiempos de inyección.
- Alimentación de 110 V AC.

4.2 Características del circuito de control de inyectores y electroválvulas.

- Modificación de la amplitud de los pulsos de acuerdo a las revoluciones que se desea trabajar eso con los cálculos preestablecidos.
- Pantalla de información.
- Información básica previa a la puesta en marcha del banco.

- Alarma de aviso al finalizar la prueba seleccionada.
- Botón de reinicio.

4.2.1 Ventajas

- El equipo puede trabajar hasta con seis inyectores.
- Operación sencilla y rápida.
- Interruptores para activación y desactivación del sistema hidráulico.
- Depósito de fácil acceso para mantenimiento.
- Probetas graduadas.
- Montaje y desmontaje rápido de los inyectores.

4.2.2 Especificaciones técnicas.

Se detalla los sistemas y componentes que se requieren activar para desarrollar las pruebas en el banco.

Tabla 12.
Tabla de características de activación.

Sistema de Accionamiento del Circuito Hidráulico.
En el tanque va ubicada una bomba eléctrica con activación de 12V DC que alimenta a la bomba que eleva la presión en el banco, dicha bomba es puesta en marcha con un motor monofásico de 0,75 kW (1 hp) mediante poleas y banda, ambas activadas por dos interruptores situados junto a los manómetros del banco.

4.2.3 Presiones de trabajo del banco de pruebas

Se requiere cierta cantidad de presión de combustible para abastecer la bomba de alta presión y otra para efectuar las pruebas en los inyectores, se debe tomar en cuenta que debe existir la cantidad de fluido de prueba necesario para mantener constantemente al sistema hidráulico funcionando correctamente.

Tabla 13.
Presiones de trabajo del equipo y capacidad

Circuito de Baja Presión.
Regulación de la presión de 30 – 110 Psi.
Circuito de Alta Presión.
Regulación de presión de 500 – 1500 Psi.
Capacidad del Deposito
5 galones americanos (19 litros).

4.2.4 Sistema de diagnóstico.

Para el diagnóstico de inyectores GDI referenciarse en una característica muy importante que es el volumen inyectado por lo que se detalla en la Tabla 4.3 las características de las probetas utilizadas y las presiones de trabajo.

Tabla 14.
Manómetros de presión.

Instrumentos de Medición.
Probetas resistentes debidamente graduadas sobre el banco de 250 ml, dos manómetro analógicos de 0 – 160 Psi (11 bar) y de 0 – 1500 Psi (100 bar).

4.2.5 Dispositivos adicionales.

Se usó dispositivos complementarios para evitar accidentes de trabajo y asegurar un correcto funcionamiento del circuito hidráulico.

Tabla 15.
Instrumentos adicionales.

Otros Instrumentos
Válvula anti retorno o unidireccional de 5000 Psi y válvula de paso de para aliviar la presión en el circuito de alta.

4.2.6 Alojamiento del inyector.

Se requiere un lugar de alojamiento adecuado donde deben efectuarse las pruebas de los inyectores donde se suministra fluido a determinada presión.

Tabla 16.
Ubicación de los inyectores

Montaje y Desmontaje
Para realizar las pruebas en el banco, los inyectores se ubican en alojamientos cilíndricos entre el riel y las probetas y se sujetan mediante dos elementos de ajuste.

4.2.7 Suministro de la señal de activación.

El banco de pruebas tiene la capacidad de generar una señal simultánea para un máximo de seis inyectores generadas a través del

sistema de control electrónico el cual distribuye los pulsos de activación a determinados tiempos.

Tabla 17.
Cables de señal para los inyectores

Conexiones
El equipo dispone de 6 cables de señal que se conectan directamente en los sockets de señal de los inyectores.

4.2.8 Aplicaciones.

Se debe tener precaución con los inyectores a probar puesto que este es un equipo que controla altos niveles de corriente característicos en los sistemas de inyección GDI y debido a esto se prohíbe su aplicación en inyectores PFI .

Tabla 18.
Aplicaciones del banco.

Cobertura
El diseño del circuito de potencia permite comprobar exclusivamente inyectores GDI debido a su baja resistencia por lo que el banco suministra un alto amperaje por las características de activación de dichos inyectores.

4.2.9 Requerimiento de instalación.

Dado que este equipo incorpora un motor monofásico que acciona la bomba de alta presión y transformadores eléctricos que suministran electricidad a los demás sistemas del banco, está diseñado para que todos estos componentes se energicen mediante un tomacorriente doméstico común en cualquier taller o domicilio.

Tabla 19.
Tensión de trabajo.

Alimentación Eléctrica
Toma corriente de 110V 60 Hz.

4.2.10 Liquido de pruebas.

Se requieren ciertas características en el fluido de pruebas como propiedades lubricantes ya que estamos usando una bomba de alta de un

sistema CRDi y que el líquido no produzca demasiada espuma debido a la elevada presión que maneja el equipo.

Tabla 20.
Características del fluido de pruebas.

Características
El banco de pruebas está diseñado para operarse con un fluido tipo aceite para la comprobación de los inyectores. Es necesario que el líquido utilizado tenga las siguientes propiedades: lubricante, antiespumante, anticorrosiva, disolvente y refrigerante por lo cual se recomienda el fluido de prueba C-3112 Tipo 2.

4.3 Procedimiento para pruebas.

- Llenar el depósito con el fluido de prueba. El equipo utiliza el fluido de prueba Rock Valley C-3112 tipo 2. Retirar la manguera de retorno de la válvula de alivio para llenar el depósito con los 5 galones de su capacidad.
- Regular las dos válvulas de alivio en 0 (totalmente hacia la izquierda).
- Cuando el sistema hidráulico no está operando siempre al final de cada prueba aliviar la presión a través de la válvula de paso hacia el tanque para evitar el consumo innecesario de potencia y para retirar los inyectores del riel.
- Verificar el nivel del fluido de prueba para no provocar daños en el sistema hidráulico.
- Al terminar una prueba siempre abrir la válvula de paso para aliviar la presión en el sistema de alta.
- Verificar la saturación del filtro del circuito de baja.
- De ser necesario sustituir el juego de o-ring de alojamiento de inyectores para realizar las pruebas y evitar posibles fugas en el sistema.
- Las operaciones de mantenimiento y reparación en el banco se deben realizar con orden y limpieza.
- Utilizar las normas de seguridad respectivas para cuidar de la integridad física del operador y del banco de pruebas.

ADVERTENCIA: No encender el sistema hidráulico sin antes haber colocado los inyectores y sujetado el riel en la base, de no hacerlo el fluido saldrá por los alojamientos de los inyectores por lo que estos saldrán expulsados debido a la presión y provocar un accidente.

4.3.1 Revisión de los inyectores.

La verificación inicial que se debe realizar a cada uno de los inyectores, es su resistencia interna, para eso es necesario ubicar el multímetro en la disposición de resistencia y evaluar su valor, el dato exacto de resistencia lo suministra el catalogo del modelo o al menos se debe realizar una prueba comparativa.

1. COLOCACIÓN DE LOS INYECTORES

- Cuidadosamente limpiar los inyectores en la bandeja de servicio antes de ser ubicados en el riel con spray limpia carburadores.
- Verificar el estado de los o-ring de alojamiento de los inyectores, si alguno se encuentra deteriorado debe ser reemplazado.



Figura 117 Verificación del estado de un “o-ring” de alojamiento inyector.

- Lubricar el o-ring de alojamiento de cada uno de los inyectores antes de ser ubicado en el riel.
- Colocar los inyectores en el riel y verificar que se encuentran correctamente ubicados.



Figura 118 Conjunto riel-inyectores.

- Colocar el riel con los inyectores sobre la base y observar que estos estén ubicados dentro de las probetas.



Figura 119 Ubicando los inyectores dentro de las probetas.

- Colocar los elementos de sujeción para que el conjunto riel-inyectores se mantenga fijo sobre la base.



Figura 120 Riel de inyectores fijado sobre la base.

- Conectar la cañería flexible del riel al acople de suministro hidráulico.

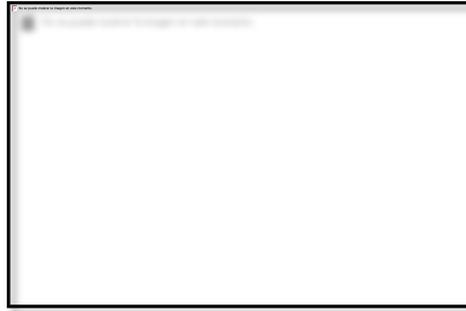


Figura 121 Conexión de la manguera al acople surtidor de líquido.

- Conectar los cables de señal en los inyectores.

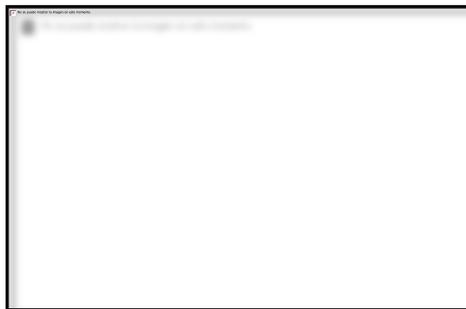


Figura 122 Conexión de los cables de señal.

Luego de esta operación se debe evaluar el correcto funcionamiento del inyector, para esto se utiliza un banco de inyectores dispuesto para esta operación.

2. DESMONTAJE DE LOS INYECTORES

- Esperar que se haya terminado la prueba iniciada en el banco y presionar el pulsador “MENU” mientras suena la alarma que indica el final de la prueba.



Figura 123 Prueba de spray finalizada.

- Desactivar los sistemas hidráulicos de baja y alta presión del equipo.

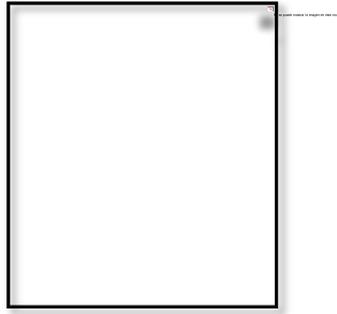


Figura 124 Interruptores.

- Abrir la válvula de bypass para aliviar la presión en el sistema de alta.



Figura 125 Válvula de paso

- Desconectar la cañería de suministro del riel.

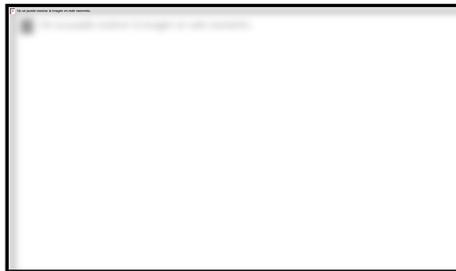


Figura 126 Desconexión de la cañería del riel.

- Retiro los elementos de sujeción del riel.

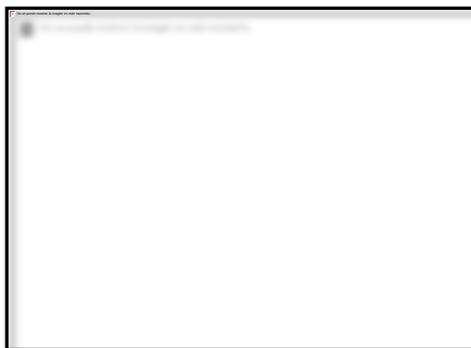


Figura 127 Extracción de las turcas de sujeción.

- Retiramos el conjunto riel-inyectores de la base.
- Desmontar uno por uno los inyectores ubicados en el riel sobre la bandeja de servicio.
- Secar los inyectores.

3. PRUEBAS EN EL EQUIPO

El equipo “Femax” para pruebas y diagnóstico en inyectores GDI dispone de 4 pruebas con diferentes etapas y 1 prueba que es la de auto limpieza.

Tabla 21.

Características de funcionamiento de las pruebas.

Condición	Prueba	Presión		Duración	Amplitud de pulso
		Baja	Alta		
Prueba por Prueba	Flujo	3 bar	30 – 80 bar	5 seg.	5000 ms
	Estanqueidad	3 bar	30 – 80 bar	10 seg.	0 ms
	Spray	3 bar	30 – 80 bar	30-43 seg.	8,57 – 75 ms
	Reverse	3 bar	30 – 80 bar	20 seg.	10 – 75 ms
Prueba automática	Auto clean	3 bar	30 – 80 bar	63 seg.	8,57 – 75 ms

Al inicio del control electrónico en la pantalla se muestra la siguiente información:



Figura 128 Secuencia de información mostrada una vez encendido el banco

Con la botonera de control se selecciona que prueba iniciar según las necesidades del operando el equipo.



Figura 129 Botonera de control.

4.4 PRUEBAS DE COMPROBACIÓN Y DIAGNOSTICO DEL EQUIPO “FEMAX” PARA INYECTORES GDI

<u>CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ ESPE LATACUNGA</u> <u>INFORME DE PRACTICA DEL EQUIPO DE DIAGNOSTICO “FEMAX”</u>			
Félix Mayorga Martín Núñez	Practica N° 01	2015/10/01	
Tema: Introducción		Asignatura: Autotrónica III	

OBJETIVOS

- Conocer y verificar todos los componentes del equipo por ejemplo niveles del fluido del depósito, comprobar que los interruptores de encendido del sistema hidráulico estén desactivados, normas de seguridad, etc.
- Conocer sobre el funcionamiento y operación del banco de pruebas.
- Realizar una tabla de mediciones de resistencia de cada uno de los inyectores y otra de identificación de componentes.

EQUIPO

- Banco de pruebas para inyectores GDI
- Indumentaria de seguridad
- Multímetro

- Inyectores
- Caja de herramientas

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Una vez designados los grupos de trabajo se inicia la práctica con las mediciones pertinentes y limpieza en los inyectores GDI.

- Limpiar los inyectores en la bandeja de servicio, se recomienda usar líquidos no muy fuertes que puedan alterar el funcionamiento de los inyectores.
- Con un multímetro en la opción de Ω medir en cada uno de los inyectores sus respectivas resistencias internas, tomar en cuenta que se debe medir primero la resistencia entre las puntas del multímetro y se la debe restar de la medida en el inyector y esta diferencia es el valor real de resistencia de cada uno de los inyectores y llenar la siguiente tabla:

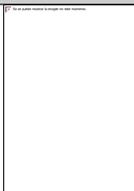


Figura 130 Medición de la resistencia interna de los inyectores.

Tabla 22.
Resistencia interna de los inyectores.

Inyector #	Imagen	Resistencia
1		1,7 Ω - 0,6 Ω 1,1 Ω

CONTINÚA 

2		1,7 Ω - 0,6 Ω 1,1 Ω
3		1,5 Ω - 0,6 Ω 0,9 Ω
4		1,5 Ω - 0,6 Ω 0,9 Ω

- Con el multímetro ahora se procede a medir la corriente de consumo de los inyectores realizar un tabla de valores.

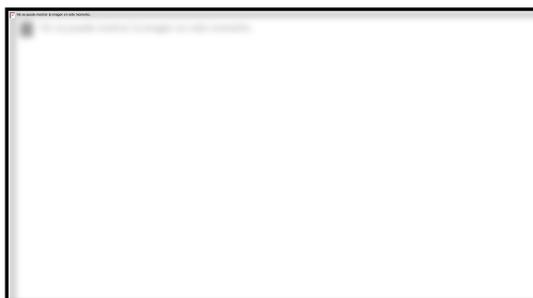
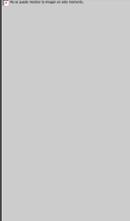


Figura 131 Conexión del multímetro para medición de corriente.

Tabla 23.
Corriente de consumo en las distintas pruebas.

Prueba	Imagen	Corriente
Atomización (Spray test)		1, 308 A

CONTINÚA 

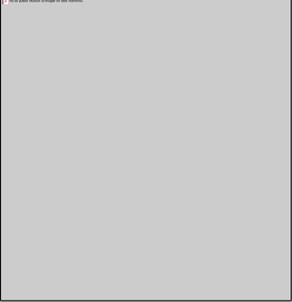
Inyección (Injecting)		3,275 A
Reversa (Reverse)		0,449 A

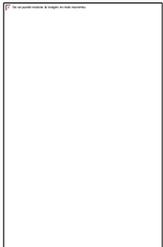
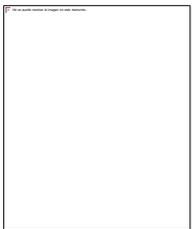
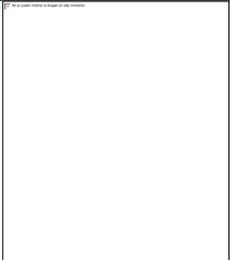
- Colocar los inyectores en el riel para luego ser asegurados junto al riel en la base.
- Conectar la cañería flexible de alta presión del riel en el acople de suministro de fluido y verificar que la válvula de paso este completamente cerrada.
- Identificar cada uno de los componentes que conforman el banco de pruebas y llenar una tabla con cada una de sus características.

Tabla 24.
Reconocimiento de componentes.

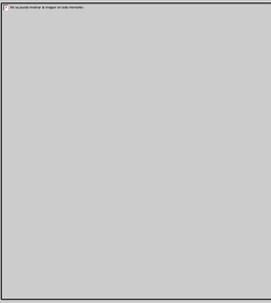
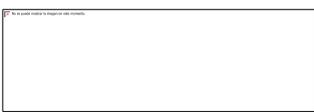
Componente	Imagen	Ubicación	Características
Deposito		Parte inferior de la estructura	Almacena el fluido de prueba y tiene una capacidad de 19 litros.
Bomba eléctrica		Va sujeta en la parte superior del deposito	Se encarga de suministrar el fluido la bomba de alta y es activada con un voltaje de 12V DC, 11 bar

CONTINÚA 

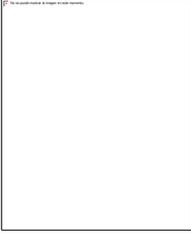
Filtro		A la salida de la bomba eléctrica	Filtro metálico para gasolina
Fuente de alimentación de la bomba eléctrica		En la parte interna de la estructura en la parte izquierda	Es un transformado de 110V a 12V AC de 1A con una etapa de rectificación de voltaje.
Cañerías de retorno		Van conectadas en la parte trasera del deposito	Cañería flexible transparente por donde retorna el fluido de prueba proveniente de las probetas
Motor eléctrico		En la parte inferior de la estructura	Motor monofásico de 110V AC de 8A a 1730 rpm
Bomba de alta presión		En la parte inferior de la estructura	Denso HP3 SM294000-0900 CRDi 1350 bar.
Poleas		En el eje del motor eléctrico y la bomba de alta	De aluminio de 5 cm y 15 cm de diámetro respectivamente

Banda		Entre el motor eléctrico y la bomba	Transmite el movimiento del motor eléctrico a la bomba
Cañerías de alta presión		Desde la salida de la bomba de alta hasta la cañería del riel.	SAE 100R2AT 6 3/8" WP 330 Bar/4785 PSI
Válvula Check		Ubicada a continuación de la bomba de alta.	Válvula de 5000 Psi, 3/4
Manómetro		En la parte superior de la estructura	0 – 160 Psi
Manómetro		En la parte superior de la estructura	0 – 1500 Psi
Válvula de alivio		A continuación de la válvula check	Regula la presión en el sistema desde 500 a 1500 Psi

CONTINÚA 

Válvula de paso		En la parte exterior del banco del lado izquierdo junto a las canaletas de ventilación.	Válvula de manija de 5/8
Unidad de control		En la parte superior de la estructura	Parte medular del banco donde se controla tanto los pulsos para los inyectores y observar las pruebas
Botonera		En la parte frontal de la unidad de control	Es una lámina con 9 pulsadores normalmente abiertos
Riel		En la parte superior del banco	Construido en aluminio 6061 con alojamientos para los inyectores
Probetas		Debajo del riel	Probetas de vidrio graduadas con una capacidad de 120 ml
Interruptor		Junto a los manómetros	Conmutadores de dos posiciones con protección 250V y 15A
Bandeja de servicio		Junto a la unidad de control del banco	Elaborada en tol (A-36)

CONTINÚA 

Acople rápido		En la parte superior de la estructura	Válvula de acople rápido de 5/8
----------------------	---	---------------------------------------	---------------------------------

- Conectar la alimentación de corriente al banco y observar la información que se muestra en la pantalla.
- Con un ordenador portátil conectar el cable de comunicación del circuito de control y verificar que el programa del controlador del banco este previamente cargado, de no ser así subir de nuevo la programación. Opcionalmente se pueden modificar parámetros en la codificación como por ejemplo los tiempos de duración de una determinada prueba o la amplitud de los pulsos de apertura para los inyectores.

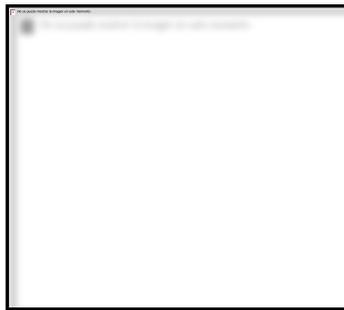


Figura 132 Introducción del programa mediante el puerto USB del banco.

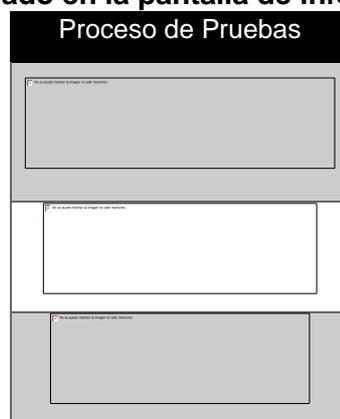
- Antes de iniciar la primera prueba pulsar el botón de información y leer las precauciones y recomendaciones mostradas en la pantalla luego pulsamos el botón de menú para poder continuar con las pruebas.



Figura 133 Botón de información del banco de pruebas.

- Para información adicional se programó este botón con el fin de entregar información adicional donde se detalla aspectos como la seguridad del operador y los contactos de los diseñadores del equipo en el caso de presentarse alguna duda o sugerencia
- Seleccionar cualquier prueba y observar la secuencia de la información que se muestra y llenar la siguiente tabla con la información desplegada en la pantalla.

Tabla 25.
Proceso de pruebas mostrado en la pantalla de información.



- Desconectar la cañería de alta presión del riel del acople surtidor, y luego encender la bomba de baja y observar que el manómetro empieza marca alrededor 3 bares y luego se enciende el motor eléctrico y verificar que la presión en el sistema de alta marca aproximadamente 80 bares y que el sistema hidráulico funcione aproximadamente un minuto.
- Desactivar las bombas y con la válvula paso aliviamos la presión para eliminar cualquier riesgo al desmontar los inyectores.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Un inyector GDI se caracteriza por tener una corriente de alimentación muy elevada, esto quiere decir que su resistencia interna es muy pequeña alrededor de 1Ω aproximadamente.
- La presión óptima de funcionamiento en los sistemas GDI es a partir de 40 bares que es la presión de arranque hasta una máxima 207 bares lo que garantiza una pulverización eficiente de combustible.

- La bomba Denso HP3 CRDi garantiza una presión permanente a un régimen de revoluciones constante.
- La bomba de baja presión ofrece un suministro adecuado para la bomba de alta a una presión regulada por una válvula de alivio variable.
- El uso de un circuito de control programable realiza ajuste en los tiempos de apertura de los inyectores mediante una PC a través de un puerto USB si se requiere llevar a cabo una prueba bajo condiciones particulares.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El uso adecuado del equipo permite que las pruebas sean lo más óptimas posibles permitiéndole al operador brindar un diagnóstico acertado sobre la condición de cada uno de los inyectores.
- Siempre llevar los implementos de limpieza y seguridad antes de usar el equipo, esto permite un ofrecer un mejor servicio de mantenimiento y diagnóstico.
- La modificación de parámetros de funcionamiento de las pruebas del equipo tanto en el sistema de control como en el hidráulico permite realizar comprobaciones a casi cualquier condición de trabajo existente en sistema de inyección GDI.
- La resistencia interna de cada uno de los inyectores obtenidas con el multímetro demuestra que estos componentes requieren una elevada cantidad de amperaje para su activación.

4.4.1 Pruebas para diagnóstico de inyectores

Esencialmente existen tres pruebas necesarias para poder diagnosticar inyectores:

- Prueba de atomización (Spray Test).
- Prueba de estanqueidad (Leakage Test).
- Prueba de volumen de inyección (Injecting Test).

Sin embargo hemos visto la necesidad de programar una prueba más la cual se considera una prueba de atomización pero a altas revoluciones antes de que se realice el corte de inyección a unas RPM a las que pueden llegar sin problema los vehículos, en este caso la prueba se denomina:

- Reverse Flush.

a. Prueba de atomización (Spray Test)

En esta prueba se avalúa un correcto cono de atomización para cada uno de los inyectores, lo interesante es que ninguno presente diferencia de cono con los otros, ni tampoco que se genere gota en medio del cono.

b. Prueba de estanqueidad (Leakage Test)

En esta prueba se avalúa el correcto sellado del inyector cuando es sometido a presión y no es activado con ningún pulso, para esta prueba el banco eleva la presión del riel, y no activa el inyector. Si el inyector gotea indicara una fuga en la válvula del mismo.

c. Prueba de volumen de inyección (Injecting Test)

En esta prueba se busca evaluar la diferencia en volumen que existe entre el llenado de un inyector con respecto a otro inyector, para esto se colocan todos los inyectores en el banco a un nivel de presión constante. El equipo provee una activación igual en tiempo para todos de esta forma en un tiempo determinado se deben observar las diferencias en los volúmenes de inyección vertidos en cada probeta.

d. Prueba de reversa (Reverse Flush)

En esta prueba se evalúa un correcto cono de atomización pero simula en este caso 6000 RPM por lo que la activación que envía el equipo es más corto es decir los pulsos que se observaran tanto en la gráfica del osciloscopio como la atomización del inyector serán mayores a los de las pruebas de ralentí y 2500 RPM.

4.5 Pruebas de inyectores a ralentí 800 RPM, 600Psi.

<u>CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ ESPE LATACUNGA</u>		
<u>INFORME DE PRACTICA DEL EQUIPO DE DIAGNOSTICO "FEMAX"</u>		
Félix Mayorga Martin Núñez	Practica N° 02	2015/10/01
Tema: Prueba a Ralentí	Asignatura: Autotrónica III	

OBJETIVOS

- Realizar el test de inyectores a condiciones de funcionamiento a bajas rpm de un sistema GDI.
- Verificar si el ángulo de atomización de los inyectores es el adecuado.
- Verificar si existe alguna variación significativa entre cada inyector en el volumen producido.
- Obtener el oscilograma de la señal de activación de los inyectores en cada una de las pruebas
- Realizar una tabla de comparación de los datos obtenidos.

EQUIPO

- Banco de pruebas para inyectores GDI
- Indumentaria de seguridad
- Osciloscopio
- Multímetro
- Inyectores
- Caja de herramientas

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

- Conectar la cañería flexible de alta presión del riel en el acople de suministro de fluido y verificar que la válvula de paso este completamente cerrada.
- Conectar la alimentación de corriente al banco y observar la información que se muestra en la pantalla.

- Con un ordenador portátil conectar el cable de comunicación del circuito de control y verificar que el programa del controlador del banco este previamente cargado, de no ser así subir de nuevo la programación. Opcionalmente se pueden modificar parámetros en la codificación como por ejemplo los tiempos de duración de una determinada prueba o la amplitud de los pulsos de apertura para los inyectores.

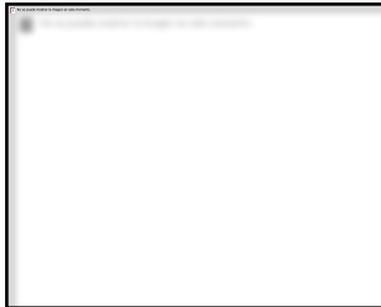


Figura 134 Introducción del programa para bajas rpm.

- Conectar los cables a cada uno de los inyectores.



Figura 135 Conexión de los cables de señal de los inyectores.

- Regular la presión en el sistema de alta presión ajustando el tornillo de la válvula de alivio hasta que el manómetro indique una presión de 600 Psi.



Figura 136 Ajuste de la presión de alivio en el sistema de alta presión.

- Activar el interruptor del circuito de baja presión hasta observar que la aguja del manómetro se estabilice y luego se realiza el mismo procedimiento con el circuito de alta presión.
- Iniciar con la prueba de atomización y llenar la siguiente tabla de valores y obtener señales con el osciloscopio.

Tabla 26.
Datos obtenidos a régimen de 800 rpm.

Inyector	Resistencia Ω	RPM	Ti (ms)	Toff (ms)	%CT	Presión (Psi)	Volumen (ml)	α Inyección ($^{\circ}$)	Corriente A
1	1,1	800	21	54	28	600	80	51	1,308
2	1,1	800	21	54	28	600	84	41.6	1,308
3	0,9	800	21	54	28	600	98	40.1	1,308
4	0,9	800	21	54	28	600	82	41.6	1,308

Análisis: Se muestran valores similares de corriente característicos en aperturas de inyectores con tiempos prolongados, de igual manera ángulos de cono de atomización uniformes y de acuerdo a la presión de operación del banco a un régimen de 800 rpm sin que se evidencie ninguna clase de fuga o goteo en la mitad el cono de pulverización.

- De la misma manera realizar la prueba de estanqueidad y una vez culminada la prueba llenar la tabla.

Tabla 27.
Datos obtenidos en la prueba de estanqueidad.

Inyector	Resistencia Ω	RPM	Ti (ms)	Toff (ms)	%CT	Presión (Psi)	Volumen (ml)	α Inyección ($^{\circ}$)	Corriente A
1	1,1	800	0	0	0	600	0	0	0
2	1,1	800	0	0	0	600	0	0	0
3	0,9	800	0	0	0	600	0	0	0
4	0,9	800	0	0	0	600	0	0	0

Análisis: Se verifica que en la punta del inyector no exista goteo o alguna clase de fuga que pueda traducirse en problemas de mal funcionamiento en el motor.

- Poner en marcha la prueba de inyección y en base a los resultados llenar la tabla de datos y obtener los oscilogramas correspondientes.

Tabla 28.
Datos obtenidos de la prueba de inyección

Inyector	Resistencia Ω	RPM	Ti (ms)	Toff (ms)	%CT	Presión (Psi)	Volumen (ml)	\angle Inyección ($^{\circ}$)	Corriente A
1	1,1	800	5000	0	0	600	26	51	3,275
2	1,1	800	5000	0	0	600	30	41.6	3,275
3	0,9	800	5000	0	0	600	32	40.1	3,275
4	0,9	800	5000	0	0	600	28	41.6	3,275

Análisis: Se obtiene el volumen inyectado promedio que en este caso es 29 ml y calcular la tolerancia de +/- 10% (2,9 ml), el ángulo de cono del inyector número uno muestra un alto grado de inclinación con respecto a los demás.

- Finalmente iniciar la prueba de reverse y registrar los resultados en el cuadro.

Tabla 29.
Datos obtenidos de la prueba de reverse.

Inyector	Resistencia Ω	RPM	Ti (ms)	Toff (ms)	%CT	Presión (Psi)	Volumen (ml)	\angle Inyección ($^{\circ}$)	Corriente A
1	1,1	6000	2.78	7.2	28	600	32	51	0,449
2	1,1	6000	2.78	7.2	28	600	30	41.6	0,449
3	0,9	6000	2.78	7.2	28	600	34	40.1	0,449
4	0,9	6000	2.78	7.2	28	600	42	41.6	0,449

Análisis: Esta prueba se realiza únicamente para evaluar el cono de atomización es decir que se verifica la calidad de la atomización del fluido que realiza el inyector mediante pulsos de inyección muy cortos como se observa en la tabla obteniendo un ángulo de inyección diferente al resto en el actuador #1 de 51° y donde el inyector #4 entregó un volumen de 42 ml relativamente elevado con respecto a los demás.

- Elaborar gráficas comparativas en función de dos valores con los datos que se obtuvieron durante las pruebas para emitir un análisis de cada uno de los inyectores.

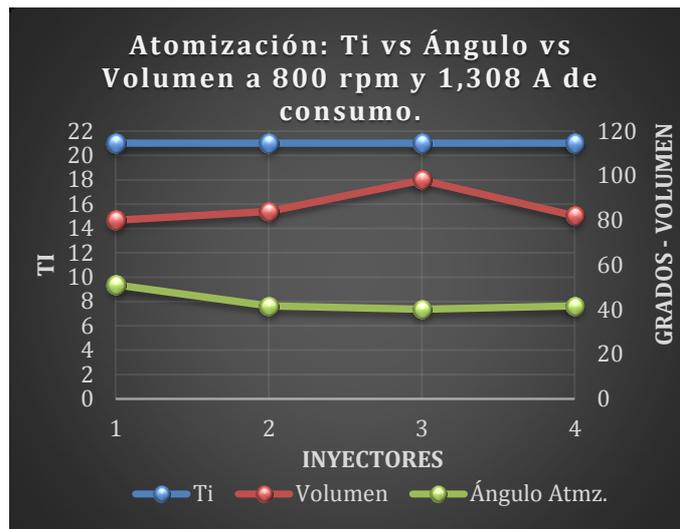


Figura 137 Grafica comparativa de datos Ti vs Volumen vs Ángulo.

En función de parámetros como la corriente consumida, la presión de trabajo y tiempo de activación de los inyectores que se mantienen constantes se identifica un incremento significativo del volumen en el inyector #3 de la misma manera que el ángulo de atomización en el inyector #4 donde se tiene el valor más bajo de volumen inyectado.

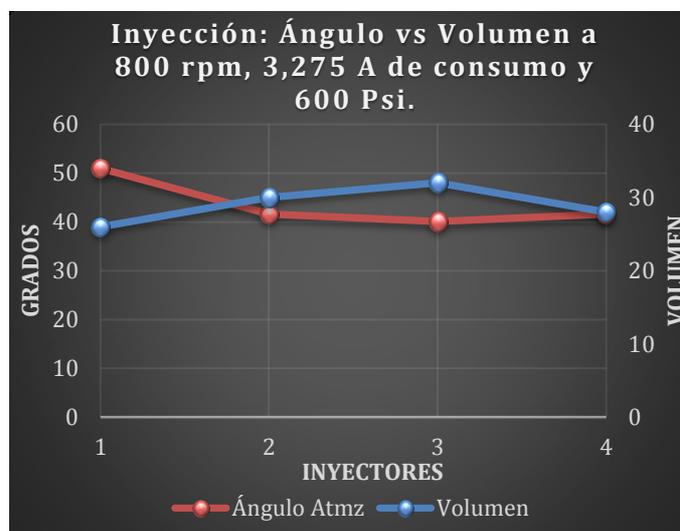


Figura 138 Grafica comparativa Angulo vs Volumen.

A mayor ángulo de atomización el volumen de fluido inyectado va disminuyendo, esto indica que la presión de inyección en la punta del inyector es mayor en razón de que el ángulo del cono de determinado actuador sea mayor con respecto a otros y no depende mayormente del ancho de pulso ni la corriente de consumo.

- Obtener los oscilogramas de la señal de activación de los inyectores con el equipo “OWEN” para verificar que los tiempos de apertura sean los calculados previamente, usar una escala de voltaje y tiempo adecuada para obtener las gráficas del osciloscopio lo más claras posibles.



Figura 139 Conexión del osciloscopio para la obtención de la curvas de la señal de activación de los inyectores.

- Obtener las curvas de los inyectores y en base a la gráfica emitir un análisis que posteriormente contribuya a un diagnóstico efectivo.

Inyector #1

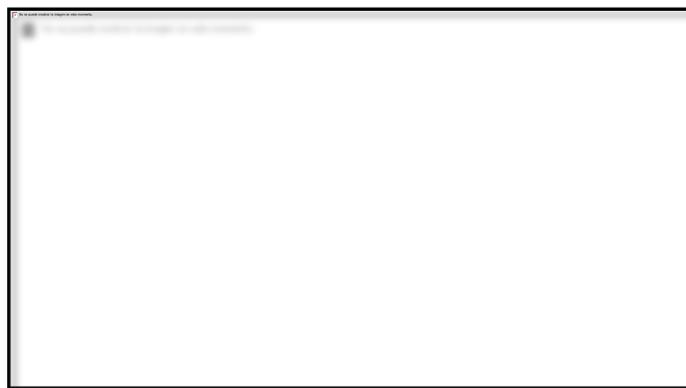


Figura 140 Oscilograma del inyector #1 en la prueba de spray a 800 rpm.

Tabla 30.

Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
10 ms/div	10 V/div	74,9 ms	13,3 Hz	29,2 V

El período de 74,9 ms aproximados con un voltaje pico del inyector de 29,2 V presentado posteriormente al momento de apertura del inyector, el tiempo

de apertura es de 21 ms aproximadamente en la parte donde la señal aterriza a masa del transistor.

Inyector #2



Figura 141 Oscilograma del inyector #2 en la prueba de spray a 800 rpm.

Tabla 31.

Tabla de datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
25 ms/div	10 V/div	74,9 ms	13,34 Hz	28,8 V

El tiempo de apertura del inyector a una escala del osciloscopio de 25 ms/div es de 21 ms aproximadamente, el pico inductivo producido es de 28,8 V, el período de 74,9 ms se aproxima al obtenido mediante cálculos, los pequeños picos de voltaje producidos durante la apertura del inyector se deben a la aguja o “pungir” es magnética por lo que produce un efecto de inducción generando voltaje parasito en la señal

Inyector #3



Figura 142 Oscilograma del inyector #3 en la prueba de spray a 800 rpm.

Tabla 32.
Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
25 ms/div	10 V/div	74,8 ms	13,355 Hz	24 V

El voltaje pico máximo obtenido por el osciloscopio es de 24 V debido a la saturación del inyector en el instante de apertura del mismo de igual forma el período de 74,8 ms corresponde al calculado como lo que sucede con el tiempo de activación del inyector 21 ms a una escala de 25 V/div.

Inyector #4



Figura 143 Oscilograma del inyector #4 en la prueba de spray a 800 rpm.

Tabla 32 .
Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
25 ms/div	10 V/div	74,9 ms	13,35 Hz	28 V

El período de oscilación de la señal de activación del inyector número 4 no difiere de los anteriores de igual manera se observa un voltaje pico de 28 V posterior al tiempo de apertura del inyector de 21 ms aproximadamente y un tiempo en off de 54 ms.

Inyector del #1 al #4



Figura 144 Señal de activación y tiempo en off del inyector durante el test de inyección.

Tabla 33.

Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
2,5 s/div	10 V/div	-	-	22,4 V

Se observa el instante en que el transistor activa al inyector aterrizándolo a masa durante un determinado intervalo de tiempo hasta que culmine el test de inyección, se observa instante en que el voltaje se mantiene a 5 V aproximadamente debido al período en el que el inyector se encuentra saturado hasta que finalmente regresa a su estado normalmente cerrado; Este análisis es aplicable para el resto de inyectores puesto que la señal generada es simultánea.

Inyector del #1 al #4



Figura 145 Señal de activación para el inyector durante la prueba de reverse.

Tabla 34.
Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
5 ms/div	10 V/div	14,04 ms	71,19 Hz	29,2 V

El voltaje pico en la señal corresponde a 29,2 V con tiempos de activación cortos de aproximadamente 2,2 ms que se asemejan a los calculados de la misma forma con el período de 14,04 ms medidos por el osciloscopio, la señal que indica la saturación del inyector en ocasiones viene acompañada posteriormente por una breve señal de amortiguación.

- Realizar las respectivas evaluaciones de cada uno de los inyectores en función de los datos obtenidos para determinar su estado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los inyectores se encuentran en un buen estado debido a que existen variaciones un poco significativas en el volumen entregado, sin embargo están dentro de los parámetros necesarios para un funcionamiento estable.
- En las pruebas de estanqueidad se evidencio un óptimo sello en la punta del inyector ya que no se tuvo ninguna clase de fuga o goteo.
- Durante la prueba de reverse el inyector pulverizo correctamente el combustible ya que no se observaba ningún chorro durante la atomización del fluido.
- El ángulo de inyección de cada uno de los inyectores mostraron una leve variación en los ángulos formados por la punta con respecto al punto de contacto con la probeta.
- Se recomienda establecer una escala adecuada en el osciloscopio para obtener graficas claras que permitirán generar un diagnóstico acertado.
- Usar el equipo de seguridad y herramientas necesarias para el desarrollo de las pruebas.
- Revisar que no existan fugas en ningún componente del sistema hidráulico del banco.

4.6 Pruebas de inyectores a 2500 RPM, 600 Psi.

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ ESPE LATACUNGA		
INFORME DE PRACTICA DEL EQUIPO DE DIAGNOSTICO "FEMAX"		
Félix Mayorga Martin Núñez	Practica N° 03	2015/10/01
Tema: Prueba a 2500 rpm	Asignatura: Autotrónica III	

OBJETIVOS

- Realizar el test de inyectores a condiciones de funcionamiento a medias rpm de un sistema GDI.
- Verificar si el Angulo de spray de los inyectores es el adecuado.
- Verificar si existe alguna variación significativa entre cada inyector en el volumen producido.
- Obtener el oscilograma de la señal de activación de los inyectores en cada una de las pruebas
- Realizar una tabla de comparación de los datos obtenidos.

EQUIPO

- Banco de pruebas para inyectores GDI
- Indumentaria de seguridad
- Osciloscopio
- Multímetro
- Inyectores
- Caja de herramientas

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

- Conectar la cañería flexible de alta presión del riel en el acople de suministro de fluido y verificar que la válvula de bypass este completamente cerrada.

- Conectar la alimentación de corriente al banco y observar la información que se muestra en la pantalla.
- Con un ordenador portátil conectar el cable de comunicación del circuito de control y verificar que el programa del controlador del banco este previamente cargado, de no ser así subir de nuevo la programación. Opcionalmente se pueden modificar parámetros en la codificación como por ejemplo los tiempos de duración de una determinada prueba o la amplitud de los pulsos de apertura para los inyectores.

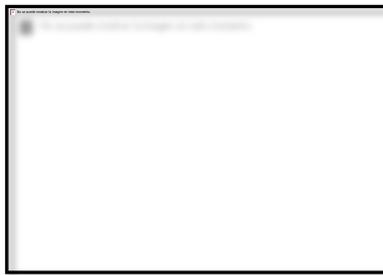


Figura 146 Introducción del programa para 2500 rpm.

- Conectar los cables a cada uno de los inyectores.



Figura 147 Conexión de los cables de señal de los inyectores.

- Regular la presión en el sistema de alta presión ajustando el tornillo de la válvula de alivio hasta que el manómetro indique una presión de 800 Psi.

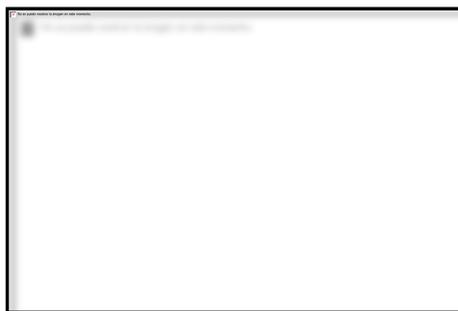


Figura 148 Ajuste de la presión de alivio en el sistema de alta presión.

- Activar el interruptor del circuito de baja presión hasta observar que la aguja del manómetro se estabilice y luego se realiza el mismo procedimiento con el circuito de alta presión.
- Iniciar con la prueba de atomización y llenar la tabla de valores y obtener señales con un osciloscopio.

Tabla 35.
Datos obtenidos a régimen de 2500 rpm.

Inyector	Resistencia Ω	RPM	Ti (ms)	Toff (ms)	%CT	Presión (Psi)	Volumen (ml)	α Inyección ($^{\circ}$)	Corriente A
1	1,1	2500	6.72	17.28	28	800	36	37,3	0,755
2	1,1	2500	6.72	17.28	28	800	38	26,5	0,755
3	0,9	2500	6.72	17.28	28	800	42	28,8	0,755
4	0,9	2500	6.72	17.28	28	800	42	27,3	0,755

Análisis: Se muestran valores similares de corriente característicos en aperturas de inyectores con tiempos prolongados (0,755 A), de igual manera ángulos de cono de atomización uniformes y de acuerdo a la presión de operación del banco a un régimen de 2500 rpm sin evidenciar ninguna clase de fuga o goteo en la mitad el cono de pulverización.

- De la misma manera realizar la prueba de estanqueidad y llenar la tabla de valores.

Tabla 36.
Datos obtenidos en la prueba de estanqueidad.

Inyector	Resistencia Ω	RPM	Ti (ms)	Toff (ms)	%CT	Presión (Psi)	Volumen (ml)	α Inyección ($^{\circ}$)	Corriente A
1	1,1	2500	0	0	0	800	0	0	0
2	1,1	2500	0	0	0	800	0	0	0
3	0,9	2500	0	0	0	800	0	0	0
4	0,9	2500	0	0	0	800	0	0	0

Análisis: Se verifica que en la punta del inyector no exista goteo o alguna clase de fuga que pueda traducirse en problemas de mal funcionamiento en el motor.

- Poner en marcha la prueba de inyección y en base a los resultados llenar la tabla de datos.

Tabla 37.
Datos obtenidos de la prueba de inyección.

Inyector	Resistencia Ω	RPM	Ti (ms)	Toff (ms)	%CT	Presión (Psi)	Volumen (ml)	α Inyección ($^{\circ}$)	Corriente A
1	1,1	2500	5000	0	0	800	26	37,3	3,275
2	1,1	2500	5000	0	0	800	28	26,5	3,275
3	0,9	2500	5000	0	0	800	32	28,8	3,275
4	0,9	2500	5000	0	0	800	26	27,3	3,275

Análisis: Se obtiene el volumen inyectado promedio que en este caso es 28 ml y calcular la tolerancia de +/- 10% (2,8 ml), el ángulo de inyección del inyector número uno muestra un alto grado de inclinación con respecto a los demás pero no se presenta goteo de fluido en la mitad del cono.

- Finalmente iniciar la prueba de reverse y tomar nota de los resultados y obtener los oscilogramas.

Tabla 38.
Datos obtenidos de la prueba de reverse.

Inyector	Resistencia Ω	RPM	Ti (ms)	Toff (ms)	%CT	Presión (Psi)	Volumen (ml)	\angle Inyección ($^{\circ}$)	Corriente A
1	1,1	6000	2.78	7.2	28	600	32	51	0,449
2	1,1	6000	2.78	7.2	28	600	30	41.6	0,449
3	0,9	6000	2.78	7.2	28	600	34	40.1	0,449
4	0,9	6000	2.78	7.2	28	600	42	41.6	0,449

Análisis: Esta prueba se realiza únicamente para evaluar el cono de atomización es decir que se verifica la calidad de la atomización del fluido que realiza el inyector mediante pulsos de inyección muy cortos como se observa en la tabla obteniendo un ángulo de inyección diferente al resto en el actuador #1 de 51° y donde el inyector #4 entrego un volumen de 42 ml relativamente elevado con respecto a los demás.

- Realizar las respectivas evaluaciones de cada uno de los inyectores en función de los datos obtenidos para determinar su estado.
- Elaborar gráficas comparativas con los datos que se obtuvieron durante las pruebas para emitir un análisis de cada uno de los inyectores.

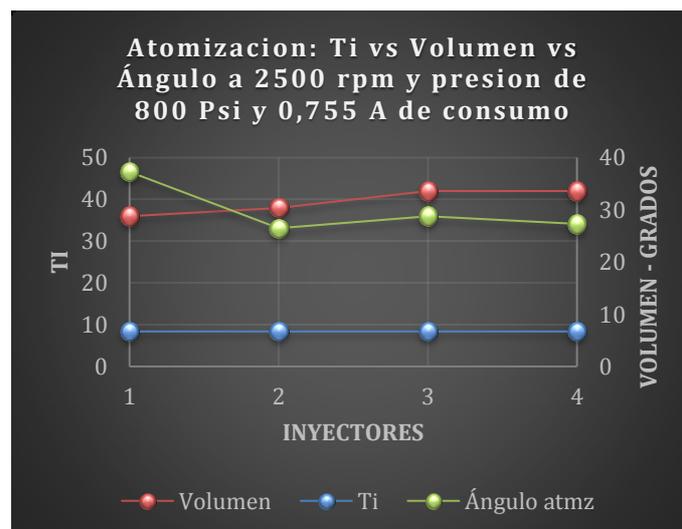


Figura 149 Grafica comparativa de datos Ti vs Volumen vs Ángulo.

En función de parámetros como la corriente consumida, la presión de trabajo y tiempo de activación de los inyectores que se mantienen constantes

permite identificar un incremento significativo en el inyector #3 y #4 en el volumen de la misma manera que el ángulo de atomización en el inyector #1 donde se tiene el valor más bajo de volumen inyectado.

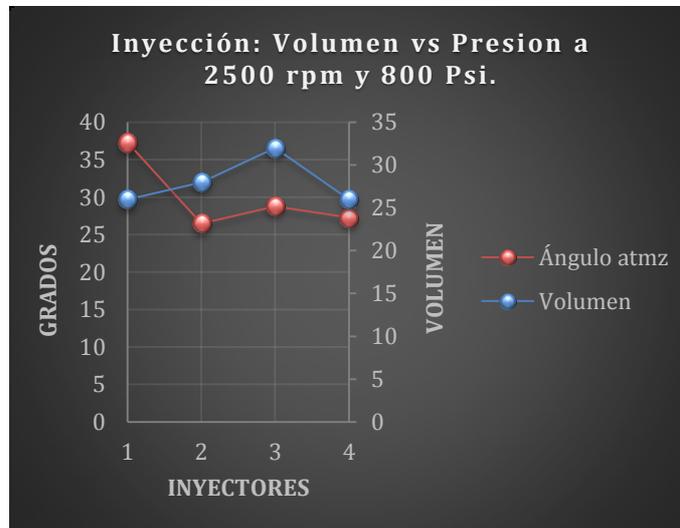


Figura 150 Grafica comparativa Ángulo vs Volumen.

A mayor ángulo de atomización el volumen de fluido inyectado va disminuyendo, esto indica que la presión de inyección en la punta del inyector es mayor en razón de que el ángulo del cono de determinado actuador sea mayor con respecto a otros de menor ángulo de cono y no depende mayormente del ancho de pulso ni la corriente de consumo.

- Obtener los oscilogramas de la señal de activación de los inyectores con el equipo OWON para verificar que los tiempos de apertura sean los que se calcularon previamente, se recomienda usar una escala de voltaje y tiempo adecuada para obtener las gráficas del osciloscopio lo más claras posibles.



Figura 151 Conexión del osciloscopio para la obtención de la curvas de la señal de activación de los inyectores.

- Una vez obtenidas las curvas de cada uno de los inyectores emitir un análisis que posteriormente contribuya a un diagnóstico efectivo.

Inyector #1



Figura 152 Oscilograma del inyector #1 en la prueba de spray a 2500 rpm.

Tabla 39.

Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
25 ms/div	10 V/div	24,9 ms	60,15 Hz	29,2 V

El equipo muestra un periodo de 24,9 ms aproximados con un voltaje pico del inyector de 29,2 V presentado posteriormente al momento de apertura del inyector, el tiempo de apertura es de 6,7 ms aproximadamente en la parte donde la señal aterriza a masa del transistor.

Inyector #2



Figura 153 Oscilograma del inyector #2 en la prueba de spray a 2500 rpm.

Tabla 40.
Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
25 ms/div	10 V/div	24,9 ms	60,15 Hz	27,2 V

El tiempo de apertura del inyector a una escala del osciloscopio de 10 ms/div es de 6,6 ms aproximadamente, el pico inductivo producido es de 27,2 V, el periodo de 24,9 ms se aproxima al obtenido mediante cálculos, los pequeños picos de voltaje producidos durante la apertura del inyector se deben a la aguja o “plunger” es magnética por lo que produce un efecto de inducción generando voltaje parasito en la señal.

Inyector #3



Figura 154 Oscilograma del inyector #3 en la prueba de spray a 2500 rpm.

Tabla 41.
Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
5 ms/div	10 V/div	24,9 ms	60,12 Hz	28 V

El voltaje pico máximo obtenido por el osciloscopio es de 28 V debido a la saturación del inyector en el instante de apertura del mismo de igual forma el periodo de 24,9 ms corresponde al calculado como lo que sucede con el tiempo de activación del inyector 6,7 ms a una escala de 10 V/div.

Inyector #4

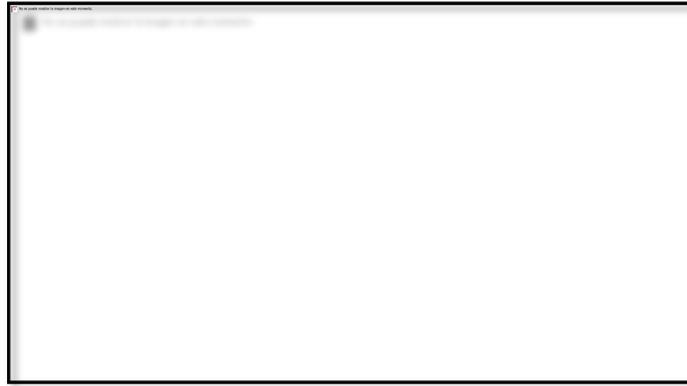


Figura 155 Oscilograma del inyector #4 en la prueba de spray a 2500 rpm.

Tabla 42.

Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
10 ms/div	10 V/div	24,9 ms	60,15 Hz	25,6 V

El periodo de oscilación de la señal de activación del inyector número 4 no difiere de los anteriores de igual manera se observa un voltaje pico de 25,6 V posterior al tiempo de apertura del inyector de 6,7 ms aproximadamente y un tiempo en off de 17,28 ms.

Inyector del #1 al #4

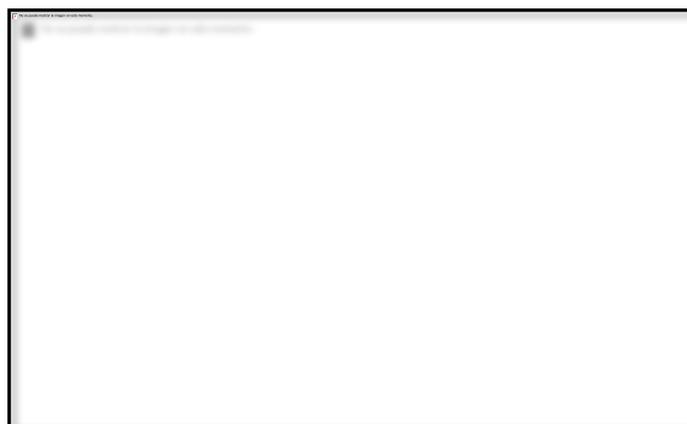


Figura 156 Señal de activación y tiempo en off del inyector durante el test de inyección.

Tabla 43.
Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
2,5 s/div	10 V/div	-	-	22,4 V

Se observa el instante en que el transistor activa al inyector aterrizándolo a masa durante un determinado intervalo de tiempo hasta que termine el test de inyección donde se observa el momento en que el voltaje se mantiene a 5 V aproximadamente debido al periodo en el que el inyector se encuentra saturado hasta que finalmente regresa a su estado normalmente cerrado; Este análisis es aplicable para el resto de inyectores puesto que la señal generada es simultánea .

Inyector del #1 al #4

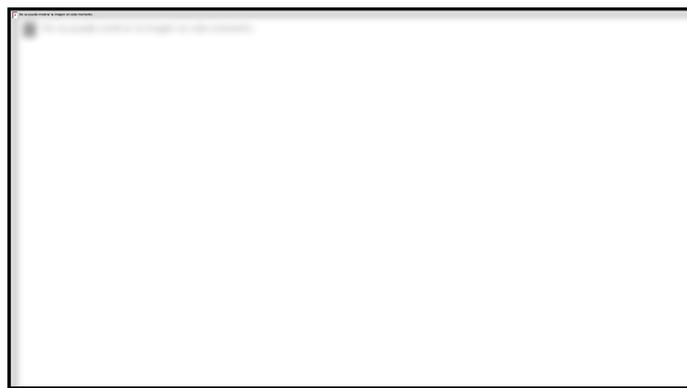


Figura 157 Señal de activación para el inyector durante la prueba de reverse.

Tabla 44.
Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
5 ms/div	10 V/div	14,04 ms	71,19 Hz	29,2 V

El voltaje pico en la señal corresponde a 29,2 V con tiempos de activación cortos de aproximadamente 2,2 ms que se asemejan a los obtenidos mediante cálculos de la misma forma con el periodo de 14,04 ms calculados por el osciloscopio, la señal que indica la saturación del inyector en ocasiones viene acompañada posteriormente por una breve señal de amortiguación, la gráfica y el análisis se repite para los demás inyectores.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los ángulos de inyección variaron con respecto a la prueba anterior debido al aumento de la presión en el circuito de alta permitiendo que los inyectores tengan variaciones considerables en el lugar de contacto del spray de pulverización en las probetas, por lo tanto se dice que el ángulo es inversamente proporcional a la presión.
- Los tiempos de activación influyeron en el volumen total entregado por los inyectores ya que estos son más cortos por consiguiente el volumen inyectado es menor.
- Los oscilogramas muestran tiempos de activación donde se evidencia un espectro de pulverización menos palpable.
- Se recomienda usar el equipo de seguridad, las herramientas y equipos necesarios para realizar pruebas en el banco.
- Antes de cargar el programa en el banco se debe establecer los tiempos de off y de activación para los inyectores en función de la presión de trabajo.

4.7 Pruebas de inyectores a 7000 RPM, 1100 Psi.

<u>CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ ESPE LATACUNGA</u>		
<u>INFORME DE PRACTICA DEL EQUIPO DE DIAGNOSTICO "FEMAX"</u>		
Félix Mayorga Martin Núñez	Practica N° 04	2015/10/01
Tema: PRUEBA A ALTAS RPM	Tutor: Ing. German Erazo	

OBJETIVOS

- Realizar el test de inyectores a condiciones de funcionamiento a bruscas rpm de un sistema GDI.
- Verificar si el ángulo de spray de los inyectores es el adecuado.
- Verificar si existe alguna variación significativa entre cada inyector en el volumen producido.

- Obtener el oscilograma de la señal de activación de los inyectores en cada una de las pruebas
- Realizar una tabla de comparación de los datos obtenidos.

EQUIPO

- Banco de pruebas para inyectores GDI
- Indumentaria de seguridad
- Osciloscopio
- Multímetro
- Inyectores
- Caja de herramientas

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

- Conectar la cañería flexible de alta presión del riel en el acople de suministro de fluido y verificar que la válvula de bypass este completamente cerrada.
- Conectar la alimentación de corriente al banco y observar la información que se muestra en la pantalla.
- Con un ordenador portátil conectar el cable de comunicación del circuito de control y verificar que el programa del controlador del banco este previamente cargado, de no ser así subir de nuevo la programación. Opcionalmente se pueden modificar para metros en la codificación como por ejemplo los tiempos de duración de una determinada prueba o la amplitud de los pulsos de apertura para los inyectores.

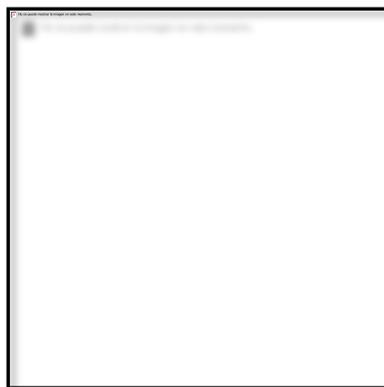


Figura 158 Introducción del programa 7000 rpm.

- Conectar los cables a cada uno de los inyectores.



Figura 159 Conexión de los cables de señal de los inyectores.

- Regular la presión en el sistema de alta presión ajustando el tornillo de la válvula de alivio hasta que el manómetro indique una presión de 1100 Psi.

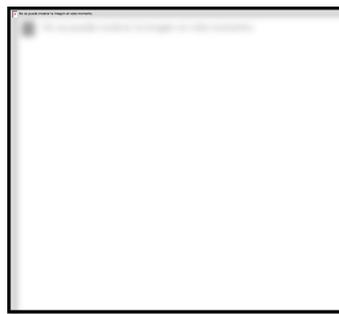


Figura 160 Ajuste de la presión de alivio en el sistema de alta presión.

- Activar el interruptor del circuito de baja presión hasta observar que la aguja del manómetro se estabilice y luego se realiza el mismo procedimiento con el circuito de alta presión.
- Iniciar con la prueba de atomización y llenar la siguiente tabla de valores y obtener señales con el osciloscopio.

Tabla 45.

Datos obtenidos a régimen de 7000 rpm.

Inyector	Resistencia Ω	RPM	Ti (ms)	Toff (ms)	%CT	Presión (Psi)	Volumen (ml)	\angle Inyección ($^{\circ}$)	Corriente A
1	1,1	7000	2,4	6.17	28	1100	26	28	0,355
2	1,1	7000	2,4	6.17	28	1100	28	25,2	0,355
3	0,9	7000	2,4	6.17	28	1100	36	26,5	0,355
4	0,9	7000	2,4	6.17	28	1100	40	31,6	0,355

Análisis: Se muestran valores similares de corriente característicos en aperturas de inyectores con tiempos prolongados (0,355 A), de igual manera ángulos de cono de atomización uniformes y de acuerdo a la presión de operación del banco a un régimen de 7000 rpm sin que se evidencie ninguna clase de fuga o goteo en la mitad el cono de pulverización.

- De la misma manera realizamos la prueba de estanqueidad y una vez realizada la prueba llenar la tabla.

Tabla 46.

Datos obtenidos en la prueba de estanqueidad.

Inyector	Resistencia Ω	RPM	Ti (ms)	Toff (ms)	%CT	Presión (Psi)	Volumen (ml)	\angle Inyección ($^{\circ}$)	Corrient e A
1	1,1	7000	0	0	0	1100	0	0	0
2	1,1	7000	0	0	0	1100	0	0	0
3	0,9	7000	0	0	0	1100	0	0	0
4	0,9	7000	0	0	0	1100	0	0	0

Análisis: Se verifica que en la punta del inyector no exista goteo o alguna clase de fuga que pueda traducirse en problemas de mal funcionamiento en el motor.

- Poner en marcha la prueba de inyección y en base a los resultados llenar la tabla de datos.

Tabla 47.

Datos obtenidos de la prueba de inyección.

Inyector	Resistencia Ω	RPM	Ti (ms)	Toff (ms)	%CT	Presión (Psi)	Volumen (ml)	\angle Inyección ($^{\circ}$)	Corriente A
1	1,1	7000	5000	0	0	1100	26	28	3,275
2	1,1	7000	5000	0	0	1100	30	25,2	3,275
3	0,9	7000	5000	0	0	1100	26	26,5	3,275
4	0,9	7000	5000	0	0	1100	32	31,6	3,275

Análisis: Se obtiene el volumen inyectado promedio que en este caso es 28,5 ml y calcular la tolerancia de +/- 10% (2,85 ml), el ángulo de inyección del inyector número uno muestra un alto grado de inclinación con respecto a los demás pero no se presenta goteo de fluido en la mitad del cono.

- Finalmente poner en marcha la última prueba de reverse y tomar nota de los resultados.

Tabla 48.
Datos obtenidos de la prueba de reverse.

Inyector	Resistencia Ω	RPM	Ti (ms)	Toff (ms)	%CT	Presión (Psi)	Volumen (ml)	\angle Inyección ($^{\circ}$)	Corriente A
1	1,1	6000	2.78	7.2	28	1100	32		0,449
2	1,1	6000	2.78	7.2	28	1100	30	25,2	0,449
3	0,9	6000	2.78	7.2	28	1100	32	26,5	0,449
4	0,9	6000	2.78	7.2	28	1100	32	26,5	0,449

Análisis: Esta prueba se realiza únicamente para evaluar el cono de atomización es decir que se verifica la calidad de la atomización del fluido que realiza el inyector mediante pulsos de inyección muy cortos como se observa en la tabla obteniendo un ángulo de inyección diferente al resto en el actuador #1 de 51° y donde el inyector #4 entrego un volumen de 42 ml relativamente elevado con respecto a los demás.

- Elaborar gráficas comparativas en función de dos valores con los datos que se obtuvieron durante las pruebas para emitir un análisis de cada uno de los inyectores.

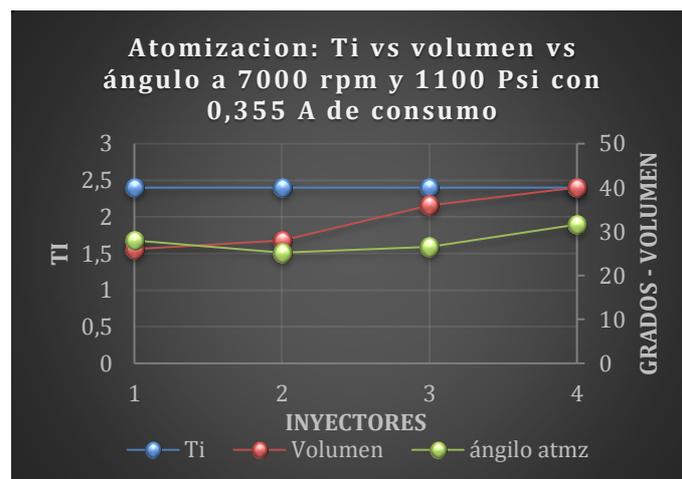


Figura 161 Grafica comparativa de datos Ti vs Volumen vs Ángulo.

En función de parámetros como la corriente consumida, la presión de trabajo y tiempo de activación de los inyectores que se mantienen constantes permite identificar un incremento significativo en el inyector #3 y #4 en el

volumen de la misma manera que el ángulo de atomización en el inyector #4 donde se tiene el valor más alto de volumen inyectado debido a que el tiempo de inyección es demasiado bajo que casi se mantendría abierto el inyector.

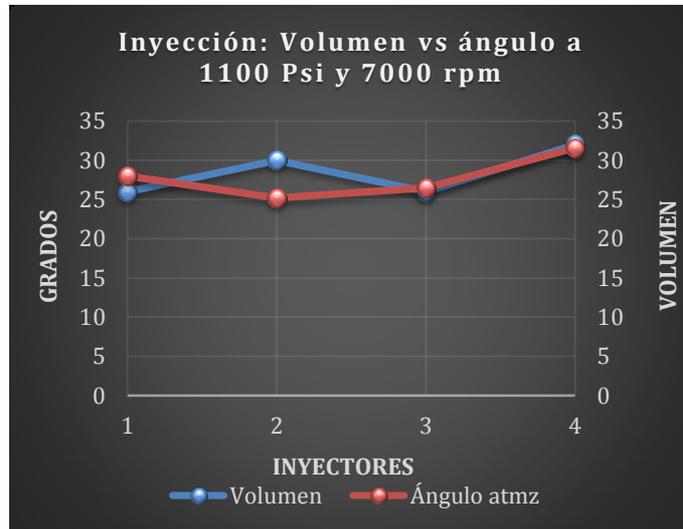


Figura 162 Grafica comparativa Ángulo vs Volumen.

A mayor ángulo de atomización el volumen de fluido inyectado va disminuyendo, esto indica que la presión de inyección en la punta del inyector es mayor en razón de que el ángulo del cono de determinado actuador sea mayor con respecto a otros de menor ángulo de cono y no depende mayormente del ancho de pulso ni la corriente de consumo.

- Obtener los oscilogramas de la señal de activación de los inyectores con el equipo OWON para verificar que los tiempos de apertura sean los que se calcularon previamente, se recomienda usar una escala de voltaje y tiempo adecuada para obtener las gráficas del osciloscopio lo más claras posibles.



Figura 163 Conexión del osciloscopio para la obtención de la curvas de la señal de activación de los inyectores.

- Una vez obtenidas las curvas de cada uno de los inyectores emitir un análisis que posteriormente contribuya a un diagnóstico efectivo.

Inyector #1



Figura 164 Oscilograma del inyector #1 en la prueba de spray a 7000 rpm.

Tabla 49.

Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
10 ms/div	10 V/div	11,9 ms	64,03 Hz	26,4 V

El equipo muestra un período de 11,9 ms aproximados con un voltaje pico del inyector de 26,4 V presentado posteriormente al momento de apertura del inyector, el tiempo de apertura es de 2,3 ms aproximadamente en la parte donde la señal aterriza a masa del transistor.

Inyector #2



Figura 165 Oscilograma del inyector #2 en la prueba de spray a 7000 rpm.

Tabla 50.
Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
2,5 ms/div	10 V/div	11,9 ms	64,03 Hz	24 V

El tiempo de apertura del inyector a una escala del osciloscopio de 2,5 ms/div es de 2,5 ms aproximadamente, el pico inductivo producido es de 24 V, el período de 11,9 ms se aproxima al obtenido mediante cálculos, los pequeños picos de voltaje producidos durante la apertura del inyector se deben a la aguja o “plunger” es magnética por lo que produce un efecto de inducción generando voltaje parasito en la señal.

Inyector #3



Figura 166 Oscilograma del inyector #3 en la prueba de spray a 7000 rpm.

Tabla 51.
Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
5 ms/div	10 V/div	11,9 ms	63,96 Hz	26 V

El voltaje pico máximo obtenido por el osciloscopio es de 26 V debido a la saturación del inyector en el instante de apertura del mismo de igual forma el periodo de 11,9 ms corresponde al calculado como lo que sucede con el tiempo de activación del inyector 2,4 ms a una escala de 5 ms/div.

Inyector #4

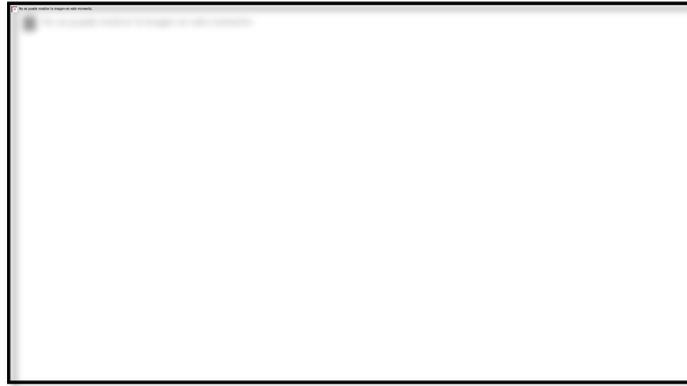


Figura 167 Oscilograma del inyector #4 en la prueba de spray a 7000 rpm.

Tabla 52.

Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
5 ms/div	5 V/div	11,9 ms	64,03 Hz	24,2 V

El período de oscilación de la señal de activación del inyector número 4 no difiere de los anteriores de igual manera se observa un voltaje pico de 24,2 V posterior al tiempo de apertura del inyector de 2,3 ms aproximadamente y un tiempo en off de 6,2 ms.

Inyector del #1 al #4



Figura 168 Señal de activación y tiempo en off del inyector durante el test de inyección.

Tabla 53.
Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
2,5 s/div	10 V/div	-	-	22,4 V

Se observa el instante en que el transistor activa al inyector aterrizándolo a masa durante un determinado intervalo de tiempo hasta que termine el test de inyección donde se observa instante en que el voltaje se mantiene a 5 V aproximadamente debido al período en el que el inyector se encuentra saturado hasta que finalmente regresa a su estado normalmente cerrado; Se observa un pico máximo de 22,4 V.

Inyector del #1 al #4

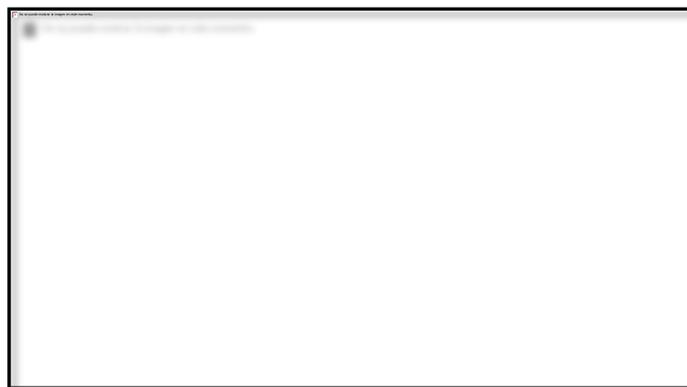


Figura 169 Señal de activación para el inyector durante la prueba de reverse.

Tabla 54.
Datos generados por el osciloscopio.

DATOS CALCULADOS POR EL OSCILOSCOPIO				
Escala ms	Escala V	Periodo	Frecuencia	Pico máximo
5 ms/div	10 V/div	14,04 ms	71,19 Hz	29,2 V

El voltaje pico en la señal corresponde a 29,2 V con tiempos de activación cortos de aproximadamente 2,2 ms que se asemejan a los obtenidos mediante cálculos de la misma forma con el período de 14,04 ms calculados por el osciloscopio, la señal que indica la saturación del inyector en ocasiones viene acompañada posteriormente por una breve señal de amortiguación, la gráfica y el análisis se repite para los demás inyectores.

- Realizar las respectivas evaluaciones de cada uno de los inyectores en función de los datos obtenidos para determinar su estado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los tiempos de activación muy cortos han producido que el volumen entregado por los inyectores sea mínimo y que el espectro de pulverización del fluido sea casi imperceptible.
- Los ángulos de pulverización han disminuido conforme se ha incrementado la presión en el sistema de alta, por lo que se confirma que a mayor presión ángulo de pulverización menor.
- Existen ciertas anomalías en los inyectores 3 y 4 dado que el volumen que inyectaron tiene mucha diferencia con respecto a los inyectores 1 y 2, este problema se puede estar produciendo debido a que las electroválvulas de inyección son re manufacturadas y esto esté incidiendo directamente en el funcionamiento de las mismas, sin embargo no está lejos de la diferencia permisible por lo que aún pueden ser usados.
- Cuando se trabaje con ciclos de funcionamiento muy cortos en los inyectores es recomendable usar una escala adecuada en el osciloscopio que permita que la onda generada se pueda apreciar con facilidad y esto se traduzca en un correcto diagnóstico.
- Antes de cargar el programa de funcionamiento del banco, verificar que los tiempos de activación sean los correctos de acuerdo a la presión de trabajo.

CAPÍTULO V.

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. Recursos

Con la finalidad de llevar a cabo el proyecto de manera eficiente y organizada, se desarrolla este capítulo el mismo que permitirá analizar la optimización de los recursos utilizados tales como: tecnológicos, humanos y materiales que son aspectos fundamentales para la ejecución e incidencia del proyecto.

5.1.1. Recursos humanos.

Para la ejecución del proyecto de grado con el título "BANCO DE PRUEBA PARA DIAGNÓSTICO Y MANTENIMIENTO EN INYECTORES A GASOLINA GDI", lo más relevante fue obtener bibliografía veraz y contundente, establecer los métodos de investigación y la capacidad de los señores: Félix Marcelo Mayorga Gutiérrez y Juan Martin Núñez Freire quienes tuvieron el papel de investigadores, diseñadores y constructores del proyecto.

Cabe recalcar que contamos con el asesoramiento del Ing. German Erazo en calidad de director del proyecto de investigación y la ejecución del proyecto así como los demás docentes que han participado de forma directa e indirecta en el desarrollo del mismo.

5.1.2. Recursos Tecnológicos

Para el cumplimiento de las metas propuestas, fue imprescindible el uso de materiales y equipos tecnológicos tales como: multímetro automotriz, osciloscopio, cámara fotográfica, internet, computador, libros, etc., que permitieron facilitar las tareas de investigación y desarrollo del proyecto.

5.1.3. Recursos materiales

Comprende todos los elementos tangibles que se requirieron para materializar el proyecto como son: motor eléctrico, depósito de fluido, estructura metálica de soporte, riel, válvulas, cañerías, inyectores, manómetros, dispositivos electrónicos entre otros.

5.2. Análisis de costos del proyecto

En la ejecución del proyecto se debe considerar, el costo total del mismo conformado de una estructura metálica, tarjetas electrónicas, circuito hidráulico, etc. De acuerdo esto se determinara la rentabilidad de la ejecución del proyecto, si representara un equipo competente frente a otros de sus mismas características técnicas. Además este análisis sirve como parámetro para determinar un costo final en el mercado.

Para la implementación del banco de pruebas para inyectores GDI, se debe tomar en cuenta los siguientes costos: el costo que implica el diseño y fabricación del circuito de control electrónico y demás sistemas complementarios, el costo de manufacturación de la estructura metálica y elementos mecánicos, costos de diseño e implementación del circuito hidráulico y los costos que representan los accesorios e insumos.

5.2.1. Costos de mano de obra

El costo del diseño es relativamente alto lo cual se verá representado en el valor final del proyecto. El motivo del presente capítulo establecerá un valor referencial frente al valor real del equipo que se está implementado y realizar una comparación muy objetiva con productos de similares características que existen en nuestro mercado local e internacional.

El costo de la mano de obra para el banco de pruebas para inyectores GDI se estima en la siguiente tabla:

Tabla 55.
Costos de mano de obra

OPERACIÓN	CANTIDAD	VALOR/HORA	TIEMPO (h)	CANTIDAD \$
Diseño y construcción de la estructura metálica	1	7	40	280
Recubrimiento y acabados	1	2,5	20	50
Diseño y conexión circuito de control	3	4	25	100
Diseño y montaje del circuito hidráulico	2	3	16	48
Diseño y montaje del sistema eléctrico	1	3	5	15
TOTAL				493

5.2.2. Costo de fabricación de tarjetas electrónicas

El costo de fabricación de las tarjetas de control del banco se estima en la tabla a continuación.

Tabla 56.
Costo de fabricación del circuito de control.

TARJETAS DE CONTROL	CANTIDAD	COSTO \$
Transformadores	3	65
Resistencias	29	6
Capacitores	10	7
Placa	1	8
Acido	3	3
Cableado	20 m	32
Termoplast	1 m	3
Transistores IRFZ44N	6	8
Transistor TIP122	1	1
Arduino	1	35
Puentes rectificadores	3	4
Borneras	15	4,50
Estaño	5 m	5
Botonera tipo lamina	1	20
Diodos 1N4007	7	2
Regulador de voltaje 7805	1	0,70
Optoacopladores 4N25	7	3,50
Sockets de conexión	1	3
Cable de comunicación y fuente de alimentación Arduino.	1	8
TOTAL		218,70

5.2.3. Costo de estructuras y elementos mecánicos

El costo de materiales usados para la elaboración de la estructura y otros componentes de sistemas complementarios del banco de pruebas.

Tabla 57. Costos de materiales y elementos mecánicos

ELEMENTOS MECÁNICOS	CANTIDAD	PRECIO / U	COSTO \$
Tubo estructural ¾ X 2	3	18,75	56,25
Planchas de acero	2	5,50	11
Plancha de acero perforada	1	6	6
Soporte para bomba hidráulica	1	4	4
Conjunto de probetas graduadas	1	70	70
Riel de alta presión	1	45	45
Poleas	2	2,50	5
Banda de transmisión	1	6,50	8,50
TOTAL			205,75

5.2.4. Costo del sistema hidráulico

Los componentes del sistema hidráulico del equipo son los de mayor costo, las partes fueron adquiridas en las ciudades de Ambato, Quito, Guayaquil y otros fueron importados de EEUU.

Tabla 58.
Costos de inversión del circuito hidráulico.

ELEMENTOS HIDRÁULICOS	CANTIDAD	PRECIO / U	COSTO \$
Bomba Hidráulica Denso HP3 SM29400-0900	1	300	300
Bomba eléctrica de 11 bar	1	50	50
Válvula reguladora de presión 500 – 1500 Psi de 3/4	1	86	86
Válvula reguladora de presión de 200 – 800 kPa	1	40	40
Válvula anti retorno de 3/4	1	74	74
Fluido de prueba C-3112 T2	2 gal	37	84
Manómetro 0 – 100 bar	1	13,78	13,78
Manómetro 0 – 11 bar	1	10	10
Cañería SAE100 R 16S 8 1/2in Max 2750 Psi	2,5 m	13,25	33,12
Manguera ATFLEX – I.D. 5/16” – W/P 20 Bar (300 Psi)	3 m	1,30	3,90
Manguera flexible 3/16 in	8 m	0,65	5,20
Acoples de conexión.	24	4	96
TOTAL			796

5.2.5. Costo neto del banco de prueba para inyectores “FEMAX”.

Una vez determinados los costos de cada uno de los sistemas del equipo, se obtiene la suma del costo neto del proyecto.

Tabla 59.
Costo total del proyecto.

Costos del Equipo	Costos \$
Mano de obra	493
Tarjetas electrónicas	218,70
Estructura metálica	205,75
Sistema hidráulico	796
Material bibliográfico	60
Movilización	100
TOTAL	1873,45

5.2.6 Análisis del costo – beneficio.

Al realizar el balance entre el costo económico junto con los alcances del proyecto, se evidencia que el proyecto titulado “BANCO DE PRUEBA PARA DIAGNÓSTICO Y MANTENIMIENTO EN INYECTORES A GASOLINA GDI” ha cumplido con los objetivos ya que representa un beneficio para la comunidad como proyecto de aplicación en laboratorio de Autotrónica como complemento para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L y dado su bajo costo en la industria automotriz nacional para su producción en serie.

Se obtuvo un banco con características similares a los bancos de prueba PFI existentes en el mercado con un valor aproximado de 3500 dólares con la diferencia que su aplicación es en inyectores GDI de cualquier marca con una reducción del costo aproximadamente del 46%.

5.2.7 Financiamiento

El financiamiento de los materiales, partes, diseño y construcción del banco de pruebas “FEMAX” en su totalidad por los diseñadores del equipo: Félix Marcelo Mayorga Gutiérrez y Juan Martin Núñez Freire.

5.3 Cronograma.

El cronograma muestra en detalle cada una de las fases para la culminación total del proyecto de investigación.

CAPÍTULO VI

Conclusiones

- La investigación muy minuciosa y la asesoría de varios expertos en la temática fue determinante para el diseño y construcción del proyecto de investigación.
- Es importante abordar este tema en las aulas puesto que los sistemas GDI son lo más actual en innovación automotriz en cuanto a disminución de emisiones y consumo de combustible.
- Se creó un sistema de diagnóstico que cumple con las exigencias del campo automotriz, utilizando los conocimientos adquiridos y con una representativa disminución del costo con respecto a otros equipos existentes en el mercado.
- Utilizando un adecuado fluido para las pruebas se proporcionó un diagnóstico preciso evitando falsas mediciones.
- Se elaboró un manual de usuario donde se detalla aspectos importantes de funcionamiento, pruebas, precauciones y manejo del banco.
- Se investigó acerca de los principios y fundamentos de funcionamiento de los sistemas de inyección directa de gasolina GDI
- Se ha realizado pruebas que permiten el diagnóstico y con el osciloscopio y un multímetro se realizó las respectivas mediciones que verifican el estado de los inyectores.
- El banco brinda opciones de prueba a diferentes parámetros de funcionamiento que facilitan el diagnóstico de inyectores GDI.
- En función de la corriente medida se determina que con tiempos de activación más largos del inyector mayor va a ser el consumo de la misma.
- La variación de volumen entregado por un inyector a distintos parámetros de funcionamiento depende de la presión de inyección y los tiempos de apertura.

Recomendaciones

- Incentivar este tipo de proyectos ya que constituyen un fortalecimiento del aprendizaje y la aplicación de conocimientos adquiridos durante toda la carrera.
- Comenzar con iniciativas que aumenten la cantidad de proyectos referentes a sistemas GDI dado que los vehículos actuales cuentan con esta tecnología.
- Organizar giras a plantas donde se fabrican o ensamblan vehículos con tecnología GDI.
- Antes de operar el equipo leer detenidamente el manual del usuario para conocer del funcionamiento, precauciones y operación del banco de pruebas.
- Verificar que el nivel del fluido en el depósito sea el necesario para evitar daños en el sistema hidráulico del equipo.
- Antes de montar cualquier tipo de inyectores GDI verificar que tengan la resistencia interna característica.
- Una vez obtenido el valor de resistencia de los inyectores es necesario restar el valor de la resistencia interna del multímetro para obtener el valor real de los mismos.
- Únicamente se debe accionar el banco cuando todos los inyectores se encuentren debidamente alojados y sujetos al riel, usar normas y equipo de seguridad para salvaguardar la integridad del técnico y del banco de pruebas.

BIBLIOGRAFÍA

Basshuysen, R. v. (2009). *Gasoline Engine With Direct Injection* (Vol. 1). Alemania: exlibris.

Lenz, H. (1990). *Effect of fuel injection process on the structure of diesel spray*. Springer, new york.

Nauwerck, A. (2006). *untersuchung der gemischbildung in Ottomotoren mit Direkteinspritzung* . logos, Verlang.

Bayvel, L. (1993). *Liquid atomization*.

Pischinger, F. (2001). *Motorische Verbrennung* .

Krebs, R., J., B., R., D., Wurms, R., Friedmann, K., J, H., y otros. (2004). *Derneue Audi 2,0T FSI Motor-Der erste direkteinspritzende Turbo-Ottomotor bei Audi.25.Wiener Motorensymposium*.

Voss, E., Schmitter, W., Koenigeinsten, A., Scholten, I., Poepperl, M., y otros. (2003). *2,2 1 ECOTEC DIRECT.24.Internationales Wiener Motorensymposium*.

Schnittger, W., Koenigstein, A., Pritze, S., Poepperl, M., & Samstag, P. (2003). *2.2 Direct Ecotec-Neuer Ottomotor mit Drekteinspritzung von Opel. In: MTZ 64 (2003),Nr. 12,S. .*

Herzog, P., & Athenstaedt, R. (1996). *Internationales Wiener Motorensymposium.VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 12, . Kraftstoffsysteme fuer DE-Ottomotoren*.

Fischer, J. (2004). *Einfluss variabler Einlassstroemung auf zyklische Schwankungenbei Benzin-Di-rekteinspritzung*. Logos, Verlag.

Stiebels, B., Schweizer, M., Ebus, F., & Pott, E. (2003). *: Die FSI-Technologie von Volkswagen-nitch nur ein Verbrauchskonzept. In: Direkteinspritzung im Ottomotor IV. . Essen: Expert, Verlag*.

Nauwerck, A. (2006). *Untersuchung der Gemischbildung in Ottomotoren mit Direkteinspritzung bei strahlgeführtem Brennverfahren. Dissertation, Uniersitaet Karlsruhe (TH). Logos, Verlag.*

Lueckert, P., Rau, E., Schaupp, U., Vent, G., & Waltner, A. (2004.). *Weiterentwicklung der Benzin-Di-ekteinspritzung beiMercedes-Benz. DaimlerChrysler-Sonderdruck zum 13. Aachener Kol-loquium Fahrzeug-und Motorentchnik.*

Xander, B. (2006). *Grundlegende Untersuchungen en einem Ottomotor mit Direkteinspritzung und strahlgeführtem Brennverfahren. Dissertation Universitaet Karlsruhe (TH). Logos-Verlag.*

pischinger, R., Grassning, G., Taucar, G., & Sams, T. *Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine.* Berlin, Alemania.

Mitsubishi Motors: Mitsubishi Benzinmotor mit Direkteinspritzung. (1995). *Technisches Dossier.* Frankfurt.

Bosch. (2005). *Ottomotor-Management.* Auflage, Wiesbaden.

Buechling, J. (2002). *Der neue 2,0-I-FSI-Motor von audi.*

Grigo, M., Klein, H., Lietz, O., Kunkel, R., Dornhoefer, R., & Erdmann, H. (2002). *Der neue Audi 2,014V FSI Motor . Fahrzeug.*

Herden, W., & Vogel, M. (2002). *Visionen idealer strahlgeführter BDE-Brennverfahren. In: Diesel-und Benzindirekteinspritzung Essen.* Expert, Verlag.

Spicher, U., Heidenreich, T., & A, N. (2004). *Stand der Technik strahlgeführter Verbrennungssysteme.* Expert, Verlag.

Kraemer, S. (1998). *Untersuchung zur Gemischbildung, Entflammung und Verbrennung beim Ottomotor mit Direkteinspritzung Disertatio, Unisersitaet Karlsruhe (TH).*

Stoffels, H. (2005). *Combustion noise investigation on a turbochargerd spray guided gasoline direct injection I4-engine.SAE Conference.* Traverse.

Stoffels, H. (2001). *Untersuchungen zur Verminderung von Torsionsschwingungen in PKW Antriebssträngen*, VDI-Berichte 1493. vERLAG.

Menne, R. J., & BRINKMANN, b. (2005). *Strahlgefuerte Verbrennungssysteme*. HdtFachbuch. Expert, Verlag.

Bosch, R. (2005). *Ottomotor-Management*, 3, Auflage. Veweg, Verlag.

Warnecke, V., Achleitner, E., & Baecker, H. (2006). *Entwicklungsstand der Siemens VDO Piezo-Einspritzungssysteme fuer strahlgefuehrte Brennverfahren*. Internationales Wiener Motorensymposium.

Lueckert, P., Frey, J., Kemmler, R., Schaupp, U., Vent, G., & Waltner, A. (2005). *Kunden- und zukunftsorientierte Technologien am Ottomotor - heute und morgen*.

Waltner, A., Lueckert, P., Schaupp, U., Rau, E., Kemmler, R., & Weller, R. (2006). *Die Zukunftstechnologie des Ottomotors: Strahlgefuehrte Direkteinspritzung mit Piezo-Injektor*.

Ortmann, R., Wuerfel, G., Grzeszik, R., Raimann, J., Samenfink, W., & Schlerfer, J. (2001). *Vergleich von Zertaeubungskonzepten fuer Benzin-Direkteinspritzung in Ottomotor III*.

Achleitner, E., Berger, S., Frenzel, H., Klepatsch, M., & Warnecke, V. (2004). *Benzin-Direkteinspritzsystem mit Piezo-Injektor fuer strahlgefuehrte Brennverfahren*.

Koingsted, J., Muller, R., Jablonski, J., Dirschnable, T., Uhrich, J., & Hatz, W. (2006). *Der neue V-10 FSI - Motor von Audi*. Austria.

Spicher, U., & Weimar, H. J. (1997). *Direkteinspritzung im Ottomotor*. Marz.

Altenschmidt, F. (2005). *Grundsatzuntersuchungen zu einem ottomotorrischen Brennverfahren mit Direkteinspritzung und Aufladung*. Karlsruhe.

Basshuysen. (2009). *Gasoline Engine With Direct Injection*. Deutschland.

Waltner, A., Lueckert, P., & Schaupp, U. (2006). *Piezo-Einspritzsystems fuerstrahlgefuehrte Brennverfahren*. Viena.

Bosch, R. (2005). *Ottomotor Management* . Verlag.

Warnecke, V., Achleitner, E., & Baecker, H. (2006). *Siemens VDO Piezo-Einspritzsystems fuer strahlgefuehrte* . Viena.

Analuca, W., & Sangucho, C. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN, DIAGNÓSTICO Y COMPROBACIÓN DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE PARA INYECTOR DIESEL ELECTRÓNICOS H.E.U.I.* Latacunga: Universidad de Las Fuerzas Armadas.

Ruiz, R. (2007). *Metodologia de la Investigación* (Vol. 1).

Augeri, F. (17 de Marzo de 2014). *cise electronics*. Recuperado el 24 de Marzo de 2015, de www.cise.com

Skala, F. (17 de Marzo de 2014). *ciseelectronics*. Recuperado el 24 de Marzo de 2015, de www.cise.com

ANEXOS



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

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el siguiente trabajo fue desarrollado por el Sr. Félix Marcelo Mayorga Gutiérrez y el Sr. Juan Martín Núñez Freire bajo nuestra supervisión.

Ing. Germán Erazo
Director del Proyecto



Ing. Danilo Zambrano
Director de Carrera



Dr. Freddy Jaramillo
Secretario Académico

