

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

Facultad de Ingeniería Automotriz

**TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO EN MECANICA AUTOMOTRIZ**

**“Diseño y Construcción de un Banco de Inyección Diesel tipo Bomba-Inyector
con Control Electrónico: Motor Detroit Diesel Serie 60.”**

Santiago Andrés Tobar Villacís

Director: Ing. Andrés Castillo

2011

Quito, Ecuador

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRAFICO DE TESIS**

FACULTAD DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ

ESCUELA DE MECÁNICA AUTOMOTRIZ

TÍTULO: “Diseño y Construcción de un Banco de Inyección Diesel tipo Bomba-Inyector con Control Electrónico: Motor Detroit Diesel Serie 60.”

AUTOR(ES): Santiago Andrés Tobar Villacís

DIRECTOR: Ing. Andrés Castillo

ENTIDAD QUE AUSPICIO LA TESIS: Tocarvi Cía. Ltda.

FINANCIAMIENTO: SI: ☒ NO: ☐ **PREGADO:** ☐ **POSGRADO:** ☐

FECHA DE ENTREGA DE TESIS:

Día 31 **Mes** 05 **Año** 2011

GRADO ACADÉMICO OBTENIDO:

No. Págs. 169 **No. Ref. Bibliográfica:** 32 **No. Anexos:** 3 **No. Planos:** 0

RESUMEN:

El presente proyecto de tesis, es el diseño y construcción de un banco de inyección diesel tipo bomba-inyector con control electrónico. Se ha tomado como referencia para su simulación en este banco al sistema de inyección de un motor Detroit Diesel Serie 60 con tecnología DDEC V.

Básicamente éste banco de inyección está constituido por una estructura metálica que sostiene el tren mecánico y motriz del proyecto, un sistema de alimentación de combustible y adicionalmente un circuito electrónico de inyectores. El mecanismo de propulsión está dado por un motor eléctrico de 5HP que gira a 3500rpm. Al eje de éste motor eléctrico se ha adaptado el conjunto de engranajes provenientes de la rueda posterior de una bicicleta montañera. Para que la bomba pueda girar, se ha adaptado a ella la catalina intermedia que va en los pedales de la bicicleta montañera. La bomba de combustible gira a 1750rpm, y el árbol de levas a 700rpm. Al accionar el motor eléctrico, la transmisión del movimiento por medio de la cadena hace girar a la catalina de la bomba de combustible y al piñón del árbol de levas. La bomba genera caudal y el árbol de levas hace trabajar a los balancines de inyector que se conectan directamente a los seguidores de los inyectores, generando así presión de inyección en el interior de los mismos.

El circuito de inyectores es básico y está formado por dos circuitos integrados temporizadores NE555 que generan una frecuencia de inyección a partir de una corriente pulsante. El pulso se dirige hacia 6 transistores tipo MOSFET IRFP150N, conectados en paralelo, que envían dicha señal a los inyectores del circuito. El ancho de pulso con el que trabajan los inyectores oscila entre 0,8ms y 2ms.

El objetivo de éste banco de inyección es comprobar el funcionamiento y estado mecánico del grupo de inyectores recibidos, a través de 5 pruebas de calibración en los pernos de regulación de los inyectores. Todo el combustible inyectado en cada prueba es cuantificado por medio de las probetas plásticas ubicadas por debajo de las puntas de cada inyector.

Este banco de inyección se ha convertido en un gran aporte en el área de motores diesel en la cual me relaciono, debido a que he podido profundizar en el sistema de inyección de combustible de uno de los motores presentes en el mercado nacional. Así también ha contribuido en el desarrollo de mis conocimientos de electrónica, lo cual me proyecta a involucrarme en la reparación y el diagnóstico de módulos electrónicos.

Para futuras investigaciones, este proyecto sirve de modelo para la construcción de otros bancos de inyección de distintos sistemas y marcas. Sugiere también el desarrollo de un sistema de distribución que permita la variación de velocidad en el banco, y el perfeccionamiento del circuito a través de la implementación de microprocesadores y componentes electrónicos más específicos.

PALABRAS CLAVES:

Cabezote, Árbol de Levas, Inyectores EUI N3, Bomba de Combustible, Motor DDS60, Banco de Inyección, Circuito de Inyectores, Pulso Eléctrico, Pruebas de Calibración, Combustible Inyectado.

MATERIA PRINCIPAL: 1. Inyección Electrónica.

MATERIA SECUNDARIA: 1. Motores II.

TRADUCCION AL INGLES

This thesis project is the design and construction of a diesel pump-injector injection bank with an electronic control. It has been taken as reference for the injection bank simulation the Detroit Diesel 60 Series fuel system with DDEC V technology.

Basically this injection bank consists of a metal structure that holds the project's drive gear train, its fuel system and additionally, the electronic injector's circuit. The propulsion mechanism is given by a 5HP electric motor that spins at 3500rpm. The axis of the electric motor has been adapted to the set of gears from the rear wheel of a mountain bike. For the fuel pump to rotate, it has been adapted to the intermediate chainring of the mountain bike pedals. The fuel pump turns 1750rpm, and the camshaft to 700rpm. By operating the electric motor, the transmission of movement through the bike chain, rotates the fuel pump chainring and the camshaft gear. The pump generates fuel flow and the camshaft makes the injector's rocker arms work, which are directly connected to the injector's followers, generating injection pressure inside the injector's bodies.

The injector circuit is basic and consists in two NE555 timers that generate a injection frequency from a pulsed current. The pulse is directed toward 6 IRFP150N MOSFET transistors connected in parallel, which send the signal to the injectors of the circuit. The pulse width for the injectors ranges between 0.8 ms and 2ms.

The purpose of this injection bank is to verify the performance and mechanical condition of the injectors group received; by 5 injector's adjustment tests on the injector's adjusting screws. All fuel injected into each test can be measured through the plastic test tubes located below the nozzle of each injector.

This injection bank has become a great contribution in the area of diesel engines in which I relate, because I could go deeper into the fuel system of an engine that is present in the domestic market. So too has contributed to developing my knowledge of electronics, which I planned to get involved in the repair and diagnosis of electronic modules.

For future research, this project serves as a model for the construction of other injection banks of different systems and brands. It also suggests developing a gear train that allows the speed variation in the injection bank, and completing the circuit through the implementation of microprocessors and more specific electronic components.

KEYWORDS:

Cylinder Head, Camshaft, N3 EUI Injectors, Fuel Pump, DDS60 Engine, Injection Bank, Injector's Circuit, Electrical Pulse, Injector's Adjustment Tests, Injected Fuel.

FIRMAS:

.....
DIRECTOR

.....
GRADUADO (S)

CERTIFICACIÓN

Yo, Santiago Andrés Tobar Villacís declaro que soy el autor exclusivo de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal mía. Todos los efectos académicos y legales que se desprendan de la presente investigación serán de mi exclusiva responsabilidad.



Firma del graduando
Santiago Andrés Tobar Villacís
CI: 171472412-5

Yo, Ing. Andrés Castillo, declaro que, en lo que yo personalmente conozco, el señor, Santiago Andrés Tobar Villacís, es el autor exclusivo de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal suya.



Firma del Director Técnico de Trabajo de Grado
Ing. Andrés Castillo
Director

AGRADECIMIENTO

Agradezco y Alabo a Dios Todopoderoso por ser el dueño de mi vida y por darme la fortaleza desde su acompañamiento y su presencia permanente en todas las acciones y decisiones de mi vida, especialmente en la elaboración de éste proyecto que es el que me impulsará a servirlo desde mi profesión para construir la Civilización del Amor a la cual El me llama. También quiero expresar un profundo agradecimiento a mis padres y a su empresa Tocarvi, por facilitarme en todo tiempo los materiales y herramientas que permitieron desarrollar la construcción de éste proyecto. Sobre todo doy gracias por el apoyo prestado en los momentos de mayor dificultad y desánimo. Finalmente un agradecimiento a mi novia Daniela, mis hermanos Paola, Pablo, Sandra y María Soledad, y a la comunidad del Movimiento de la Palabra de Dios, en especial a mi grupo Profu 2, que intercedieron desde sus oraciones y respaldo para que pueda culminar con éxito este trabajo.

Andrés Tobar V.

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación lo dedico con todo mi amor a Dios porque todo lo que pueda hacer, construir y edificar en mi vida será para su honor y gloria; éste banco de inyección es un pequeño ejemplo de los dones que El me ha concedido, para saber administrar su bondad y generosidad en mi, y ponerla a su servicio en orden de cosechar frutos abundantes que beneficien a quienes me rodean. También dedico éste trabajo con todo mi cariño a mis padres, por ser quienes sostienen mi camino y porque al igual que a mí, la culminación exitosa de mi carrera universitaria, representa un enorme triunfo en nuestras vidas.

Andrés Tobar V.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	1
FUNDAMENTOS Y TEORÍA DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DEL MOTOR DETROIT DIESEL SERIE 60	1
1.1. OBJETIVOS DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE INYECCIÓN DIESEL TIPO BOMBA-INYECTOR CON CONTROL ELECTRÓNICO: MOTOR DDS60.....	1
1.2. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DETROIT DIESEL SERIE 60.	3
1.3. INYECTORES EUI N3 (ELECTRONIC UNIT INJECTOR N3).....	5
1.3.1. Partes que componen el Inyector EUI N3.....	6
1.3.1.1. Seguidor del Inyector (Injector Follower).	6
1.3.1.2. Plunger.	6
1.3.1.3. Módulo de Dosificación (Module).....	6
1.3.1.4. Tuerca del Inyector (Injector Nut).	7
1.3.1.5. Jaula del resorte interno del Inyector (Injector Spring Cage).....	7
1.3.1.6. Punta del Inyector (Nozzle).....	7
1.3.1.7. Cuerpo del Inyector.	8
1.3.2. Funcionamiento del inyector EUI N3.	9
1.4. BOMBA DE COMBUSTIBLE.	12
1.4.1 Partes que componen la Bomba de Combustible.....	14
1.4.1.1. Cuerpo de la Bomba de Combustible (Body).....	14
1.4.1.2. Tapa de la Bomba de Combustible (Cover).....	15
1.4.1.3. Eje Conductor y Manzana de Ensamble (Drive Shaft and Hub Assembly).	16
1.4.1.4. Válvula de Alivio de Presión (Relief Valve).	17
1.4.2. Funcionamiento de la Bomba de Combustible.	19
1.5. FILTROS DE COMBUSTIBLE.....	22
1.6. VÁLVULA CHECK EN EL SISTEMA DE RETORNO DE COMBUSTIBLE....	26
1.7. MÓDULO DE CONTROL ELECTRÓNICO ECM DDEC V.	27
1.7.1. Sensores en el Motor DDS60 que emiten señales al ECM DDEC V y son parte del Sistema de Combustible.....	31
1.7.1.1. Sensor de Referencia del Cigüeñal TRS (Timing Reference Sensor).	31
1.7.1.1.1. Teoría de Sensores Magnéticos de Reluctancia Variable.	33
1.7.1.2. Sensor de Referencia y Sincronización del Árbol de Levas SRS (Synchronous Reference Sensor).....	35
1.7.1.2.1. Relación entre el Sensor TRS y el Sensor SRS.	37

1.7.1.3. Sensor de Temperatura de Combustible FTS (Fuel Temperature Sensor).	38
1.7.1.3.1. Teoría de Sensores de Temperatura.	39
1.7.2. Sensores del OEM (Original Equipment Manufacturer) que emiten señales al ECM DDEC V y se relacionan con el Sistema de Combustible.	43
1.7.2.1. Sensor de Posición del Acelerador TPS (Throttle Position Sensor).	43
1.7.2.1.1. Teoría de los Sensores de Posición.	44
CAPÍTULO 2	48
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE INYECCIÓN DIESEL TIPO BOMBA- INYECTOR: MOTOR DETROIT DIESEL SERIE 60.	48
2.1. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL BANCO DE INYECCIÓN DIESEL TIPO BOMBA-INTECTOR: MOTOR DDS60.	48
2.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN: ESTRUCTURA MECÁNICA.	49
2.2.1. Diseño General del Banco de Inyección.	49
2.2.2. Descripción y Características de los elementos que componen el Diseño y la Construcción de la Estructura Mecánica del Banco de Inyección.	51
2.2.2.1. Conjunto del Cabezote.	51
2.2.2.1.1. Cabezote.	52
2.2.2.1.2. Árbol de Levas, Tapas del Árbol de Levas y Cojinetes del Árbol de Levas.	54
2.2.2.1.3. Barras de Balancines, Balancines de Inyector y Bujes Separadores.	56
2.2.2.1.4. Inyectores EUI N3 y Seguros de Inyector.	58
2.2.2.1.5. Neplo de Entrada de Combustible y Válvula Check de Retorno de Combustible.	59
2.2.2.2. Ensamble y Funcionamiento del Conjunto del Cabezote.	61
2.2.2.3. Lubricación del Conjunto del Cabezote.	63
2.2.2.4. Diseño y Construcción de la Distribución del Banco de Inyección: Ensamble de Engranajes de Bicicleta y Piñón del Árbol de Levas.	65
2.2.2.4.1. Conjunto de Engranajes del Motor Eléctrico.	68
2.2.2.4.2. Engranaje de la bomba de combustible.	69
2.2.2.4.3. Engranaje del Árbol de Levas.	70
2.2.2.4.4. Cálculo Teórico del Ensamble de Engranes de la Distribución del Banco de Inyección.	71
2.2.2.4.5. Cadena y Templadores de la Cadena.	76
2.2.2.4.6. Refrigeración de la Cadena de Transmisión.	81
2.2.2.5. Conjunto de Alimentación de Combustible.	82
2.2.2.5.1 Bomba de Combustible y Catalina de la Bomba de Combustible.	83
2.2.2.5.2. Neplos de la bomba de combustible.	88
2.2.2.5.3. Mangueras de Combustible.	89

2.2.2.5.4. Recipiente de Combustible.....	91
2.2.2.5.5. Probetas Plásticas y Precámaras.....	92
2.2.2.6. Estructura Metálica del Banco de Inyección DDS60.....	93
2.2.2.6.1. Vista Superior de la Base Superior de la Estructura Metálica.....	97
2.2.2.6.2. Vista Superior de la Base Inferior de la Estructura Metálica.....	98
2.2.2.6.3. Vista Frontal de la Estructura Metálica.....	99
2.2.2.6.4. Vista Posterior de la Estructura Metálica.....	100
2.2.2.6.5. Vista Lateral Derecha de la Estructura Metálica.....	101
2.2.2.6.6. Vista Lateral Izquierda de la Estructura Metálica.....	102
2.3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN: CIRCUITO ELECTRÓNICO.....	103
2.3.1. Descripción General del Circuito Electrónico.....	103
2.3.2. Elementos que conforman el Circuito de Inyectores.....	105
2.3.2.1. Fuente de Voltaje.....	105
2.3.2.2. Condensadores Electrolíticos.....	106
2.3.2.3. Drivers.....	106
2.3.2.3.1. Circuito Integrado NE555.....	107
2.3.2.3.2. Transistores IRFP150N.....	112
2.3.2.4. Actuadores.....	114
2.3.2.4.1. Solenoides de Inyector.....	114
2.3.2.4.2. Luces LED.....	116
2.3.2.5. Arnés de cables.....	117
2.3.3. Funcionamiento del Circuito de Inyectores.....	118
CAPÍTULO 3	124
PRUEBAS DE INYECCIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	124
3.1. PRUEBAS DE INYECCIÓN.....	124
3.1.1. Prueba de Inyección # 1: 0 Vueltas de Calibración.....	126
3.1.1.1. Análisis de Resultados de la Prueba de Inyección # 1.....	127
3.1.2. Prueba de Inyección # 2: 1 Vuelta de Calibración.....	128
3.1.2.1. Análisis de Resultados de la Prueba de Inyección # 2.....	128
3.1.3. Prueba de Inyección # 3: 2 Vueltas de Calibración.....	129
3.1.3.1. Análisis de Resultados de la Prueba de Inyección # 3.....	130
3.1.4. Prueba de Inyección # 4: 3 Vueltas de Calibración.....	131
3.1.4.1. Análisis de Resultados de la Prueba de Inyección # 4.....	132
3.1.5. Prueba de Inyección # 5: 3 ^{3/4} Vueltas de Calibración.....	133
3.1.5.1. Análisis de Resultados de la Prueba de Inyección # 5.....	134

3.1.6. Análisis General y Conclusiones de las Pruebas de Calibración.....	135
3.2. ANALISIS DE INYECTORES.	139
3.2.1. Análisis del Inyector # 1.....	139
3.2.2. Análisis del Inyector # 3.....	140
3.2.3. Análisis del Inyector # 4.....	142
3.2.4. Análisis del Inyector # 6.....	143
3.2.5. Conclusiones del Análisis de los 4 Inyectores del Banco de Inyección. ...	145
3.3. CONCLUSIONES.	148
3.4. RECOMENDACIONES	151
ANEXOS	153
Anexo 1 “Montaje de Elementos en la Estructura Metálica”	153
Anexo 2 “Guía Básica de Operación y Mantenimiento Preventivo del Banco de Inyección”	158
Anexo 3 “Guía de Pruebas de Calibración del Banco de Inyección”	163
BIBLIOGRAFÍA	169

ÍNDICE FIGURAS

CAPÍTULO 1	1
FUNDAMENTOS Y TEORÍA DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DEL MOTOR DETROIT DIESEL SERIE 60	1
Figura. 1.1 Diagrama Esquemático del Sistema de Combustible DDS60	3
Figura. 1.2 Corte transversal y Partes del Inyector EUI N3.	8
Figura. 1.3 Inyector EUI N3.	9
Figura. 1.4 Curvas Características del Inyector EUI N3.	12
Figura. 1.5 Bomba de Engranajes Rectos Externos.	13
Figura. 1.6 Cuerpo de la bomba de combustible.	15
Figura. 1.7 Tapa de la Bomba de Combustible.	16
Figura. 1.8 Eje-Piñón Conductor con manzana de ensamble y Eje-Piñón conducido.	17
Figura. 1.9 Válvula de Alivio de Presión.	18
Figura. 1.10 Partes de la Bomba de Combustible, Vista Lateral.	18
Figura. 1.11 Partes de la Bomba de Combustible, Vista Frontal.	19
Figura. 1.12 Bomba de Combustible DDS60.	19
Figura. 1.13 Sistema de Filtrado Motor DDS60.	23
Figura. 1.14 Base y Filtro de Combustible Secundario.	26
Figura. 1.15 Ubicación Válvula Check de Retorno de Combustible.	27
Figura. 1.16 Esquema del Módulo Electrónico ECM DDEC V.	28
Figura. 1.17 Ubicación TRS en el Motor DDS60.	32
Figura. 1.18 Circuito Sensor Magnético de Reluctancia Variable.	33
Figura. 1.19 Campo Magnético.	34
Figura. 1.20 Posicionamiento del Reluctor sobre el Captador.	35
Figura. 1.21 Ubicación SRS y Pin del Engranaje Toro.	36
Figura. 1.22 Sensores TRS y SRS.	38
Figura. 1.23 Ubicación Sensor de Temperatura de Combustible.	39
Figura. 1.24 Circuito Sensor de Temperatura.	41
Figura. 1.25 Ensamble del Pedal del Acelerador.	43
Figura. 1.26 Esquema Sensor de Posición.	44
Figura. 1.27 Circuito Sensor de Posición.	46
CAPÍTULO 2	48
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE INYECCIÓN DIESEL TIPO BOMBA- INYECTOR: MOTOR DETROIT DIESEL SERIE 60.	48
Figura. 2.1 Esquema de Funcionamiento Banco de Inyección.	48
Figura. 2.2 Conjunto del Cabezote.	52

Figura. 2.3 Cabezote.	54
Figura. 2.4 Árbol de Levas.....	56
Figura. 2.5 Conjunto de Balancines de Inyector, Barras de balancines y Bujes separadores.....	57
Figura. 2.6 Inyector EUI N3 (armado y despiece).....	58
Figura. 2.7 Neplo de Entrada de Combustible al Cabezote.....	59
Figura. 2.8 Válvula Check de Retorno de Combustible y Neplos Anexos.	61
Figura. 2.9 Lubricación de Balancines de Inyector y Árbol de Levas.....	64
Figura. 2.10 Engranajes de la Distribución del Motor DDS60.....	67
Figura. 2.11 Conjunto de Engranajes del Motor Eléctrico.	69
Figura. 2.12 Catalina de la Bomba de Combustible.....	69
Figura. 2.13 Piñón del Árbol de Levas.....	70
Figura. 2.14 Partes que conforman una Cadena de Bicicleta.....	78
Figura. 2.15 Cadena y Templadores de Cadena.	80
Figura. 2.16 Estructura en Forma de “L” para la Refrigeración de la Cadena.	81
Figura. 2.17 Electroválvula-Solenoides para la Refrigeración de la Cadena.....	82
Figura. 2.18 Bomba de Combustible y Bases de Soporte.	86
Figura. 2.19 Instalación de un Manómetro de Presión de Fluido a la Salida de la Bomba de Combustible.	88
Figura. 2.20 Neplos de la Bomba de Combustible.....	89
Figura. 2.21 Mangueras de Combustible.....	91
Figura. 2.22 Recipiente de Combustible.....	92
Figura. 2.23 Probetas Plásticas y Precámaras.....	93
Figura. 2.24 Dimensionamiento del Perfil de la Viga.	95
Figura. 2.25 Segmento de Viga en 3D.....	95
Figura. 2.26 Estructura Completa del Banco de Inyección.	96
Figura. 2.27 Dimensionamiento Base Superior.	97
Figura. 2.28 Dimensionamiento Base Inferior.....	98
Figura. 2.29 Dimensionamiento Vista Frontal.....	99
Figura. 2.30 Dimensionamiento Vista Posterior.....	100
Figura. 2.31 Dimensionamiento Vista Lateral Derecha.....	101
Figura. 2.32 Dimensionamiento Vista Lateral Izquierda.	102
Figura. 2.33 Diagrama de Funcionamiento del Circuito Electrónico.	104
Figura. 2.34 Fuente de Voltaje del Banco de Inyección.....	105
Figura. 2.35 Representación de la Fuente de Voltaje en el Diagrama de Funcionamiento.	105

Figura. 2.36 Condensador Electrolítico de 10 μ F.	106
Figura. 2.37 Circuito Integrado NE555.	107
Figura. 2.38 Medición del Pulso de Inyección en un Motor DDS60 a 1400rpm en el Cigüeñal.	109
Figura. 2.39 Representación y Conexión NE555 en el Diagrama de Funcionamiento.	112
Figura. 2.40 Transistores IRFP150N.	112
Figura. 2.41 Representación y Conexión IRFP150N en el Diagrama de Funcionamiento.	114
Figura. 2.42 Despiece Solenoide de Inyector.	114
Figura. 2.43 Representación y Conexión Solenoide en el Diagrama de Funcionamiento.	115
Figura. 2.44 LED Amarillo.	116
Figura. 2.45 Representación y Conexión LED en el Diagrama de Funcionamiento.	116
Figura. 2.46 Arnés de Cables del Banco de Inyección.	117
Figura. 2.47 Señal Generada por NE555-1 en un Osciloscopio; Ancho de pulso 1,6ms.	120
Figura. 2.48 Señal Generada por NE555-2 en un Osciloscopio; Ancho de pulso Invertido 1,6ms.	121
Figura. 2.49 Señal emitida por el Solenoide de Inyector a un PW de 1.6ms.	122
Figura. 2.50 Circuito Preliminar de Inyectores.	123
Figura. 2.51 Circuito Definitivo de Inyectores.	123
Figura. 2.52 Circuito de Inyectores y Fuente de Voltaje Instalados en el Banco de Inyección.	123
CAPÍTULO 3	124
PRUEBAS DE INYECCIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	124
Figura. 3.1 Volumen Inyectado por cada Inyector a 0 vueltas de Calibración. ...	127
Figura. 3.2 Volumen Inyectado por cada Inyector a 1 vuelta de Calibración.	128
Figura. 3.3 Volumen Inyectado por cada Inyector a 2 vueltas de Calibración. ...	130
Figura. 3.4 Volumen Inyectado por cada Inyector a 3 vueltas de Calibración. ...	132
Figura. 3.5 Volumen Inyectado por cada Inyector a 3 ^{3/4} vueltas de Calibración.	134
Figura. 3.6 Volumen Inyectado por cada Inyector en las Pruebas de Calibración.	135
Figura. 3.7 Volumen Total Inyectado en cada Prueba de Calibración y su Proyección a 1 minuto.	138
Figura. 3.8 Volumen Inyectado en cada Prueba de Calibración por el Inyector 1.	139

Figura. 3.9 Volumen Inyectado en cada Prueba de Calibración por el Inyector 3.	140
Figura. 3.10 Volumen Inyectado en cada Prueba de Calibración por el Inyector 4.	142
Figura. 3.11 Volumen Inyectado en cada Prueba de Calibración por el Inyector 6.	143
Figura. 3.12 Curvas de Inyección de todos los Inyectores.	145
Figura. 3.13 Volumen Total Inyectado por cada Inyector.	147
Figura. 3.14 Promedio de Inyección.	147
Figura. 3.15 Media de Inyección.	148

ÍNDICE TABLAS

CAPÍTULO 1	1
FUNDAMENTOS Y TEORÍA DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DEL MOTOR DETROIT DIESEL SERIE 60	1
Tabla 1.1. Control Electrónico ECM DDEC V-1.....	29
Tabla 1.2. Control Electrónico ECM DDEC V-2.....	30
CAPÍTULO 2	48
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE INYECCIÓN DIESEL TIPO BOMBA- INYECTOR: MOTOR DETROIT DIESEL SERIE 60.....	48
Tabla 2.1 Datos Técnicos Perfil Estructural.....	94
Tabla 2.2 Corriente que circula por cada Inyector.	122
CAPÍTULO 3	124
PRUEBAS DE INYECCIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	124
Tabla 3.1 Resultados Calibración a 0 vueltas.....	126
Tabla 3.2 Resultados Calibración a 1 vuelta.	128
Tabla 3.3 Resultados Calibración a 2 vueltas.....	130
Tabla 3.4 Resultados Calibración a 3 vueltas.....	131
Tabla 3.5 Resultados Calibración a 3 ^{3/4} vueltas.	133
Tabla 3.6 Resultados Volumen Inyectado Inyector 1.....	139
Tabla 3.7 Resultados Volumen Inyectado Inyector 3.....	140
Tabla 3.8 Resultados Volumen Inyectado Inyector 4.....	142
Tabla 3.9 Resultados Volumen Inyectado Inyector 6.....	143

SÍNTESIS

El presente proyecto de tesis, es el diseño y construcción de un banco de inyección diesel tipo bomba-inyector con control electrónico. Se ha tomado como referencia para su simulación en este banco al sistema de inyección de un motor Detroit Diesel Serie 60 con tecnología DDEC V.

Básicamente éste banco de inyección está constituido por una estructura metálica que sostiene un grupo de componentes que forman el tren mecánico y motriz del proyecto, un sistema de alimentación de combustible y adicionalmente un circuito electrónico de inyectores, con su respectivo arnés de cables, que entregan un pulso eléctrico a los solenoides de inyector, para permitir el paso de combustible y generar la pulverización del diesel, el mismo que es recogido y medido por un conjunto de probetas plásticas instaladas por debajo de las puntas de los inyectores.

El tren mecánico y motriz está constituido por un cabezote DDS60 DDEC V que aloja a un árbol de levas, 6 inyectores y 2 barras de balancines con sus respectivos balancines de inyector y bujes separadores, que ocupan el lugar de los balancines de válvulas que no son necesarios en este caso. El mecanismo de propulsión está dado por un motor eléctrico de 5HP que gira a 3500rpm. Al eje de éste motor eléctrico se ha adaptado el conjunto de engranajes provenientes de la rueda posterior de una bicicleta montañera. De éste conjunto se ha utilizado el engranaje de menor diámetro, y por medio de la cadena de bicicleta la cual es refrigerada por un chorro de taladrina, se conecta éste al piñón del árbol de levas, el cual ha sido diseñado y construido para que el mecanismo gire a 700rpm. Velocidad intermedia en el rango al cual gira un motor real DDS60 en el árbol de levas.

El sistema de alimentación de combustible está formado por la bomba de combustible de un motor DDS60 que succiona diesel de un recipiente de 5 galones que se ha ubicado por debajo de la misma. En éste ingresan 2 mangueras de combustible: una de succión que va a la entrada de la bomba, y otra de retorno que viene desde la salida del cabezote, pasando por una válvula Check de retorno de combustible que mantiene el riel interno del cabezote con combustible cuando se apaga el mecanismo. Para que la bomba pueda girar, se ha adaptado a ella la catalina intermedia que va en los pedales de la bicicleta montañera. Se ha construido una base que sostiene a la bomba y la fija, y en donde el movimiento de la cadena engrana sobre los dientes de la catalina para que la bomba con su giro succione el combustible y genere caudal en el sistema que abastece de diesel a los inyectores. La bomba de combustible gira aproximadamente a 1750rpm.

Al accionar el motor eléctrico (motor trifásico), la transmisión del movimiento por medio de la cadena hace girar a la catalina de la bomba de combustible y al piñón del árbol de levas. La bomba genera caudal y abastece de combustible a los inyectores, sin embargo estos aún no pulverizan diesel debido a que los solenoides de inyector no han sido energizados por el circuito electrónico. El árbol de levas al

girar hace trabajar a los balancines de inyector que se conectan directamente a los seguidores de los inyectores, produciendo un movimiento ascendente y descendente que genera presión de inyección en el interior de los mismos. Este es el funcionamiento mecánico que se da en el banco de inyección presentado.

Por otro lado tenemos la parte electrónica del banco, que está constituida por el circuito de inyectores y el arnés de cables que se conectan a los solenoides de inyector. El circuito es básico y está formado por dos circuitos integrados temporizadores NE555 que generan una frecuencia de inyección a partir de una corriente pulsante. El pulso se dirige hacia 6 transistores tipo MOSFET IRFP150N, conectados en paralelo, que envían dicha señal a los actuadores del circuito. Primeramente a su correspondiente solenoide de inyector, que energizará una y otra vez la bobina de su interior para permitir el paso de combustible y lograr la pulverización de diesel en las puntas de los inyectores. Adicionalmente se han conectado al circuito 6 luces LED amarillas que indican el funcionamiento correcto de estos actuadores.

A la salida del circuito se arma por completo el arnés de cables que llegan a los sockets de los solenoides de inyector, y a los conectores de la fuente de voltaje para poder conectar el circuito. El circuito recibe la tensión de 12V de la fuente, como así también uno de los extremos de los sockets de inyector que alimentan a las bobinas de inyector. El ancho de pulso logrado en los inyectores puede variar entre 0.8ms y 2ms, siendo este último parámetro el regulado para las pruebas de inyección.

El objetivo de éste banco de inyección es comprobar el funcionamiento y estado mecánico del grupo de inyectores recibidos, a través de 5 pruebas de calibración (incluida la recomendada por el fabricante), en los pernos de regulación que se apoyan sobre los inyectores. Todo el combustible inyectado en cada prueba es cuantificado por medio de las probetas plásticas ubicadas por debajo de las puntas de cada inyector.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS Y TEORÍA DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DEL MOTOR DETROIT DIESEL SERIE 60

1.1. OBJETIVOS DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE INYECCIÓN DIESEL TIPO BOMBA-INYECTOR CON CONTROL ELECTRÓNICO: MOTOR DDS60.

- Diseñar y construir un banco de inyección diesel tipo bomba-inyector con control electrónico simulando de forma didáctica el funcionamiento del sistema de combustible de un motor Detroit Diesel Serie 60 utilizando partes originales de reciclaje.
- Describir las partes y el funcionamiento del sistema de combustible Detroit Diesel Serie 60 por medio del banco de inyección que se presenta, tanto en el tren mecánico que lo compone, como en el control electrónico que lo opera.
- Desde un diseño simple y utilizando electrónica básica, construir un circuito de inyectores que se encargue de la inyección y dosificación de combustible de los inyectores presentados en este banco.
- Sincronizar las señales eléctricas emitidas por el circuito hacia cada solenoide de inyector con el giro del árbol de levas, para que se den los eventos de inyección en el banco de pruebas. Es decir, que coincida la

apertura de la válvula electromagnética del inyector con su respectiva leva de accionamiento.

- Modificar el ancho de pulso de los inyectores a través del circuito para simular las distintas cargas a las que son sometidos los motores DDS60.
- Conformar un sistema de distribución de engranajes en el banco de inyección, que al ser propulsados por un motor eléctrico, genere varias velocidades como un motor real DDS60. De esta manera se podrán hacer pruebas de inyección en diferentes revoluciones de giro.
- Comprobar el funcionamiento y la pulverización de un conjunto de seis inyectores que han sido montados en el cabezote de este banco de inyección a través de diferentes calibraciones en los pernos de regulación de los mismos. Determinar su estado interior en el caso de que su funcionamiento sea demasiado irregular.
- Cuantificar la cantidad de combustible inyectada por cada inyector en cada prueba de calibración y hacer un análisis de su dosificación, tomando como referencia la calibración recomendada por el fabricante de motores DDS60.
- Analizar y comprobar que la calibración recomendada por fabricante en los pernos de regulación de los inyectores es realmente la que genera mayor ahorro de combustible en un motor DDS60.

- Poder visualizar la pulverización de combustible de los inyectores pertenecientes a un sistema bomba-inyector, y en particular del motor DDS60.

1.2. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA DE COMBUSTIBLE DETROIT DIESEL SERIE 60.

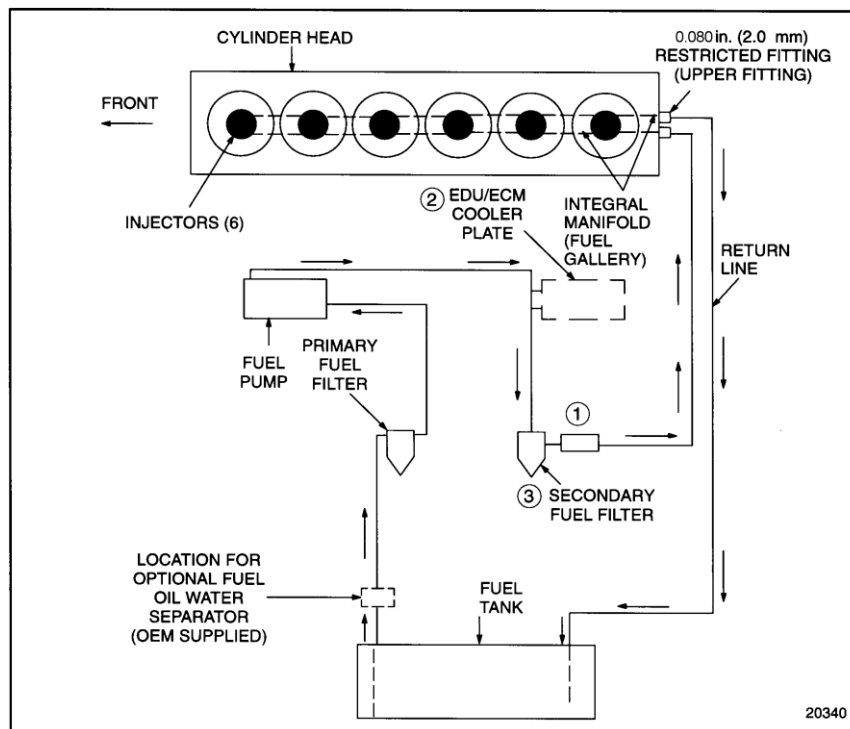


Figura. 1.1 Diagrama Esquemático del Sistema de Combustible DDS60.¹

La bomba de combustible absorbe el fluido del tanque de combustible a través de la succión que producen sus piñones. Sigue su recorrido hacia un filtro primario en el cual las impurezas más grandes son atrapadas por el papel filtro, a manera

¹ DETROIT DIESEL CORPORATION, Series 60 Diesel and Natural Gas-Fueled Engines Service Manual, Boletín 6SE483, Printed in U.S.A., 2006; Pág. 2-5.

de un colador, enseguida el combustible entra a la bomba de engranajes, la cual presuriza el mismo hacia un segundo filtro, cuyo micraje es menor, lo cual permite que el combustible se dirija al riel de inyectores sin impurezas. El filtro primario, puede ser reemplazado por un filtro separador de agua que puede ser montado opcionalmente en el sistema.

Antes de llegar al filtro secundario el combustible pasa a través de la placa separadora del módulo electrónico con el block de cilindros, para refrigerar al ECM (esta placa está montada en los motores DDS60 que tienen sistema electrónico DDEC V).

Después del filtrado pasa a través de una válvula PRO CHECK, cuya función es eliminar el aire contenido en el combustible. Esta válvula normalmente equipa al sistema cuando se ha solicitado al fabricante su instalación.

El combustible se dirige hacia el cabezote y se aloja en su riel interno y alimenta al banco de inyectores. El combustible sobrante de los inyectores retorna por una cañería de salida desde el cabezote hacia el tanque de combustible después que se efectúa la inyección.

Al momento que la bomba de engranajes deja de enviar presión de combustible (interruptor de encendido del vehículo en posición "off"), una válvula Check en la salida de la línea de retorno impide que el riel de inyectores se quede desabastecido de combustible. Esto permite que al encender de nuevo el motor, el arranque inicial sea inmediato.

1.3. INYECTORES EUI N3 (ELECTRONIC UNIT INJECTOR N3).

La unidad o módulo de dosificación de combustible del inyector está posicionada por debajo del plunger, por lo tanto la carcasa completa del inyector es más pequeña que los modelos anteriores de inyectores para motores DDS60. Interiormente el inyector N3 produce la apertura y el cierre de la válvula solenoide para controlar el inicio y el fin de la inyección de combustible.

El punto de cierre de la válvula solenoide indica el inicio de la inyección, y la apertura de la misma indica el final de la inyección. La alta presión en el inyector se genera con la carrera descendente del plunger y el cierre de la válvula solenoide.

La cantidad de combustible inyectada es determinada por el tiempo en que la válvula solenoide permanece cerrada, y este tiempo es comandado por el módulo electrónico. Un núcleo magnético está incorporado en la unidad que contiene a la válvula solenoide y las señales eléctricas provenientes del ECM llegan a través de un conector de 2 pines que energiza al núcleo para realizar el cierre de la misma.

Las ventajas de este tipo de inyector son una fuerza de inyección mejorada, reduce el goteo externo en la punta del inyector, tiene un diseño compacto y posee menor peso.

1.3.1. Partes que componen el Inyector EUI N3.

1.3.1.1. Seguidor del Inyector (Injector Follower).

El seguidor del inyector está ubicado junto con el resorte externo del mismo, y topa directamente con el plunger, sobre el cual ejerce presión al momento que el brazo del balancín de inyector hace contacto con éste (seguidor). Al ajustar o desajustar el perno de regulación del balancín que asienta en la base superior del seguidor, se determina la calibración del inyector a través de una presión determinada por fabricante.

1.3.1.2. Plunger.

El plunger es un cilindro macizo delgado y alargado, metálico, que tiene una carrera ascendente y descendente sobre una camisa en la cual se desliza. Al momento de descender genera una presión sobre el combustible atrapado en el interior del inyector, y posibilita la inyección del fluido en la cámara de combustión. Cuando el plunger sube, crea una presión de vacío que bombea el combustible hacia adentro, para empezar un nuevo ciclo de inyección. El plunger está conectado permanentemente con el seguidor del inyector.

1.3.1.3. Módulo de Dosificación (Module).

El módulo de dosificación está compuesto principalmente por una bobina solenoide y una válvula de control que permite o impide el paso de combustible. El solenoide es energizado por medio de un pulso eléctrico enviado por el ECM para crear un campo magnético que atrae a la válvula de control, y la cierra. Atrapa el combustible que circula en el interior del inyector y genera presión

interna conjuntamente con el plunger, para iniciar el proceso de inyección. Al ser desenergizada la bobina, la válvula de control vuelve a abrirse permitiendo que el combustible ingrese nuevamente.

1.3.1.4. Tuerca del Inyector (Injector Nut).

La tuerca del inyector está adherida al cuerpo del inyector que se enrosca en el interior del cabezote, hasta que la punta del mismo llega a la cámara de combustión.

1.3.1.5. Jaula del resorte interno del Inyector (Injector Spring Cage).

La jaula del resorte interno del inyector contiene al resorte que mantiene presionada la aguja del inyector sobre su asiento, mientras está cerrada y no existe presión de combustible. Al aumentar la presión de combustible el resorte cede y la aguja sube, permitiendo que el espray atomizado salga por los orificios de la punta. A medida que la presión de combustible decrece, el resorte vuelve a restablecerse colocando la aguja en su asiento.

1.3.1.6. Punta del Inyector (Nozzle).

En el interior de la punta del inyector se aloja la aguja del inyector. La punta contiene varios orificios pequeños que permiten que el combustible salga atomizado por la alta presión a la cámara de combustión al momento de la inyección.

1.3.1.7. Cuerpo del Inyector.

El cuerpo del inyector constituye toda la carcasa que recubre a todos los elementos internos mencionados anteriormente. En el cuerpo encontramos un orificio de entrada de combustible y otro de retorno de combustible, el orificio de entrada es de mayor diámetro. También encontramos tres sellos tipo o-ring de diferente diámetro que se encargan de impedir el paso de aceite hacia la cámara de combustible que tiene cada inyector en el riel. Adicionalmente en el inicio de la punta del inyector se encuentra una arandela de cobre que disipa el calor proveniente de la cámara de combustión.

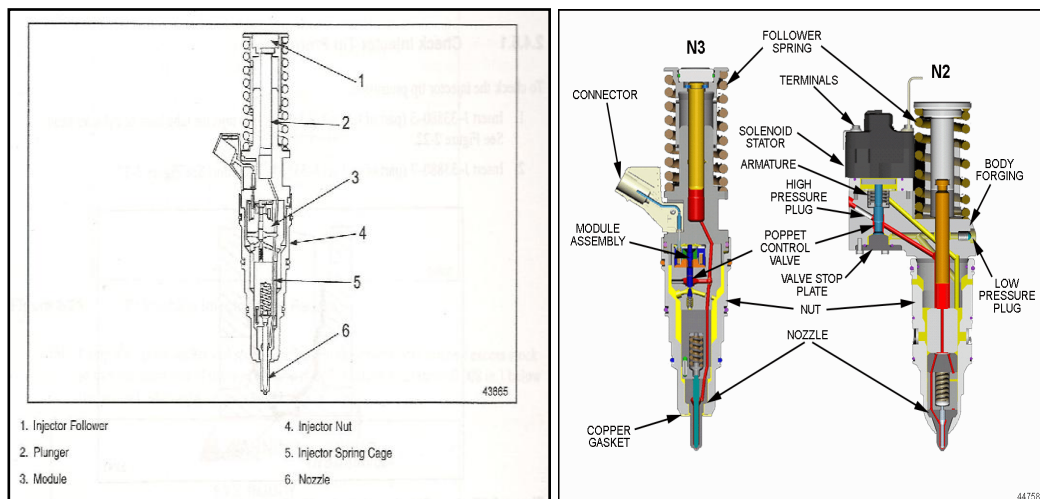


Figura. 1.2 Corte transversal y Partes del Inyector EUI N3.2

² DETROIT DIESEL CORPORATION, *Series 60 Diesel and Natural Gas-Fueled Engines Service Manual*, Boletín 6SE483, Printed in U.S.A., 2006; Pág. 2-42.

1.3.2. Funcionamiento del inyector EUI N3.



Figura. 1.3 Inyector EUI N3.³

Después que el combustible entra en la cavidad del inyector que está enroscada al cabezote, éste pasa a través de un conducto interno del inyector que se dirige hacia el área del plunger y módulo de dosificación. El plunger opera de forma ascendente y descendente y se desliza sobre un cilindro interno en el cual se desplaza. El movimiento del brazo de balancín de inyector es transmitido al plunger y al seguidor que asienta sobre el resorte externo del cuerpo del inyector.

El inyector está comandado por el árbol de levas de manera mecánica, y por el módulo ECM DDEC V, electrónicamente. Mientras el pistón en su carrera ascendente del tiempo de compresión llega a las dos terceras partes de su recorrido, la leva de inyector del árbol de levas empieza a levantar el rodillo seguidor del balancín, y el brazo del balancín a su vez presiona al seguidor y plunger del inyector.

³ Imagen tomada del sitio web: www.truck.ru/downloads/injector.doc

Justo antes que inicie la inyección, el ECM (Módulo de Control Electrónico) envía un pulso eléctrico que energiza el solenoide del inyector. El solenoide crea una fuerza magnética que cierra la válvula de control, logrando que el combustible se quede atrapado por debajo del plunger y se dirija hacia la válvula de aguja del inyector. La presión de combustible empieza a aumentar a medida que el plunger continúa con su carrera descendente y alcanza aproximadamente los 28000 psi.

Esta presión de combustible actúa sobre la válvula de aguja. Cuando se crea una fuerza lo suficientemente alta para vencer la resistencia del resorte que sostiene la aguja del inyector en su asiento, esta se mueve hacia arriba, permitiendo que un spray de combustible altamente presurizado entre a la cámara de combustión. La alta presión de combustible al pasar por los pequeños orificios de la punta del inyector, produce una fina atomización del fluido, para ayudar a la combustión dentro del cilindro.

Después que el tiempo del ancho de pulso ha pasado, el ECM apaga la corriente enviada al solenoide del inyector. El solenoide desenergizado permite que un pequeño resorte en el módulo de dosificación abra la válvula de control, haciendo que el combustible empiece a drenar y la presión empiece a decaer.

Cuando la presión es lo suficientemente baja, la válvula de aguja cierra y termina la inyección. El inicio de la inyección y la dosificación del combustible en relación a la posición del cigüeñal, son controlados por el ECM. La inyección de combustible empieza inmediatamente después que la válvula de control se cierra. El tiempo en milisegundos (ms) que le toma al solenoide en energizarse y atraer

magnéticamente a la válvula de control hasta su cierre, es conocido como el tiempo de respuesta del inyector IRT (Injector Response Time).

Por otro lado el ancho de pulso PW (Pulse Width), es el tiempo en que el inyector alimenta de combustible al motor DDS60, el cual es determinado por los grados de rotación del cigüeñal captados por el ECM DDEC V a través del sensor de referencia del cigüeñal TRS. Esta información es utilizada para monitorear y ajustar el tiempo de inyección, aunque remover inyectores de un cilindro a otro afecta directamente a éste parámetro. La cantidad de combustible inyectada depende del ancho de pulso programado por el ECM como hemos mencionado anteriormente, el cual determinará el tiempo que la válvula de control permanece cerrada; mientras más tiempo está cerrada, más combustible es inyectado.

Cuando el brazo de balancín de inyector ha completado su carrera descendente, el resorte externo y el seguidor del inyector retornan a su posición inicial. Mientras el plunger sube nuevamente, el combustible es succionado a través del orificio de entrada para empezar un nuevo ciclo. La circulación constante de combustible dentro del inyector renueva el abastecimiento del mismo y adicionalmente genera un efecto refrigerante en su interior.

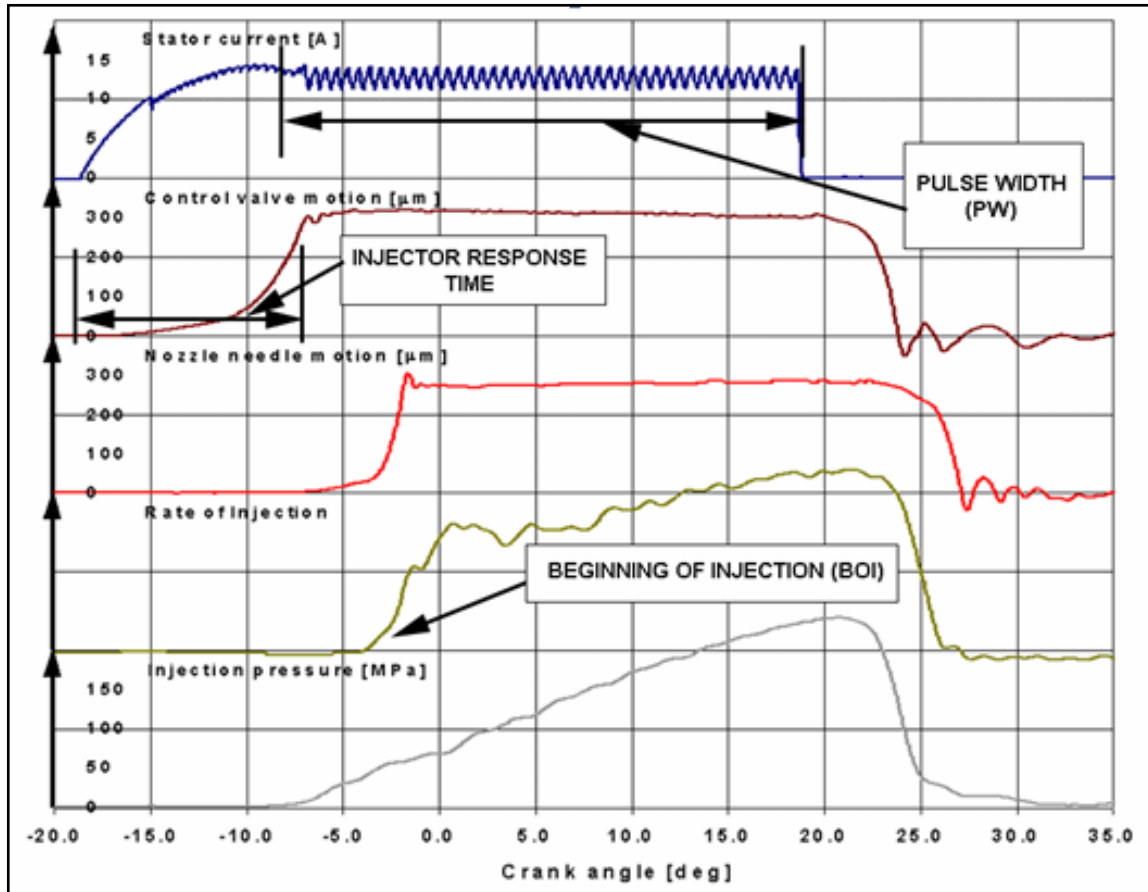


Figura. 1.4 Curvas Características del Inyector EUI N3.⁴

1.4. BOMBA DE COMBUSTIBLE.

La bomba de combustible transfiere combustible desde el tanque de almacenamiento hasta el banco de inyectores.

La bomba hace circular en el sistema de inyectores un exceso de combustible para purgar cualquier burbuja de aire contenida en el fluido y para refrigerar internamente a los inyectores.

⁴ Imagen tomada del sitio web: www.truck.ru/downloads/injector.doc

La cantidad de combustible no utilizada es enviada por la línea de retorno nuevamente al tanque de combustible. El tipo de bomba que ocupa el sistema de combustible del motor DDS60 es una bomba de engranajes rectos externos.

Los ejes de ambos engranajes están soportados por cojinetes de rodillos ubicados en cada extremo. En condiciones óptimas estas bombas pueden llegar a dar un 93% de rendimiento volumétrico.

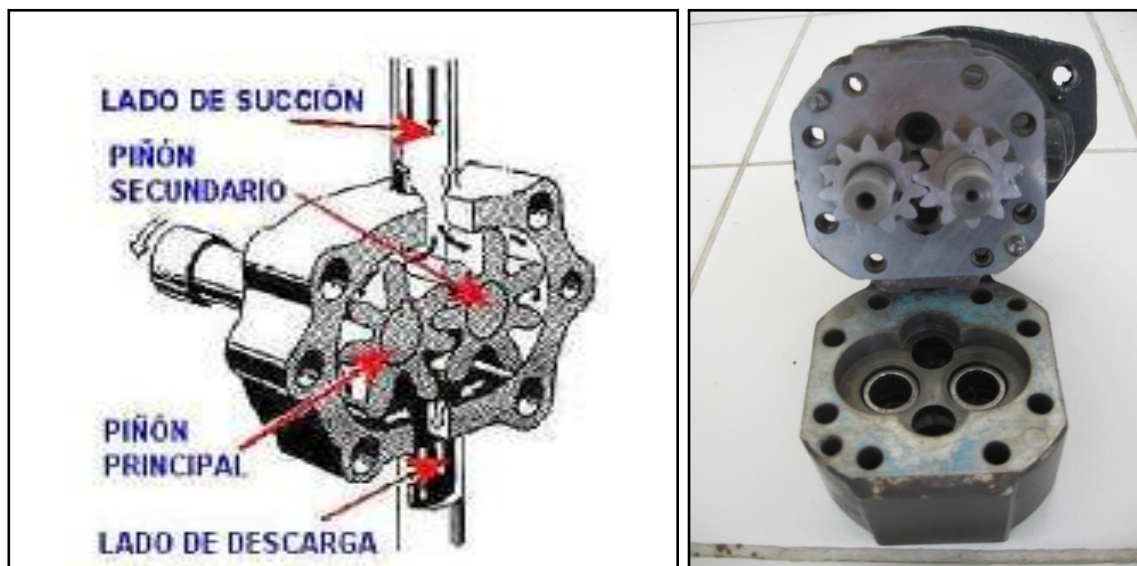


Figura. 1.5 Bomba de Engranajes Rectos Externos.⁵

⁵ Imagen tomada del sitio web: www.sapiensman.com/.../neumatica_hidraulica9.htm

1.4.1 Partes que componen la Bomba de Combustible.

1.4.1.1. Cuerpo de la Bomba de Combustible (Body).

El cuerpo de la bomba de combustible va adherida al eje del compresor de aire que tiene el motor, por medio de una estrella plástica de acoplamiento (coupling) que transmite el giro del eje del compresor hacia la bomba de combustible. En el interior del cuerpo de la bomba se encuentra un conducto transversal que aloja a la válvula de alivio de presión (Relief valve). Sobre la superficie plana, en la cual asienta la tapa de la bomba, tenemos los conductos que van hacia la cabeza de la válvula de alivio (Passage to the head of the relief valve), tanto en el lado de succión, como en el de presión de combustible.

Además adyacentes a cada conducto, se encuentran las cavidades de desfogue de los dientes de engranajes (Gear teeth vent cavity). También se puede observar un orificio dentro del conducto de la válvula de alivio que sirve para mantenerla lubricada por medio del combustible que ingresa por el neplo de entrada, y está ubicada hacia el lado de succión (Relief valve vent to suction side).

Por último encontramos un ducto u orificio llamado respiradero del sello de combustible (Oil seal vent to suction side), que permite que el eje conductor esté lubricado en el lugar donde se aloja el retenedor interno de la bomba.



Figura. 1.6 Cuerpo de la bomba de combustible.

1.4.1.2. Tapa de la Bomba de Combustible (Cover).

La tapa de la bomba de combustible asienta sobre el cuerpo de la bomba a través de dos pines guías (Dowel) que centran todo el conjunto. Estas superficies van unidas a través de un empaque (Gasket).

En la cara interna de la tapa encontramos una cavidad en la cual giran los engranajes y los ejes de los mismos sobre dos canastillas de agujas (Needle bearings).

En la cara externa de la tapa se enroscan los neplos de entrada y salida de combustible. La tapa va adherida al cuerpo de la bomba de combustible por medio de ocho pernos de cabeza de estrella de seis puntas.



Figura. 1.7 Tapa de la Bomba de Combustible.

1.4.1.3. Eje Conductor y Manzana de Ensamble (Drive Shaft and Hub Assembly).

El eje conductor y manzana de ensamble son una sola pieza que ingresa en el interior de la bomba de combustible. En el eje conductor encontramos al engranaje conductor (Drive gear) que transmite el movimiento y giro al engranaje conducido (Driven gear) y eje conducido (Driven Shaft).

Este piñón se une al eje por medio de una chaveta (Key) y va sujetado por dos seguros tipo simbra o media luna (Snap ring) para evitar su desplazamiento axial.

El piñón conducido se sujeta de la misma manera a su eje. En el eje conductor también se ubican dos retenedores que impiden el paso de aceite al combustible y viceversa.

En el lado de la manzana de ensamble se coloca la estrella plástica de acoplamiento que une el giro del compresor del motor con la bomba de combustible.

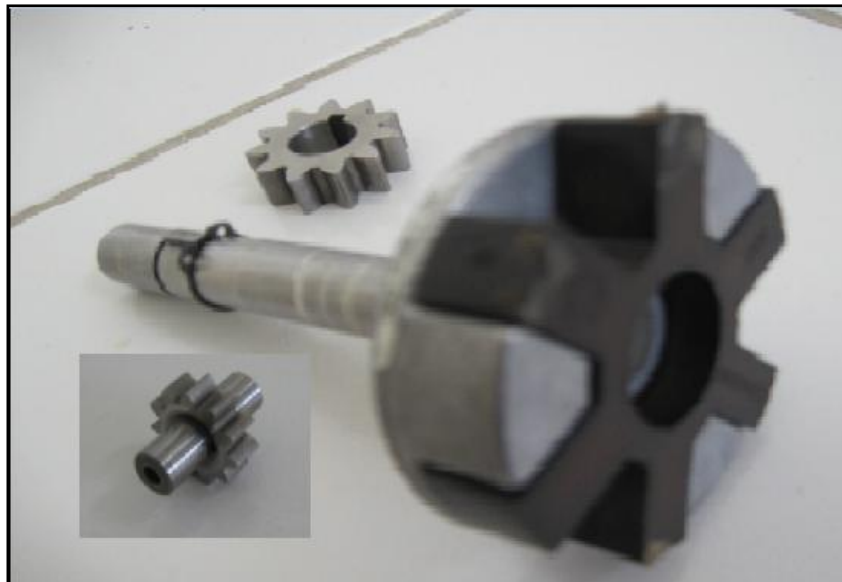


Figura. 1.8 Eje-Piñón Conductor con manzana de ensamble y Eje-Piñón conducido.

1.4.1.4. Válvula de Alivio de Presión (Relief Valve).

La válvula de alivio de presión se aloja en sentido transversal en una cavidad del cuerpo de la bomba de combustible. Va unida a un resorte calibrado (Spring), un pin metálico (Pin) que le da cuerpo al resorte y un perno que sujeta a todo el conjunto (Plug). El perno asienta al cuerpo de la bomba a través de un o-ring de caucho.

La válvula se encarga de liberar presión excesiva generada en los engranajes, y envía dicho combustible que fue presurizado al lado de succión de la bomba, para que pueda circular nuevamente y salir por el niple de salida hacia el filtro y riel de inyectores.

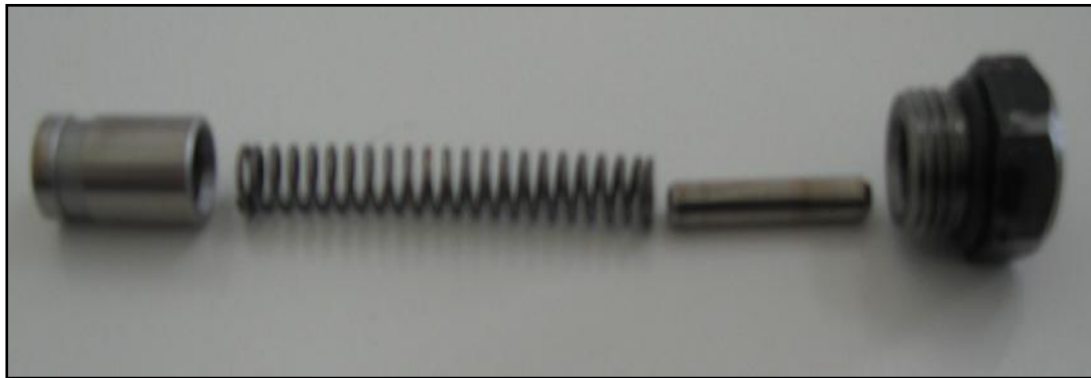


Figura. 1.9 Válvula de Alivio de Presión.

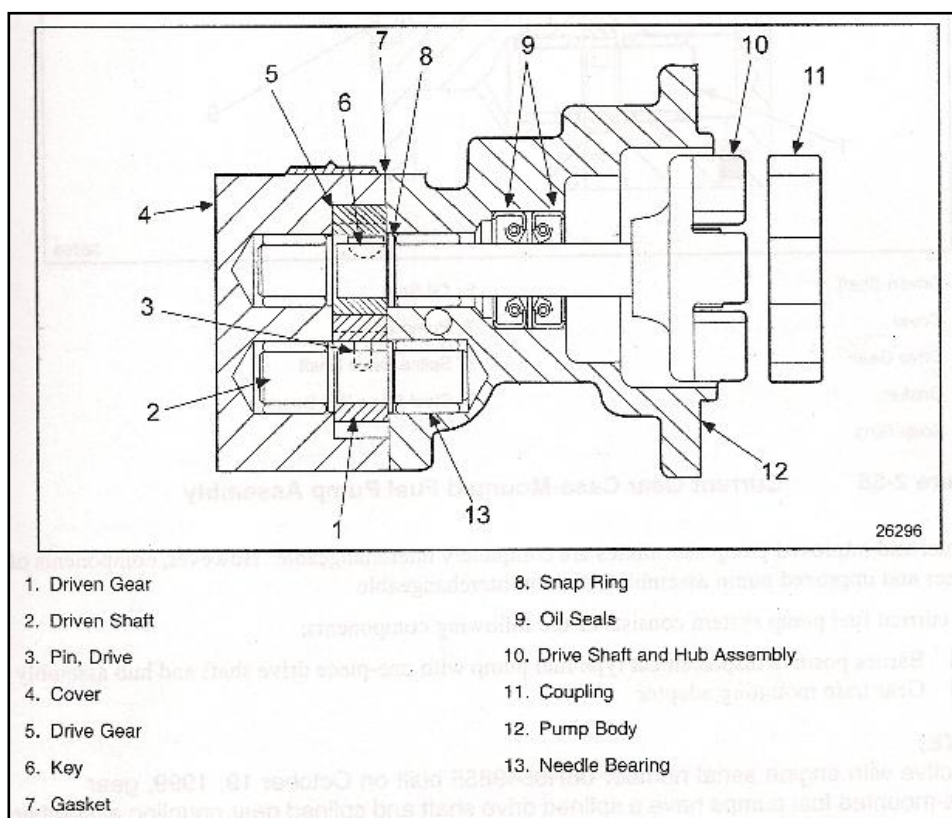


Figura. 1.10 Partes de la Bomba de Combustible, Vista Lateral.⁶

⁶ DETROIT DIESEL CORPORATION, *Series 60 Diesel and Natural Gas-Fueled Engines Service Manual*, Boletín 6SE483, Printed in U.S.A., 2006; Pág. 2-79.

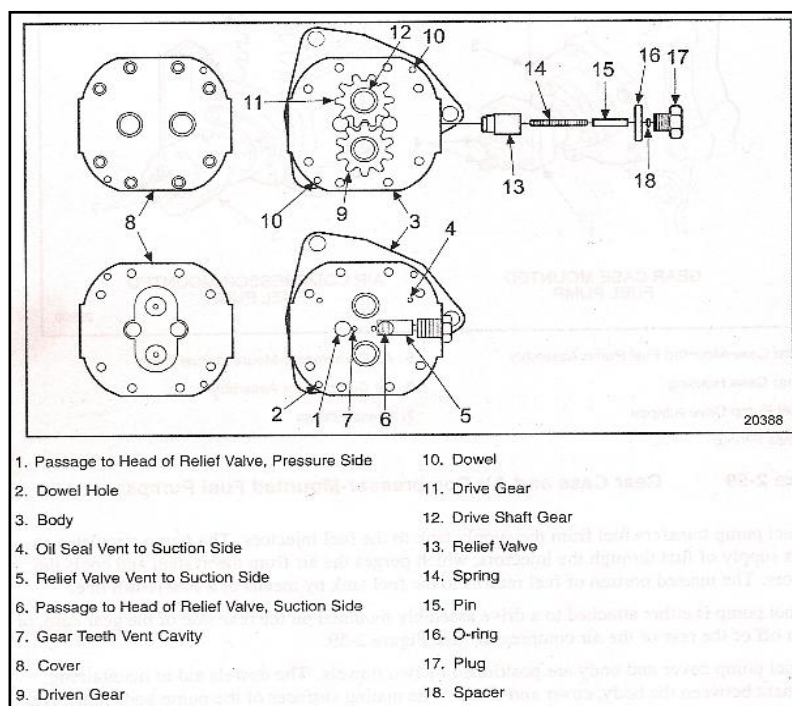


Figura. 1.11 Partes de la Bomba de Combustible, Vista Frontal.⁷

1.4.2. Funcionamiento de la Bomba de Combustible.



Figura. 1.12 Bomba de Combustible DDS60.

⁷ DETROIT DIESEL CORPORATION, *Series 60 Diesel and Natural Gas-Fueled Engines Service Manual*, Boletín 6SE483, Printed in U.S.A., 2006; Pág. 2-79.

El cuerpo y la tapa de la bomba de combustible se unen por medio de dos pines guías que se encuentran en el cuerpo de la bomba. Estos pines permiten que se logre un alineamiento perfecto entre la tapa, el cuerpo, los ejes y engranajes internos.

Las superficies planas que empatan cara a cara en esta unión son perfectamente lisas y pulidas; un empaque se coloca entre ellas. La tapa de la bomba de combustible posee una gran cavidad en la cual giran los engranajes, y es el lugar donde el combustible es transportado y presurizado por los dientes de los piñones.

El pequeño respiradero de la válvula de alivio permite al combustible, en el lado de succión de la bomba, lubricar la válvula de alivio hasta su extremo externo, lo cual elimina la posibilidad que se produzca un candado hidrostático que la haría inoperable.

Combustible presurizado contacta la válvula de alivio a través del conducto hacia la cabeza de la misma, empujándola para proporcionar el escape de presiones excesivas, cuando estas logran vencer la fuerza del resorte que sostiene a la válvula en su asiento y se manifiesta una sobrepresión (65 psi).

Este combustible reingresa por el lado de succión de la bomba, y a través de los dientes de los engranajes circula nuevamente hacia el lado de presión y salida. La cavidad de desfogue de los dientes de engranaje permite el escape de combustible, que es desprendido fuera de ellos al momento que engranan (esto ocurre en el lado de descarga de la bomba). Caso contrario, el combustible

atrapado en la base de los dientes de los piñones, provocaría una fuerza de separación en los mismos, cuya consecuencia sería demasiado desgaste en todos los elementos de la bomba de combustible (ejes, engranajes, cuerpo y tapa).

Dos sellos o retenedores de aceite entran a presión en la cavidad del cuerpo de la bomba ubicada hacia la manzana de ensamble para contener el combustible en el interior de la bomba y el aceite lubricante hacia el compresor y tapa de distribución.

El respiradero del sello de combustible sirve de conexión entre el sello o retenedor interno de combustible, y el lado de succión de la bomba. Este conducto previene el incremento de presión alrededor del eje conductor donde se aloja el sello. Los retenedores son instalados con sus labios uno frente al otro. Se puede esperar una leve filtración de combustible entre los sellos cuando el motor está en marcha o inmediatamente después de que este es apagado. Normalmente esto ocurre cuando la bomba de combustible es nueva, los retenedores son nuevos o uno de ellos lo es, hasta que los sellos se amolden perfectamente en el eje conductor de la bomba o a su cuerpo.

Un orificio de drenado está ubicado en el cuerpo de la bomba, ubicado justo en el medio de los sellos para evitar que el combustible se atrape entre ellos. La retención excesiva de combustible entre los retenedores podría ocasionar demasiada presión, la cual se filtraría hacia el aceite lubricante, diluyéndolo; es

por eso obligatoria la presencia del orificio de drenado. Sin embargo, si la fuga de combustible es considerable, es necesario revisar y cambiar la bomba.

Al momento que la bomba de combustible está en funcionamiento, el fluido entra por el lado de succión y llena el espacio entre los dientes engranados, tanto en el piñón conductor como en el conducido, generándose alta presión. Los dientes de los engranajes llevan el combustible hacia el lado de descarga de la bomba, forzándolo hacia el conducto de salida, y de esa instancia a las cañerías del sistema bajo presión para llegar a los inyectores.

La válvula de alivio descarga el exceso de presión, pasando el fluido del lado de salida de la bomba al lado de succión, cuando esta alcanza de 65 psi a 75 psi (448 kPa a 517 kPa).

1.5. FILTROS DE COMBUSTIBLE.

Dos filtros, de tipo enroscables, son utilizados en el sistema de combustible del motor DDS60. El primero en el flujo de combustible es un colador, y el segundo es un filtro.

Sin embargo no están especificados o marcados como tal en el sistema, es por eso que las bases roscadas en donde se insertan los cartuchos de filtro tienen diferente dimensión para evitar confusiones al momento de la instalación de estos elementos. El filtro primario tiene una rosca de 1" x 12, mientras que el secundario una de 13/16" x 12.

Los cartuchos de filtro de tipo enroscable están compuestos básicamente por el elemento filtrante o papel filtro, que es el lugar donde las impurezas del combustible se atrapan, y una junta de caucho que mantiene hermético el conjunto para que no exista filtración de aire.

El sistema de filtrado consiste en: base del filtro primario, filtro primario, base del filtro secundario, filtro secundario y la válvula de corte de combustible o válvula Check.

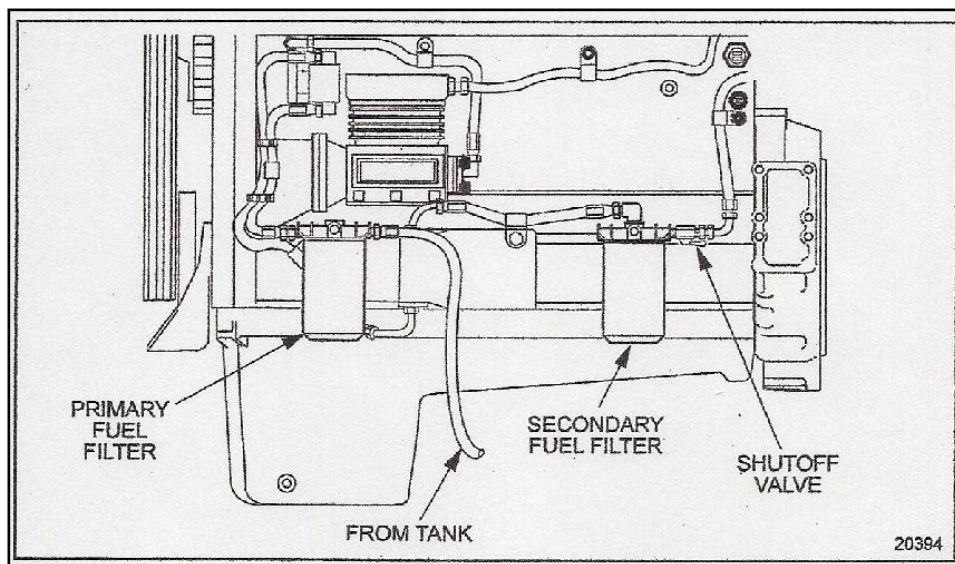


Figura. 1.13 Sistema de Filtrado Motor DDS60.⁸

Mientras la cantidad de contaminantes se incrementan en el medio filtrante, algunos factores empiezan a afectar en el rendimiento del motor por medio del sistema de combustible y son los siguientes:

⁸ DETROIT DIESEL CORPORATION, *Series 60 Diesel and Natural Gas-Fueled Engines Service Manual*, Boletín 6SE483, Printed in U.S.A., 2006; Pág. 2-104.

- La cantidad de suministro de combustible se reduce, enviando insuficiente diesel a la cámara de combustión.
- La bomba de combustible se ve forzada a trabajar de manera exigida para poder mover el mismo volumen de combustible. Esto ocasiona condiciones anormales en los sellos de combustible, provocándose fugas de diesel. En casos extremos, ingresa aire al sistema.
- Con el suministro de combustible disminuido, este permanece más tiempo en el cabezote (culata), permitiendo que su temperatura suba más de lo normal. Debido a que la temperatura del combustible tiene efecto en la potencia del motor, temperaturas más altas de combustible reducen la potencia del mismo.
- Si la restricción de combustible es lo suficientemente severa, el fluido se comienza a evaporar, formando burbujas de aire que reducen el suministro de diesel.

Todos estos factores llevan al motor DDS60 a una pérdida de potencia y a un incremento en el consumo de combustible debido a que se necesita exigir de mayor manera al motor, colocando marchas más fuertes para poder trabajar y tener capacidad de reacción ante caminos difíciles.

Un método para determinar cuando los filtros de combustible deben ser reemplazados, está basado en la medición de la presión de combustible, tanto en

la ubicación del neplo de entrada de diesel en el cabezote, como en la restricción a la entrada de la bomba de combustible.

En un sistema de combustible limpio de suciedad en su filtro primario, la máxima presión en la restricción de entrada en la bomba no debe exceder los 2,9 psi (20 kPa). Con el sistema sucio, la presión no debe exceder los 5,9 psi (41 kPa).

A velocidades normales de funcionamiento, con una restricción estándar en el neplo de entrada a la bomba de combustible (2,03mm), la presión en la entrada del cabezote debe estar entre 50 psi a 80 psi (345 kPa a 577 kPa). Por lo tanto el filtro primario deberá ser reemplazado al momento que la presión en la entrada de la bomba sea de 5,9 psi, y el filtro secundario se reemplazará cuando la presión en la entrada del cabezote sea menor a los 50 psi.

Algunos sistemas vienen equipados con una válvula de cierre o válvula Check en el lado de salida de combustible del filtro secundario, la cual se encarga de retener el diesel en la manguera que va hacia el cabezote, al momento que el filtro es reemplazado.



Figura. 1.14 Base y Filtro de Combustible Secundario.

1.6. VÁLVULA CHECK EN EL SISTEMA DE RETORNO DE COMBUSTIBLE.

El sistema de retorno de combustible consta de una manguera que se dirige desde la salida de combustible del cabezote, hacia el tanque de combustible. La válvula Check puede estar ubicada en el niple de salida de combustible en la parte posterior del cabezote, o en la manguera que llega al tanque de almacenamiento de diesel.

Esta válvula tiene una restricción de 2mm de diámetro, la cual no debe ser mayor debido a un seguro cavitamiento en el interior de los inyectores. La función de la válvula Check es retener el combustible alojado en el riel de inyectores, para que éste no retorne al tanque de combustible al momento de apagar el motor. También impide que se vacíe el sistema de combustible cuando se realiza el recambio de filtros.

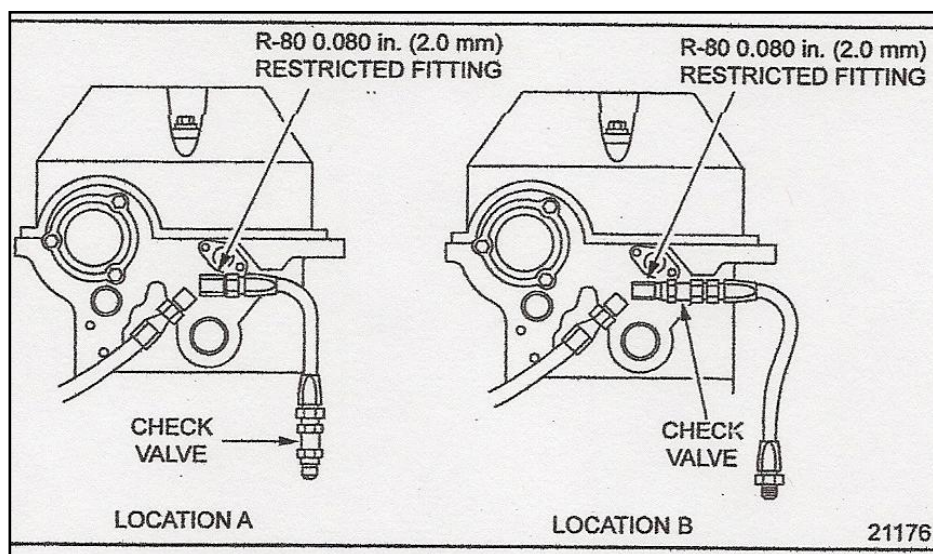


Figura. 1.15 Ubicación Válvula Check de Retorno de Combustible.⁹

1.7. MÓDULO DE CONTROL ELECTRÓNICO ECM DDEC V.

El módulo de control electrónico DDEC V, en los motores DDS60, es la última generación de ECM(s) que equipan estos motores debido a que contienen el sistema de válvula EGR para mejorar el control de emisiones hacia el medio ambiente.

El sistema DDEC (Detroit Diesel Electronic Control) controla el tiempo de inyección de combustible en los motores DDS60 a través de los inyectores EUI N3.

El sistema también monitorea algunas funciones del motor por medio de sensores eléctricos que envían señales eléctricas al Módulo. El ECM computa estas señales que ingresan y determina la correcta cantidad de combustible a inyectar

⁹ DETROIT DIESEL CORPORATION, *Series 60 Diesel and Natural Gas-Fueled Engines Service Manual*, Boletín 6SE483, Printed in U.S.A., 2006; Pág. 2-127.

para obtener potencia óptima, consumo adecuado de combustible y emisiones menos contaminantes. El ECM también tiene la capacidad de desplegar alertas o apagar el motor completamente en el caso de que se presenten condiciones dañinas para el motor como baja presión de aceite, bajo nivel de refrigerante, o temperatura de aceite muy alta.

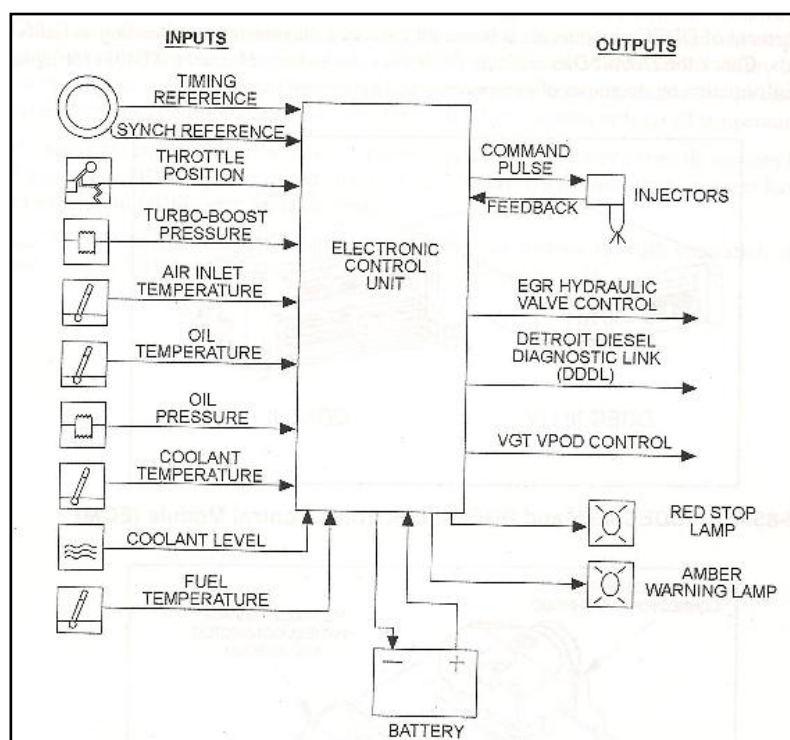


Figura. 1.16 Esquema del Módulo Electrónico ECM DDEC V.¹⁰

En las siguientes tablas detallaremos los diferentes controles que el ECM DDEC V contiene en su mando electrónico. La tabla 1.1 contiene los protocolos de comunicación que permiten lograr una conexión entre el módulo y los diferentes lectores de datos y software de programación de parámetros.

¹⁰ DETROIT DIESEL CORPORATION, *Series 60 Diesel and Natural Gas-Fueled Engines Service Manual*, Boletín 6SE483, Printed in U.S.A., 2006; Pág. 2-134.

También encontramos los diferentes controles programables para el ventilador, y para el freno de máquina.

La tabla 1.2, a su vez detalla los sensores básicos que emiten señales de funcionamiento con respecto a los parámetros del motor, y los sensores relacionados con el funcionamiento del OEM (Original Equipment Manufacturer).

Tabla 1.1. Control Electrónico ECM DDEC V-1.¹¹

SAE Standard Communication	
SAE J1587 protocol on J1708 hardware	
Diagnostics	
Electronic dashes	
Data Hub	
SAE J1922 protocol on J1708 hardware	
Traction control systems	
Transmission controls	
SAE J1939 high speed data link	
Vehicle controls	

Table 2-6 SAE Standard Communications for DDEC V	
Inputs	Outputs
Coolant temperature	Single on/off fan clutch
Oil temperature	Dual on/off fan clutch
Air temperatures	Two-speed single fan
Air conditioning	Modulated fan clutch

Table 2-7 Fan Controls for DDEC V	
-----------------------------------	--

¹¹ DETROIT DIESEL CORPORATION, *Series 60 Diesel and Natural Gas-Fueled Engines Service Manual*, Boletín 6SE483, Printed in U.S.A., 2006; Pág. 2-136.

Engine Brake Control
Cruise Control with Engine Brake
Engine Brake Disable
Engine Brake Active
Engine Fan Braking
Clutch Release Input
Service Brake Control of Engine Brakes
Min. MPH for Engine Brakes

Table 2-8 Engine Brake Controls with DDEC V

Tabla 1.2. Control Electrónico ECM DDEC V-2.¹²

DDEC V
Barometric Pressure Sensor (Baro Sensor)
Camshaft Position Sensor (CPM Sensor)
Crankshaft Position Sensor (CKP Sensor)
EGR Delta Pressure Sensor (EGR Delta Pressure)
EGR Temperature Sensor
Engine Coolant Temperature Sensor (ECT Sensor)
Engine Oil Level (EOL Sensor)
Engine Oil Pressure Sensor (EOP)
Engine Oil Temperature Sensor (EOT)
Supply Fuel Restriction Sensor
Intake Air Temperature Sensor (IAT)
Intake Manifold Pressure Sensor (IMP)
Mass Air Flow Sensor
Supply Fuel Temperature Sensor (SFT Sensor)
Turbo Compressor Temperature Out Sensor
Turbo Speed Sensor (TSS)

Table 2-9 Standard Sensors for DDEC V

¹² DETROIT DIESEL CORPORATION, *Series 60 Diesel and Natural Gas-Fueled Engines Service Manual*, Boletín 6SE483, Printed in U.S.A., 2006; Pág. 2-137.

DDEC V
Accelerator Pedal Sensor (AP Sensor)
Add Engine Coolant Level Sensor (AECL Sensor)
Air Filter Restriction Sensor (AFR Sensor)
Engine Coolant Level Sensor (ECL Sensor)
Fire Truck Pump Pressure Sensor *
Turbo Compressor In Temperature Sensor
Vehicle Speed Sensor (VSS)
Table 2-10 OEM Installed Sensors

1.7.1. Sensores en el Motor DDS60 que emiten señales al ECM DDEC V y son parte del Sistema de Combustible.

1.7.1.1. Sensor de Referencia del Cigüeñal TRS (Timing Reference Sensor).

El sensor de referencia del cigüeñal (TRS) es un componente electrónico que va montado en el extremo inferior izquierdo, al costado de la tapa de distribución de engranajes, cerca del piñón del cigüeñal. La longitud del TRS es de 56,06mm a 56,58mm. La porción magnética del sensor TRS se extiende a través de una abertura en la tapa de distribución de engranajes, y se sitúa cerca de los dientes de la rueda de tiempo montada antes del piñón del cigüeñal.

El sensor envía una señal al módulo electrónico, la misma que es generada por una serie de dientes uniformemente espaciados en la rueda de tiempo. Mientras la rueda de tiempo gira conjuntamente con el piñón del cigüeñal, un diente pasa a través del TRS. Esta señal es registrada por el ECM DDEC V para determinar la operación de los solenoides de inyectores, y la velocidad del motor DDS60.

“El TRS posee un disco con 36 dientes (rueda de tiempo), cuya función principal es determinar cuando el motor está con carga o sin ella, mediante la variación de velocidad tangencial del disco; una señal que envía cada 10° de giro del cigüeñal. Este posicionamiento del pistón número uno en el cilindro se debe tener en cuenta para una óptima combustión, lo cual se traduce en una gran economía de combustible y menores emisiones por un quemado más limpio.”¹³

El sensor de referencia del cigüeñal es un elemento que no puede ser reparado y al estar descompuesto necesita ser reemplazado inmediatamente, caso contrario el motor no encenderá.

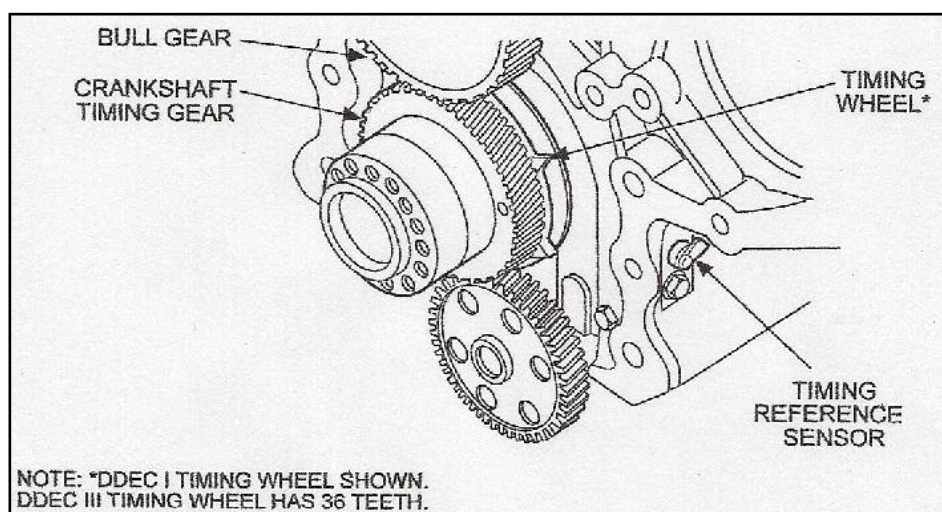


Figura. 1.17 Ubicación TRS en el Motor DDS60.¹⁴

¹³ Tomado del sitio web: html.rincondelvago.com/motores-diesel_inyeccion-electronica.html

¹⁴ DETROIT DIESEL CORPORATION, *Series 60 Diesel and Natural Gas-Fueled Engines Service Manual*, Boletín 6SE483, Printed in U.S.A., 2006; Pág. 2-203.

1.7.1.1.1. Teoría de Sensores Magnéticos de Reluctancia Variable.

“Los Sensores Magnéticos son comúnmente utilizados en cualquier sistema electrónico donde la velocidad de rotación de un elemento debe ser conocida, por ser un factor de operación del sistema.

El circuito consta de un módulo de control electrónico, un sensor magnético, un reluctor, conductores de conexión y conectores. El módulo de control electrónico contiene una resistencia limitadora de corriente y un circuito procesador de señal (información).

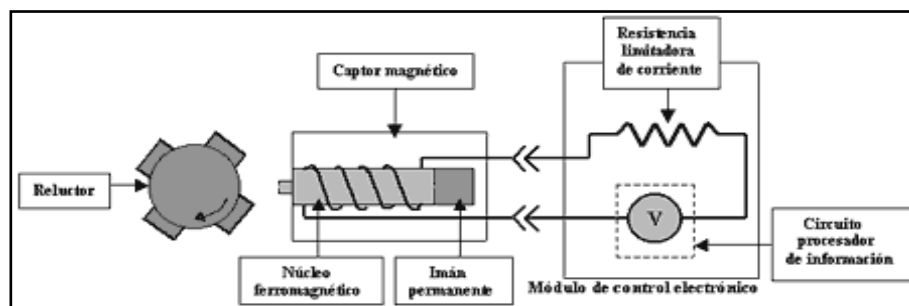


Figura. 1.18 Circuito Sensor Magnético de Reluctancia Variable.¹⁵

Un captor de reluctancia variable es un componente que por contar en su núcleo con un imán permanente, está generando continuamente un campo magnético uniforme y de intensidad constante.

La uniformidad de el campo magnético y su intensidad en ciertos puntos puede ser modificada, estas variaciones son logradas mediante el pasaje de un

¹⁵ Imagen tomada del sitio web: www.electriauto.com/.../sensores-magneticos-de-reluctancia-variable/

componente formado por material ferromagnético (reluctor) a través del campo magnético del captor.

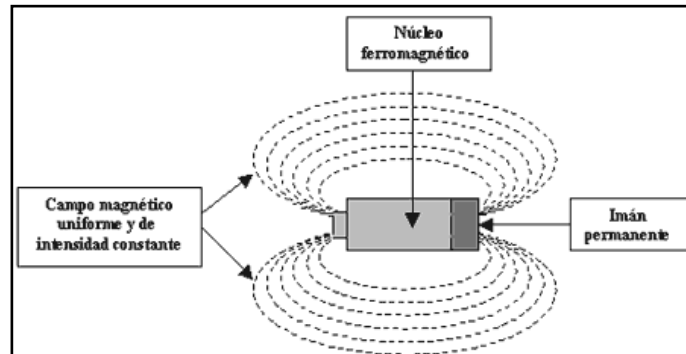


Figura. 1.19 Campo Magnético.¹⁶

Cuando un diente del reluctor comienza a aproximarse al sensor ("A" en Figura 1.20), las líneas de fuerza del campo magnético se desviarán cortando en su movimiento las espiras de la bobina del sensor.

Este cambio en el campo magnético inducirá una tensión positiva en dicha bobina, cuanto mayor sea el cambio producido en el campo magnético, mayor será el nivel de la tensión inducida en la bobina.

Cuando el diente del reluctor llega a enfrentarse con el captor no se produce ninguna desviación del campo magnético, por lo tanto la tensión inducida es igual a cero ("B" en Figura 1.20). El reluctor seguirá girando, el diente comenzará a alejarse del captor. Ahora las líneas de fuerza del campo magnético comenzarán

¹⁶ Imagen tomada del sitio web: www.electriauto.com/.../sensores-magneticos-de-reluctancia-variable/

a desviarse en sentido opuesto al que se produjo inicialmente, cuando el diente se estaba acercando al captor.

Nuevamente comenzará a inducirse una tensión en la bobina del captor pero de sentido opuesto, o sea negativo ("C" en Figura 1.20). Cuando el reluctor alcance la posición "D" (Figura 1.20), el nivel de la tensión inducida en la bobina del sensor será nuevamente cero, completándose así un ciclo de la corriente alternada inducida en él."¹⁷

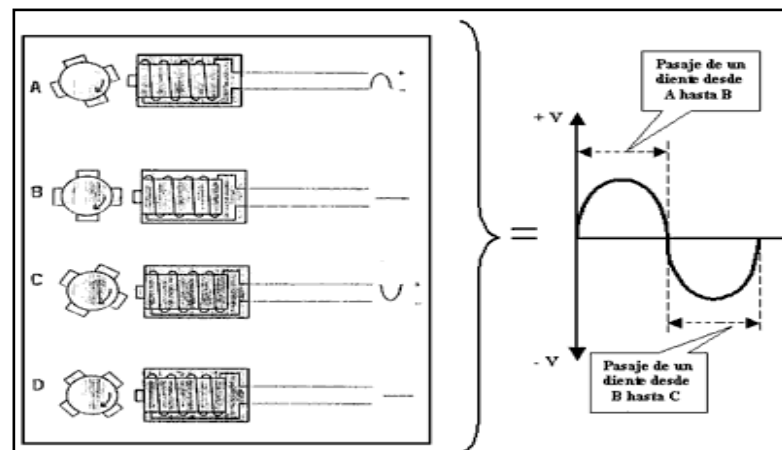


Figura. 1.20 Posicionamiento del Reluctor sobre el Captador.¹⁸

1.7.1.2. Sensor de Referencia y Sincronización del Árbol de Levas SRS (Synchronous Reference Sensor).

El sensor de referencia y sincronización del árbol de levas (SRS), es un componente electrónico que va montado en la parte posterior de la tapa de

¹⁷ Tomado del sitio web: www.electriauto.com/.../sensores-magneticos-de-reluctancia-variable/

¹⁸ Imagen tomada del sitio web: www.electriauto.com/.../sensores-magneticos-de-reluctancia-variable/

distribución de engranajes, en dirección al piñón toro. La longitud del SRS es de 33,15mm a 33,66mm.

La porción magnética del sensor SRS se extiende a través de una abertura en la tapa de distribución de engranajes. Este sensor envía una señal al módulo electrónico que es generada a través de un pin metálico adherido a la parte trasera del piñón toro. Cuando el pin pasa cortando el campo magnético del sensor SRS, el pistón número uno, alcanza aproximadamente 45 grados antes de llegar al punto muerto superior de la carrera de compresión.

Esta información es determinante para el ECM DDEC V, para iniciar el orden de encendido en el sistema de inyección del motor (1-5-3-6-2-4). La señal es enviada una vez por cada revolución que da el piñón toro, cuya relación de transmisión es la misma que la del engranaje del árbol de levas; con respecto al giro que da el piñón del cigüeñal. El principio de funcionamiento del SRS es igual al TRS, debido a que ambos son sensores de tipo magnético de reluctancia variable.

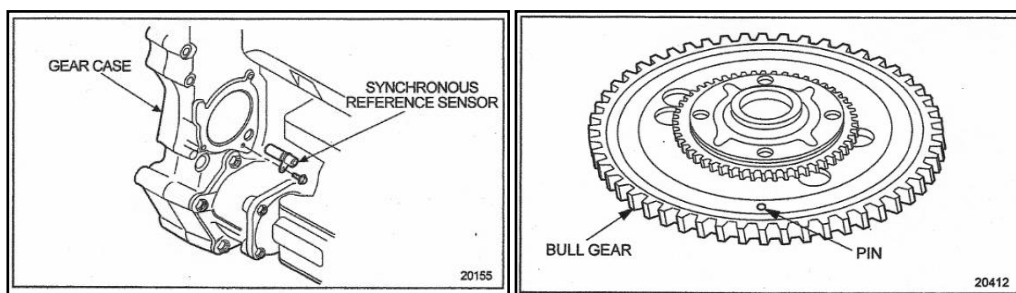


Figura. 1.21 Ubicación SRS y Pin del Engranaje Toro.¹⁹

¹⁹ DETROIT DIESEL CORPORATION, *Series 60 Diesel and Natural Gas-Fueled Engines Service Manual*, Boletín 6SE483, Printed in U.S.A., 2006; Pág. 2-198.

1.7.1.2.1. Relación entre el Sensor TRS y el Sensor SRS.

Tanto el sensor de referencia del cigüeñal TRS, como el sensor de referencia y sincronización del árbol de levas SRS, están encargados de controlar el tiempo de inyección del motor a través de las señales que envían al módulo electrónico. Su funcionamiento es mancomunado ya que de esta forma el ECM DDEC V registra todo el tiempo la posición del pistón número uno.

A medida que el TRS va sensando la velocidad del motor (rpm), registra la frecuencia en que cada diente de la rueda dentada que va en el cigüeñal corta el campo magnético de manera tangencial, determinando el ECM la carga del motor en ese momento, y comparando también la posición del potenciómetro en el sensor del acelerador para así calcular el tiempo que la válvula de control en el inyector debe estar cerrada (ancho de pulso).

Al mismo tiempo el SRS, a través del pin del piñón toro que corta su campo magnético, envía una señal al ECM para que este registre al pistón número uno aproximadamente a 45 grados antes de llegar al punto muerto superior en la carrera de compresión. Así el módulo electrónico energiza el solenoide en el primer inyector y calcula la posición de los otros pistones de acuerdo a los parámetros programados en su memoria y dispara el orden de encendido del motor (1-5-3-6-2-4).

Todo este proceso lo realiza cada revolución del piñón toro y engranaje del árbol de levas, y cada dos revoluciones o 720 grados de giro del piñón del cigüeñal. Es de esta manera que las señales de estos dos sensores se complementan en el

ECM DDEC V, para así controlar el momento de inyección y el tiempo que dura, tomando en cuenta las exigencias a las cuales está siendo sometido el motor DDS60.

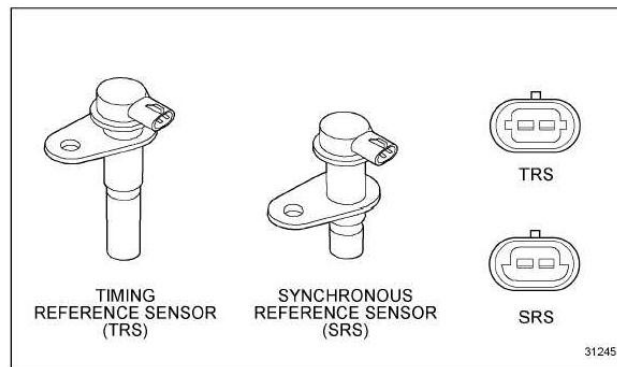


Figura. 1.22 Sensores TRS y SRS.²⁰

1.7.1.3. Sensor de Temperatura de Combustible FTS (Fuel Temperature Sensor).

El sensor de temperatura de combustible FTS está instalado en la base del filtro secundario de combustible y envía una señal eléctrica al ECM DDEC V para indicar la temperatura con la cual el fluido ingresa al filtro. Esta información es procesada por el módulo, en conjunto con las recibidas por el TRS y TPS para calcular el ancho de pulso en el inyector, y lograr así, eficiencia en el consumo de combustible.

²⁰ Imagen tomada del sitio web: www.tpub.com/content/trucktractor6x4/TM-9-2320-302-20/css/TM-9-2320-302-20_83.htm

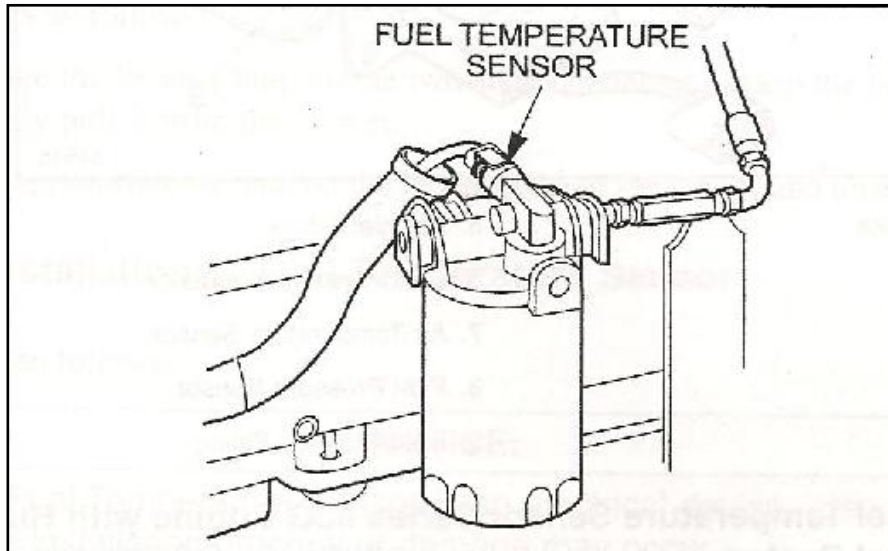


Figura. 1.23 Ubicación Sensor de Temperatura de Combustible.²¹

1.7.1.3.1. Teoría de Sensores de Temperatura.

“El circuito está compuesto por un módulo de control electrónico, un sensor de temperatura, conductores y conectores. El módulo de control electrónico contiene un regulador de tensión de 5 voltios, una resistencia limitadora de corriente, y un circuito electrónico de procesamiento de la información, que actúa en forma similar a un voltímetro.

El regulador de tensión alimenta al circuito con un nivel de tensión constante. El módulo de control electrónico interpreta cualquier variación de tensión que se produzca en el punto “M” como un cambio en la resistencia del sensor. Debido a esta condición de medición del sistema, el nivel de tensión con que se alimenta al circuito debe ser preciso y constante (regulado).

²¹ DETROIT DIESEL CORPORATION, *Series 60 Diesel and Natural Gas-Fueled Engines Service Manual*, Boletín 6SE483, Printed in U.S.A., 2006; Pág. 2-211.

La resistencia limitadora de corriente es una resistencia fija que protege al circuito evitando una sobrecarga por intensidad de corriente. Esta resistencia limita a un máximo la intensidad de corriente entregada por el regulador si por algún accidente se produce un cortocircuito a masa en el conexionado que une el módulo de control y el sensor de temperatura.

El circuito procesador de la información, ubicado en el módulo de control, mide el nivel de tensión presente en cada momento en el Punto “M”. Este nivel de tensión depende de la resistencia que tenga en cada instante el Sensor de Temperatura y ese valor resistivo depende del nivel de temperatura a que está expuesto dicho Sensor. El sensor de temperatura es una resistencia variable en función de la temperatura del medio al que está expuesto.”²²

En este tipo de sensor, su resistencia “aumenta” a medida que la temperatura del medio “decrece” y por el contrario, su resistencia “decrece” a medida que la temperatura del medio “aumenta”. Estos sensores, en los que su resistencia varía en función de la temperatura a que están expuestos, son denominados “Termistores”.

En este caso en particular, se está haciendo referencia a un termistor del “Tipo NTC” (Coeficiente de Temperatura Negativo). Existen termistores del “Tipo PTC” (Coeficiente de Temperatura Positivo). Estos tipos de termistores trabajan exactamente al revés que los descritos anteriormente, cuando la temperatura

²² Tomado del sitio web: www.autocity.com/manuales-reparacion/index.html?nivelAcceso=3&codigo=222&cat=

“aumenta”, su valor resistivo “aumenta”. Cuando la temperatura “decrece” su valor resistivo “decrece”.

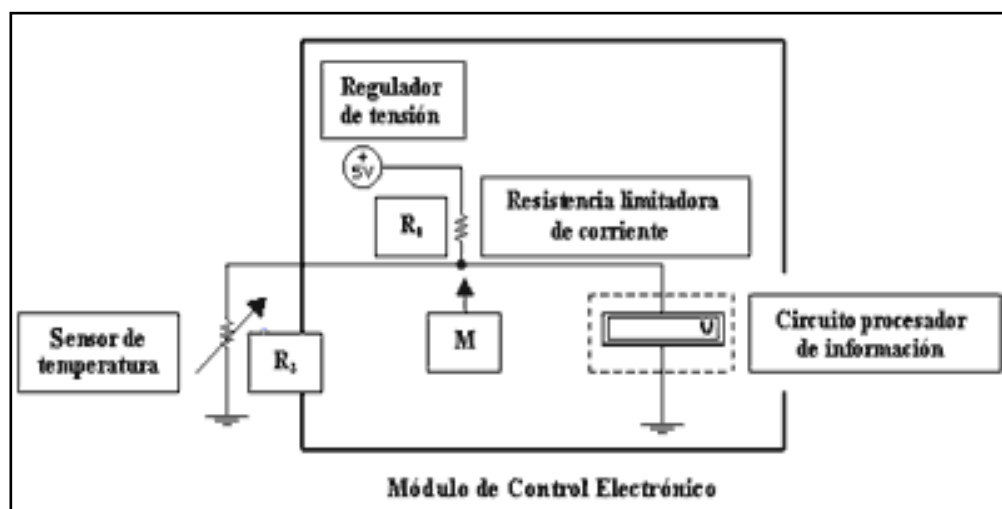


Figura. 1.24 Circuito Sensor de Temperatura.²³

“El circuito del sensor de temperatura está formado como un Circuito Divisor de Tensión. En este circuito la resistencia limitadora de corriente (Figura 1.24 R1) se encuentra dispuesta en serie con una resistencia variable (Figura 1.24 R2). Con esta configuración de circuito, se genera una caída de tensión a través de los extremos del termistor que es directamente proporcional al valor de resistencia que adopte en cada instante el sensor (valor producto de la temperatura que está soportando).

Durante la operación normal del sistema, cuando la temperatura comienza a aumentar, la resistencia del sensor comienza a decrecer y por lo tanto el nivel de tensión en el punto “M” también decrecerá. Por el contrario, si la temperatura

²³ Imagen tomada del sitio web: www.autocity.com/manuales-reparacion/index.html?nivelAcceso=3&codigo=222&cat=

decrece, la resistencia del sensor aumentará y por lo tanto el nivel de tensión en el punto “M” aumentará también.

El módulo de control utiliza los niveles de tensión presentes en el punto “M” como una entrada de información para determinar que tipo de cambios se están sucediendo en el sistema. Este circuito produce una señal de tensión análoga que puede variar aproximadamente en un rango comprendido entre algo más que 0 Voltios y algo menos que 5 Voltios.

La apertura del circuito entre el módulo de control y el sensor de temperatura, o el sensor de temperatura y masa, dará como resultado una lectura de 5 Voltios en el punto “M”. Un corto circuito a masa en el circuito entre el módulo de control y el sensor de temperatura resultará en una lectura cercana a 0 Voltios en el punto “M”.

Un nivel de tensión en el punto “M” más elevado que el máximo que el circuito puede producir (este máximo se daría con temperaturas inferiores a 0° C), puede suceder si se generan resistencias de contacto elevadas entre el módulo de control y el sensor de temperatura o entre este y masa.”²⁴

²⁴ Tomado del sitio web: www.autocity.com/manuales-reparacion/index.html?nivelAcceso=3&codigo=222&cat=

1.7.2. Sensores del OEM (Original Equipment Manufacturer) que emiten señales al ECM DDEC V y se relacionan con el Sistema de Combustible.

1.7.2.1. Sensor de Posición del Acelerador TPS (Throttle Position Sensor).

El sensor de posición del acelerador TPS está ubicado en el ensamble del pedal de pie del acelerador y es un elemento que envía una señal eléctrica de voltaje variable al módulo electrónico para que este pueda determinar la posición del pedal, de esta manera calcula junto con la señal del TRS y el FTS, la cantidad de combustible a inyectar en los diferentes cilindros de acuerdo a la carga a la que está sometido el motor DDS60.

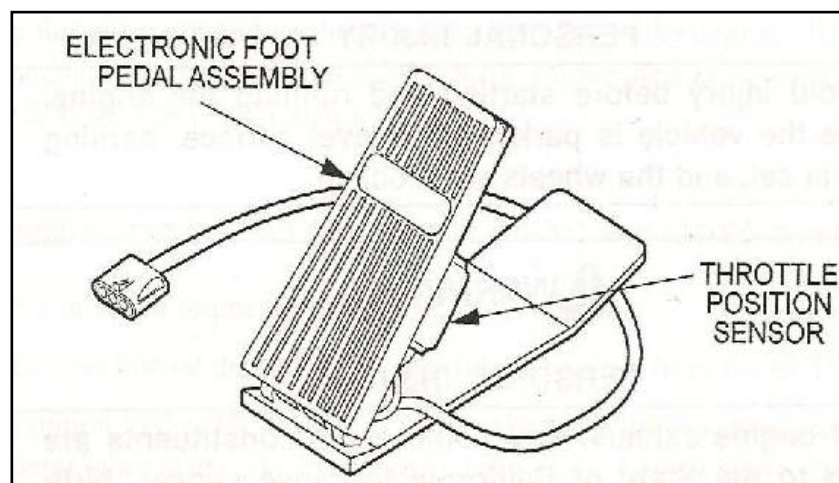


Figura. 1.25 Ensamble del Pedal del Acelerador.²⁵

²⁵ DETROIT DIESEL CORPORATION, *Series 60 Diesel and Natural Gas-Fueled Engines Service Manual*, Boletín 6SE483, Printed in U.S.A., 2006; Pág. 2-174.

1.7.2.1.1. Teoría de los Sensores de Posición.

“Muchos sistemas controlados electrónicamente requieren de un componente que pueda controlar el desplazamiento y recorrido de un elemento mecánico, de modo que el circuito de control pueda estar informado permanentemente de la posición en que se encuentra dicho elemento.

El circuito eléctrico de un sensor de posición es muy similar al de un sensor de temperatura. El circuito eléctrico está formado por un módulo de control, un sensor de posición (potenciómetro), conductores eléctricos y conectores.

El módulo de control contiene un regulador de tensión, una resistencia limitadora de corriente y un circuito procesador de información. En el sensor de posición la resistencia es variada mecánicamente.”²⁶

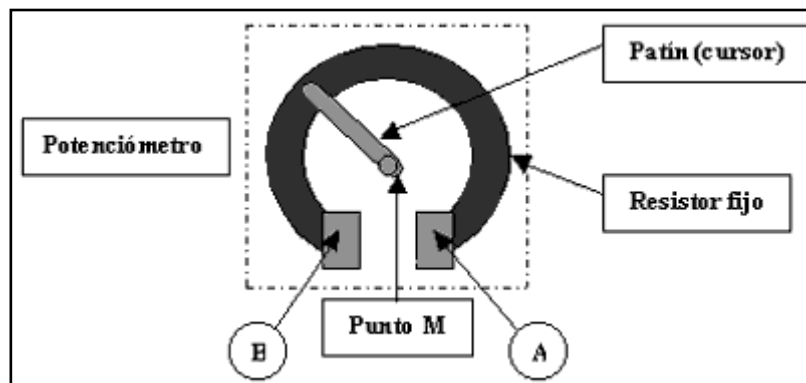


Figura. 1.26 Esquema Sensor de Posición.²⁷

²⁶ Tomado del sitio web: www.electriauto.com/electronica/sensores/sensores-de-posicion/

²⁷ Imagen tomada del sitio web: www.electriauto.com/electronica/sensores/sensores-de-posicion/

“El Sensor de posición (potenciómetro) consiste en una resistencia fija (Figura 1.26 comprendido entre A y B) sobre el que se desliza un patín (cursor) estableciendo contacto sobre él. El patín o cursor es mecánicamente solidario con el componente que debe ser controlado, por ejemplo el pedal del acelerador.

Cuando la posición del componente mecánico cambia, la resistencia del sensor de posición cambia. El módulo de control, determina en cada instante la posición adoptada por el componente mecánico controlado, leyendo por medio de su circuito procesador de información el nivel de tensión presente en el Punto “M”.

El circuito de este sensor está también conformado como un divisor de tensión, pero a diferencia del sensor de temperatura, el circuito procesador de información controla el nivel de la tensión de información entregada por el sensor, a través de una línea de retorno (Figura 1.27 conexión entre el Punto “M” y el circuito procesador de información).

A pesar que los circuitos del sensor de temperatura y del sensor de posición están ambos diseñados como circuitos divisores de tensión, la resistencia total del sensor de posición no varía.”²⁸

²⁸ Tomado del sitio web: www.electriauto.com/electronica/sensores/sensores-de-posicion/

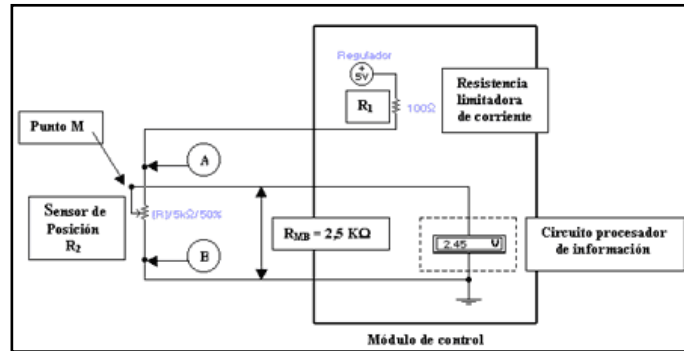


Figura. 1.27 Circuito Sensor de Posición.²⁹

“Durante la operación normal del sistema, cuando la posición del componente comienza a ser controlada en su movimiento hacia un extremo de su recorrido, la resistencia del sensor de posición aumentará o disminuirá, dependiendo de como se haya diseñado el circuito.

El módulo de control electrónico utiliza el nivel de tensión monitoreada para determinar que tipos de cambios están ocurriendo en el sistema. Si la resistencia del sensor de posición aumenta, el nivel de tensión monitoreado aumentará. Si la resistencia del sensor de posición disminuye, el nivel de tensión monitoreado disminuirá.

El circuito del sensor de posición, produce una señal de información que consiste en una tensión analógica, normalmente el rango de variación de dicha tensión se encuentra aproximadamente entre 0,5 Voltios y 4,5 Voltios.

²⁹ Imagen tomada del sitio web: www.electriauto.com/electronica/sensores/sensores-de-posicion/

Esta condición se cumple siempre que la resistencia del sensor sea la que corresponda al diseño del circuito, cualquier valor de resistencia que se encuentre fuera de los límites del diseño, podrá dar informaciones erróneas de la posición real en la que se encuentra el sensor.

- Si se produce una apertura del circuito entre el módulo de control y el Punto “A” del sensor de posición o entre el Punto “M” del sensor y el módulo de control, dará como resultado una lectura de 0 Voltios en la línea de información. El mismo nivel de información se producirá si se abre el sensor propiamente dicho, en el extremo donde recibe la tensión de referencia, o si se abre el cursor.
- Si la apertura del circuito se produce en el sensor propiamente dicho en su extremo que va conectado a masa, o en la línea que conecta este extremo con masa, en la línea de información se tendrá presente un nivel de tensión de información de 5 Voltios.”³⁰

³⁰ Tomado del sitio web: www.electriauto.com/electronica/sensores/sensores-de-posicion/

CAPÍTULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE INYECCIÓN DIESEL

TIPO BOMBA- INYECTOR: MOTOR DETROIT DIESEL SERIE 60.

2.1. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL BANCO DE INYECCIÓN DIESEL TIPO BOMBA-INTECTOR: MOTOR DDS60.

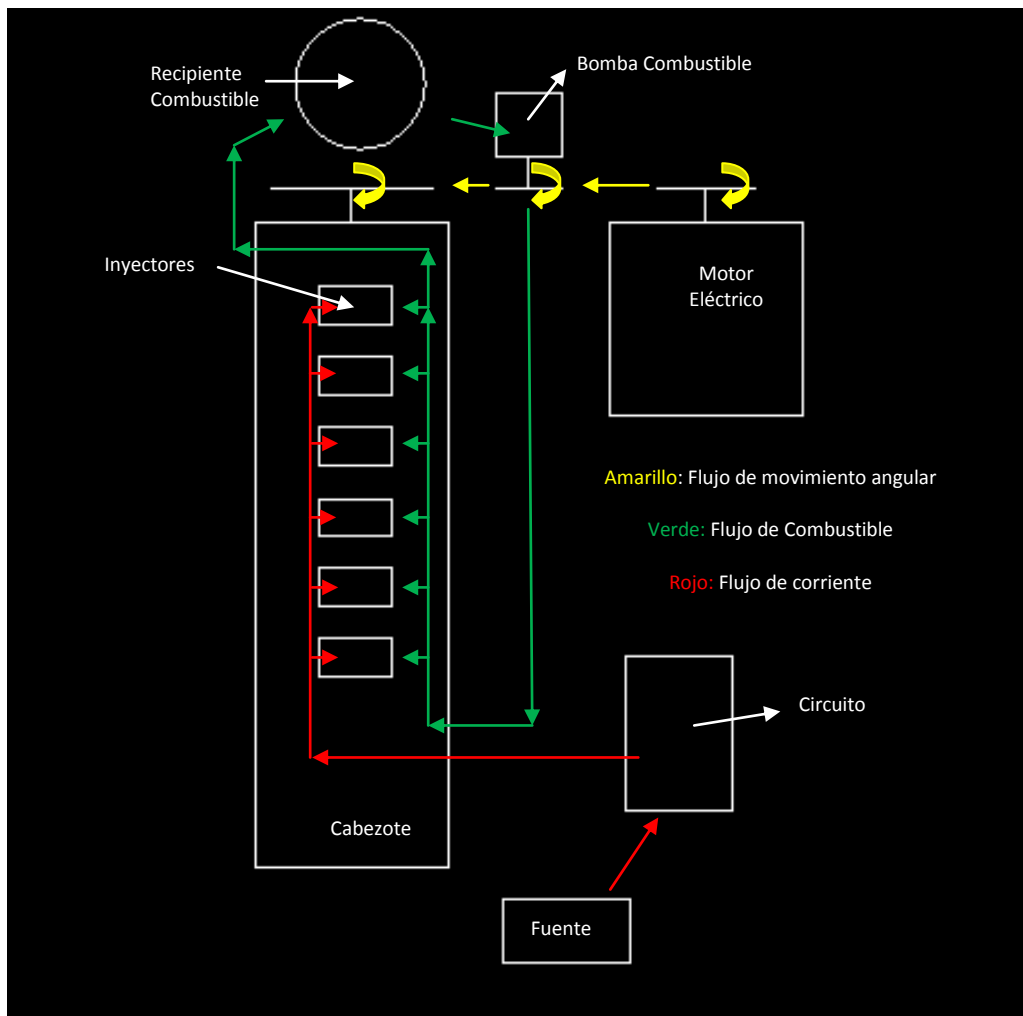


Figura. 2.1 Esquema de Funcionamiento Banco de Inyección.

2.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN: ESTRUCTURA MECÁNICA.

2.2.1. Diseño General del Banco de Inyección.

El diseño mecánico del banco de inyección se basa en el modelo original del motor DDS60. Es decir se han tomado piezas originales que conforman el cabezote del motor, y se las ha agrupado para armar el conjunto mecánico en el cual se alojan los inyectores y se sostiene el árbol de levas, cuyo giro es dado por un ensamble de engranajes de bicicleta conectados a un motor eléctrico que los impulsa.

Se han recolectado partes de distintos motores DDS60, para poder conformar este mecanismo, tomando en cuenta que éstas tienen medidas estandarizadas y pueden ser adaptadas en cualquier motor DDS60 que tenga tecnología DDEC V.

La gran mayoría de piezas pertenecen a motores que fueron retirados de sus vehículos para ser reemplazados por otros motores DDS60 de tecnología DDEC IV, debido a que estos se adaptan y trabajan óptimamente con el combustible que se vende en el país. La tecnología DDEC V viene acompañada por una válvula EGR que se taponaba frecuentemente a causa del excesivo hollín producido en la combustión de los motores, lo cual hacía de los motores DDS60 DDEC V ineficientes en nuestro medio.

Otras partes han sido tomadas de motores que ya requerían del recambio de las mismas por desgaste. Este diseño mecánico está conformado por un cabezote, inyectores, barras de balancines, balancines de inyector y árbol de levas en el

conjunto del cabezote, exactamente igual que un motor real debido a que sus partes son originales.

El conjunto de engranajes de la distribución de un motor DDS60, que transmite el movimiento angular desde el cigüeñal al árbol de levas, ha sido modificado en este diseño a través de un motor eléctrico que hace las veces de cigüeñal, y se conecta por medio de un conjunto de engranajes de bicicleta y una cadena al piñón del árbol de levas.

Estos engranajes han sido tomados del mecanismo de una bicicleta montañera de 18 marchas. Adherido al conjunto de engranes se encuentra el piñón de la bomba de combustible, que ha sido tomado de la catalina del mecanismo ya mencionado.

Debido a que este es un banco de inyección demostrativo y didáctico, en el cual se pretende verificar el funcionamiento de los inyectores, la pulverización del combustible y la cantidad de diesel inyectada por los mismos de acuerdo a distintos puntos de calibración, se ha establecido en el árbol de levas una velocidad media dentro del rango de giro de un motor real para poder apreciar lo antes mencionado.

La bomba de combustible del diseño de este banco de inyección es la de un motor real y está acompañada por mangueras de ingreso y salida de combustible cuyos diámetros son prácticamente iguales a los neoplos originales del sistema de combustible, para poder simular correctamente el caudal y la presión que se

ejerce en el funcionamiento de un motor DDS60. El tanque de combustible ha sido representado por un recipiente de 5 galones.

Dentro del diseño mecánico también incluimos una estructura metálica que sostiene el conjunto conformado por el cabezote, la distribución de engranes, motor eléctrico, la bomba de combustible, acoples y mangueras de combustible. Por debajo del cabezote, en la salida de la punta de cada inyector, se encuentran probetas plásticas que alojarán el combustible inyectado y que servirán para pruebas de medición.

Externo a la estructura donde se monta todo el mecanismo se encuentran el recipiente de combustible.

2.2.2. Descripción y Características de los elementos que componen el Diseño y la Construcción de la Estructura Mecánica del Banco de Inyección.

2.2.2.1. Conjunto del Cabezote.

El conjunto del cabezote está formado por las siguientes partes: cabezote motor DDS60 DDEC V, árbol de levas, 7 tapas o bancadas del árbol de levas, cojinetes del árbol de levas, 2 barras de balancines, 6 balancines de inyector, 12 bujes separadores para la barra de balancines, 6 inyectoras EUI N3, 6 seguros de inyector, niple de entrada de combustible y válvula Check de retorno de combustible.



Figura. 2.2 Conjunto del Cabezote.

2.2.2.1.1. Cabezote.

El cabezote utilizado en este banco de inyección proviene de un motor DDS60 DDEC V de 470HP, del año 1998. Este cabezote estaba montado en un cabezal de la compañía Transcomerinter de la ciudad de Tulcán. Como característica especial, este cabezote no consta de un resorte de las válvulas de admisión del sexto cilindro, lo cual no afecta en el trabajo del mecanismo de inyección del banco.

Este cabezote aloja el árbol de levas y los inyectores, los cuales van sujetos por tapas o bancadas en el caso del árbol, y por seguros empernados en el caso de los inyectores.

En el interior del cabezote se encuentran cámaras de flujo de aceite y refrigerante, como así también se hallan dos conductos a manera de rieles de combustible, en los cuales se dará la alimentación de diesel a los inyectores, y el

retorno de combustible de los inyectores; por medio de un neplo de entrada de combustible y una válvula Check de retorno respectivamente.

Esta válvula impedirá el flujo libre de combustible al tanque-recipiente, manteniendo una presión uniforme en el conducto de salida y en el riel interno. Sobre el cabezote, y montado en las tapas del árbol de levas se ubican las barras de balancines en las cuales van los balancines de inyector y los bujes separadores.

El cabezote también está constituido por los resortes de válvulas, sellos de válvulas, y válvulas de admisión y escape (en este caso no serán de utilidad en el banco de inyección diseñado).

En el alojamiento de cada inyector, encontramos la precámara de cobre, sobre la cual asienta la tobera del inyector. Esta precámara sirve para refrigerar externamente al inyector por el flujo de refrigerante que circula a través de ella.

En el funcionamiento de este banco de inyección no será necesaria la refrigeración externa de los inyectores, por lo cual la utilidad de las precámaras será únicamente como medio de asentamiento de las toberas de los inyectores EUI N3.

Finalmente sobre el cabezote, en el lado donde se alojan los termostatos, hemos colocado una mica transparente en forma de “L” que tiene un espesor de 3mm, una altura de 40cm, 100cm de ancho y una profundidad de 5cm. Esto con el objeto de evitar que el aceite que lubrica los balancines de inyector, rodillos de

inyector y levas de inyector, ensucie el motor eléctrico, la mesa de la estructura metálica, la fuente de voltaje y el circuito electrónico al momento de accionar el banco de inyección por el salpicado que produce. Esta mica la hemos fijado al cabezote por medio de 4 pernos M8 x 1" de largo, cada uno con 2 rodela planas, que se enroscan en los alojamientos propios que tiene el cabezote.



Figura. 2.3 Cabezote.

2.2.2.1.2. Árbol de Levas, Tapas del Árbol de Levas y Cojinetes del Árbol de Levas.

El Árbol de levas del banco de inyección proviene de un motor DDS60 DDEC IV de 600 HP, del año 2006 perteneciente a un Western Star 4964 EX de la compañía Tocarvi. Las tapas y cojinetes pertenecieron a un motor DDS60 DDEC V de 470HP, del año 1998 de la compañía Transcomerinter.

Cabe destacar que el diámetro de los muñones del árbol de levas de un motor DDS60 DDEC IV, se alojan perfectamente en un cabezote DDS60 DDEC V, como

el que forma parte del banco de inyección. La única diferencia radica en los ángulos de las levas del árbol, que influirán directamente en la cantidad de combustible inyectado y consecuentemente en la potencia que desarrolle el motor que lo contiene.

El árbol de levas se asienta sobre 7 alojamientos en forma de media luna que forman parte del cabezote. En cada uno de estos alojamientos se colocarán cojinetes de deslizamiento, que facilitarán el giro de los muñones del árbol a través de su lubricación.

Para sujetar al árbol de levas en su parte superior, se colocan las tapas o bancadas del árbol, las cuales poseen un cojinete de deslizamiento por tapa, al igual que la parte inferior. De esta manera el árbol gira con facilidad a través de los cojinetes y su lubricación, y se encuentra fijo en su posición.

El árbol está constituido por 6 levas de admisión, 6 de escape y 6 de inyector. En el banco diseñado utilizamos únicamente las levas de inyector que hacen contacto directamente con los rodillos posteriores de los balancines de inyector. De esa forma el movimiento de la leva es transmitido por el rodillo al cuerpo del balancín que se encuentra presionado al seguidor y resorte del inyector por medio de un perno de regulación.

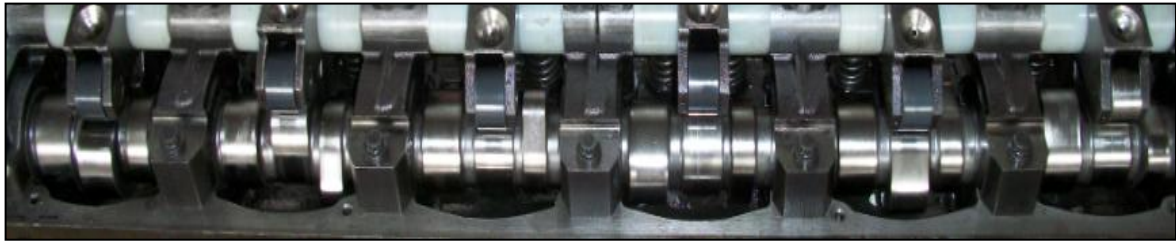


Figura. 2.4 Árbol de Levas.

2.2.2.1.3. Barras de Balancines, Balancines de Inyector y Bujes Separadores.

Todo este conjunto de partes que forman el mecanismo de operación de los inyectores y válvulas (barras de balancines y balancines de inyector), fueron parte de un motor DDS60 DDEC V de 470HP, del año 1998 de la compañía Transcomerinter.

Los bujes separadores, son de un material de nylon y fueron fabricados en un torno para colocarse a los lados de los balancines de inyector en la barra de balancines.

El conjunto del mecanismo de operación de válvulas e inyectores está constituido por 2 barras de balancines, 6 balancines de escape, 6 balancines de admisión, y 6 balancines de inyector. Cada balancín de escape y admisión consta de 2 brazos, donde se alojan los pernos de regulación que asientan en los resortes de válvulas.

El balancín de inyector con su respectivo perno de regulación asienta en el seguidor y resorte del inyector. La parte posterior de cada balancín consta de un rodillo seguidor que se conecta directamente con su respectiva leva, y su función

es deslizarse sobre la leva y transmitir al cuerpo del balancín un movimiento ascendente y descendente. Esto permite que, tanto el seguidor de inyector, como los vástagos de las válvulas, tengan una carrera vertical, cuya función sería inyectar combustible o abrir válvulas.

En el banco de inyección diseñado, se ha omitido los balancines de escape y admisión debido a que el contacto de estos con sus respectivos resortes genera demasiada resistencia al movimiento del árbol de levas, lo cual requiere un motor eléctrico de mayor potencia para poder vencer la fuerza que generan todos los resortes de válvulas y mover el mecanismo a las revoluciones adecuadas.

Es por esto que se fabricaron los bujes separadores que acompañan al balancín de inyector, para que éste esté bien posicionado en el centro, y se cubra el espacio dejado por los balancines de válvulas. Al igual que el conjunto de balancines que normalmente equipa a un motor DDS60, los bujes separadores y el balancín de inyector, poseen un juego axial de 1mm.

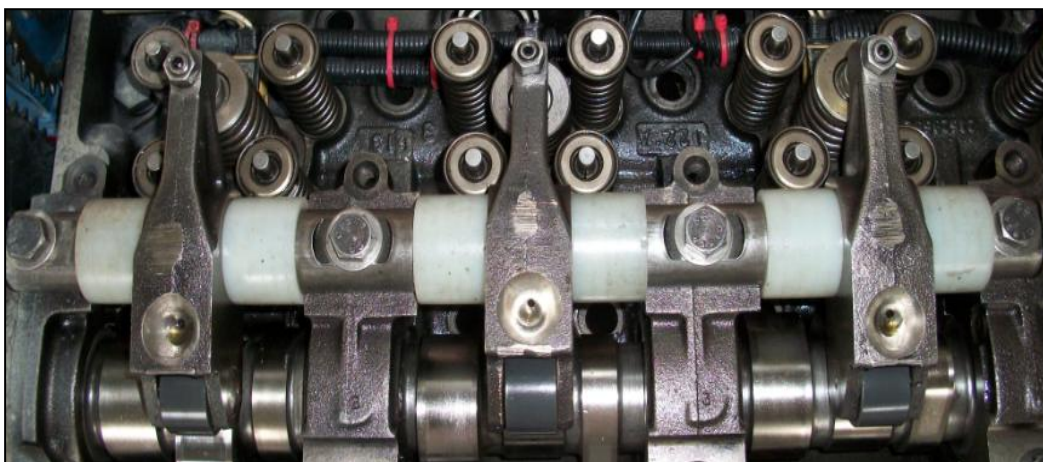


Figura. 2.5 Conjunto de Balancines de Inyector, Barras de balancines y Bujes separadores.

2.2.2.1.4. Inyectores EUI N3 y Seguros de Inyector.

Los inyectores y seguros de inyector provienen de dos motores DDS60 DDEC V de 470HP, del año 1998 de la compañía Transcomerinter. Los inyectores se alojan en las cavidades de inyector del cabezote.

Cada inyector posee tres cauchos que realizan un selle hermético entre el aceite que baña los elementos del cabezote y los conductos internos de flujo de combustible, tanto de alimentación, como de retorno. De ésta manera no se mezclan los dos fluidos.

El funcionamiento y las partes que conforman un inyector EUI N3, están descritas detalladamente en el capítulo 1 de éste trabajo escrito. Los seguros de inyector se fijan en el solenoide del cuerpo del inyector y van sujetos al cabezote por medio de un perno de cabeza hexagonal de 15mm.

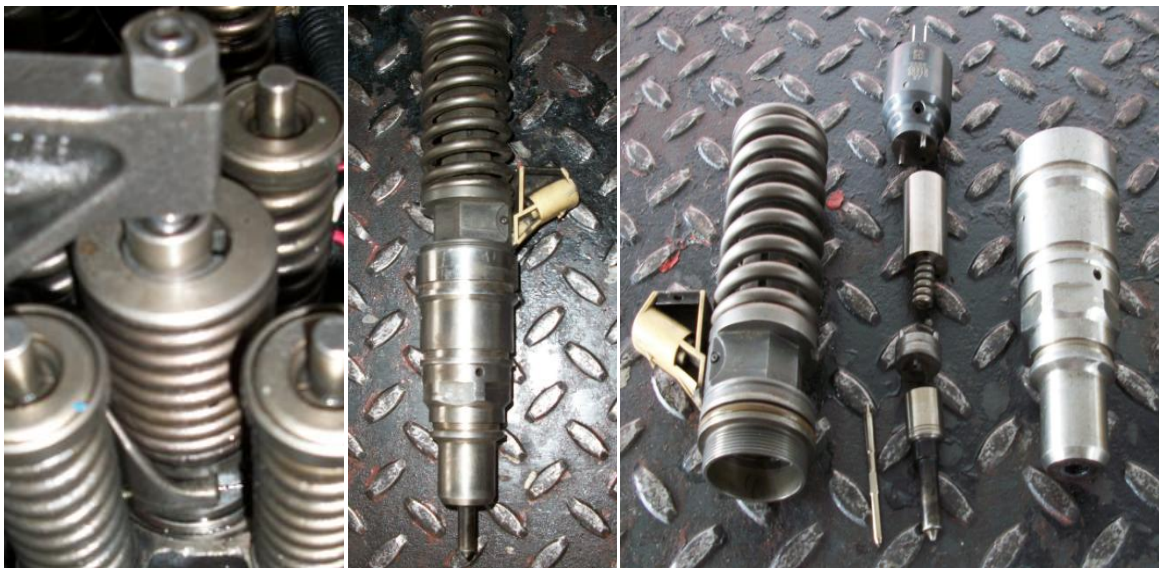


Figura. 2.6 Inyector EUI N3 (armado y despiece).

2.2.2.1.5. Neplo de Entrada de Combustible y Válvula Check de Retorno de Combustible.

Con respecto al neplo de entrada de combustible, se ha adaptado un neplo de similares características al neplo original del cabezote. Se han mantenido las medidas del neplo, cuya entrada al cabezote es una rosca de 17mm de diámetro y 3/8" de diámetro interior.

El neplo es a 90° y la salida hacia la manguera de entrada de combustible es de 3/8" de diámetro. El neplo está provisto de un acople rápido, en el cual embona la manguera de entrada de combustible.



Figura. 2.7 Neplo de Entrada de Combustible al Cabezote.

La válvula Check de retorno de combustible que forma parte del diseño de este banco es la original que equipa a los cabezotes DDS60. En la construcción del diseño hemos colocado la válvula en sentido horizontal.

En el orificio de salida del cabezote se ha puesto un neplo, cuya entrada al mismo es una rosca de 17mm, y su otro extremo es una rosca de 5/8" de diámetro. A la

salida de este neplo se enrosca la válvula Check de retorno de combustible, y en la punta de esta, se enrosca un neplo a manera de codo de 90°, en el que se ha realizado una adaptación en el torno.

Como el neplo posee rosca de 3/4" en sus extremos, y la punta de la válvula es una rosca de 18mm, entonces se ha rellenado la una punta del neplo, y se le ha formado una rosca milimétrica para ubicarla en la válvula.

En el extremo final del neplo se enrosca a través de una tuerca la manguera de retorno de combustible que va al recipiente donde se almacena el diesel. Como hemos mencionado en el capítulo anterior, la función de ésta válvula es, a más de permitir el retorno del combustible al depósito de diesel, el de mantener el riel interno del cabezote con diesel todo el tiempo y no exista ningún vacío en el sistema, aun apagado el motor, o en este caso el banco de inyección.

Cuando el combustible retorna por esta válvula, entra a la misma a través de un orificio de 5/8", y en su interior posee una restricción de 2mm de diámetro. El orificio de salida hacia la manguera de retorno es de un diámetro de 3/16". Esta restricción es la que permite mantener el llenado y la presión de combustible en el interior del cabezote.

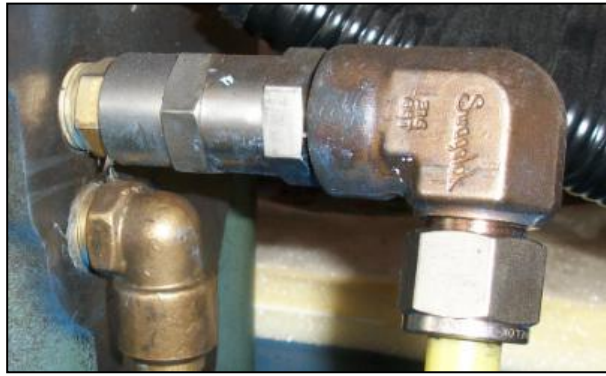


Figura. 2.8 Válvula Check de Retorno de Combustible y Neplos Anexos.

2.2.2.2. Ensamble y Funcionamiento del Conjunto del Cabezote.

Para recordar y retomar lo descrito en el conjunto del cabezote, decimos que el ensamble de estas piezas está dado de la siguiente manera: el cabezote está compuesto por 12 válvulas de admisión y 12 válvulas de escape con sus respectivos resortes. Cada 2 válvulas de admisión y 2 de escape que corresponden a un cilindro, se halla entre ellas, una cavidad en la que se aloja el inyector que se asienta sobre una precámara de cobre.

El inyector se fija al cabezote a través de un seguro de inyector que se ubica en el solenoide del cuerpo de inyector y va empernado al cabezote. De la misma manera se ubican los otros 5 inyectores.

Al lado derecho de todo este grupo de válvulas e inyectores, se encuentran 7 alojamientos en forma de medias lunas, donde se asientan los muñones del árbol de levas por medio de cojinetes de deslizamiento.

El árbol es asegurado en la parte superior de cada muñón con una tapa o bancada que se asienta también con un cojinete de deslizamiento para que el árbol pueda girar libremente. Sobre cada tapa del árbol de levas tenemos un alojamiento semicircular, en el cual se posa la barra de balancines.

Tanto los pernos que sostienen las barras de los balancines y los que sujetan las tapas del árbol de levas llevan un ajuste de 25 lbf*pie. Este ajuste no es el recomendado por el fabricante del motor por ser mínimo en realidad, pero es el adecuado para evitar la resistencia del giro del árbol de levas por medio del motor eléctrico, y también es el necesario para que la vibración del banco no desatornille los pernos.

La barra de balancines es atravesada por los balancines de inyector y los bujes separadores, que reemplazan a los balancines de válvulas con el fin de evitar la resistencia de los resortes de válvulas al ser presionados. Cada balancín de inyector posee un rodillo seguidor en la parte posterior que se conecta con la leva de inyector del árbol. En el otro extremo del cuerpo del balancín tenemos un perno de regulación que asienta en el seguidor y resorte del inyector.

El árbol de levas gira sobre los cojinetes de deslizamiento en sentido anti horario. La leva de inyector al hallarse en su punto más alto (cresta), hace deslizar el rodillo del balancín de inyector, forzando al balancín a subir en la parte posterior de su cuerpo, y a descender en el extremo del perno de regulación, el cual se asienta directamente en el seguidor y resorte del inyector.

A través de este movimiento descendente el plunger del inyector eleva la presión de combustible en el interior del mismo, para que finalmente el combustible salga atomizado por la punta hacia el exterior.

2.2.2.3. Lubricación del Conjunto del Cabezote.

Para la lubricación del conjunto del cabezote debemos tomar en cuenta los lugares a lubricar que son: Los muñones y cojinetes del árbol de levas, y los bujes de los balancines de inyector que atraviesan las barras de balancines. Ambos puntos son críticos debido a que tanto el árbol de levas como los balancines están sometidos a un movimiento giratorio durante el funcionamiento del banco de inyección.

Para la lubricación de los muñones y cojinetes de deslizamiento del árbol de levas hemos utilizado una mezcla de lubricante compuesta en su 70% por aditivo de aceite de motor Bardal y 30% de aceite lubricante con especificaciones 15W40 CI4, la cual es la recomendada para motores DDS60.

El aditivo mencionado tiene la característica de ser de elevada viscosidad ya que su función es adherirse a las paredes del motor para lograr un selle mecánico en los anillos de los pistones, e impedir la incineración del aceite en la cámara de combustión y consecuentemente el consumo de éste en un motor.

Es por esta razón que se ha elegido esta mezcla de Bardal con aceite de motor 15W40, ya que no contamos con una bomba de lubricante que abastezca de aceite a los elementos del banco. Así se ha logrado mantener una capa viscosa y

resistente a la temperatura que se adhiere perfectamente a los muñones y cojinetes del árbol.

Para la lubricación de los bujes de los balancines de inyector, inicialmente se intentó utilizar la misma mezcla de lubricante mencionada anteriormente, pero debido a la mínima luz de aceite existente entre el buje y la barra de balancines, el lubricante que permanece es escaso.

Por este motivo, en cada balancín de inyector se realizó desde la parte superior de los mismos una perforación de 1/8" de diámetro, la cual desemboca justamente en el orificio original de lubricación del buje; así colocamos aceite 15W40 cada vez que queremos accionar el banco de inyección y mantenemos lubricado los bujes constantemente sin temor a que se dé un recalentamiento y daño en las piezas involucradas.

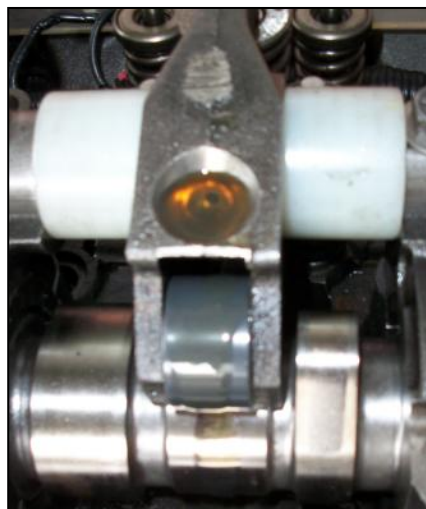


Figura. 2.9 Lubricación de Balancines de Inyector y Árbol de Levas.

2.2.2.4. Diseño y Construcción de la Distribución del Banco de Inyección: Ensamble de Engranajes de Bicicleta y Piñón del Árbol de Levas.

Dentro de un motor DDS60, existe una distribución de engranajes rectos que transmiten el movimiento angular del cigüeñal hacia el árbol de levas, bomba de combustible, bomba de aceite, bomba de agua, compresor de aire y polea de accesorios.

En el banco de inyección diseñado, requerimos dentro de la distribución, transmitir el movimiento circular de un motor eléctrico de 5HP que actúa como cigüeñal, al árbol de levas que es el encargado mecánicamente de accionar los plungers de los inyectores, y a la bomba de combustible, que a través de su giro genera caudal y presión, y abastece al sistema de combustible para alimentar a los inyectores EUI N3.

Se ha seleccionado para este fin, el mecanismo de piñones y catalinas de una bicicleta montañera de 18 marchas. Cabe recalcar que la relación de transmisión de los piñones del banco de inyección es totalmente diferente a la que presenta un motor real, debido a la adaptación que se ha hecho con el mecanismo de bicicleta, sin embargo se ha podido simular una velocidad media de funcionamiento en el árbol de levas dentro del rango real que gira un motor DDS60.

Como otro detalle, podemos destacar que el motor DDS60, en la variación de revoluciones, como todo motor electrónico, es comandado por las señales

emitidas por el pedal del acelerador y otros sensores al módulo electrónico, para así determinar la cantidad de combustible inyectada en el cilindro.

El banco de inyección que se presenta, trabaja a una sola velocidad que ha sido calculada para obtener un rango de operación promedio, de acuerdo al funcionamiento real de un motor de estas características. Esto se ha realizado debido al diseño y poca resistencia que presenta la cadena de bicicleta con la que se transmite el movimiento al árbol de levas.

El mecanismo de bicicleta está diseñado para operar a velocidades moderadas, mientras que el rango de operación de un motor DDS60 es mucho mayor. Por lo tanto se ha tomado únicamente el piñón de menor diámetro del ensamble de engranes de la bicicleta junto con un piñón que se ha fabricado para el árbol de levas, ya que la catalina de mayor diámetro que se utiliza en la bicicleta genera una velocidad excesiva en el tren motriz de este banco, tomando en cuenta que el motor eléctrico gira a 3500 rpm, y un motor DDS60 tiene un tope máximo de 2100 rpm.

Es decir que la relación de transmisión que ofrecen los otros piñones del ensamble de engranes de bicicleta, la catalina y las revoluciones de trabajo del motor eléctrico provocan velocidades excesivas que tanto la cadena como los elementos sobre el cabezote no resisten.

Adicionalmente la fuerza que provoca la presión de inyección fatiga y rompe la cadena en sus eslabones. La dosificación de combustible está dada por un

comando electrónico sencillo, en el circuito de inyectores de este banco, que lo detallaremos más adelante en el diseño electrónico del mismo.

En el siguiente gráfico vamos a observar la relación de giro que tienen los engranajes de la distribución en el motor DDS60, respecto al giro del piñón del cigüeñal.

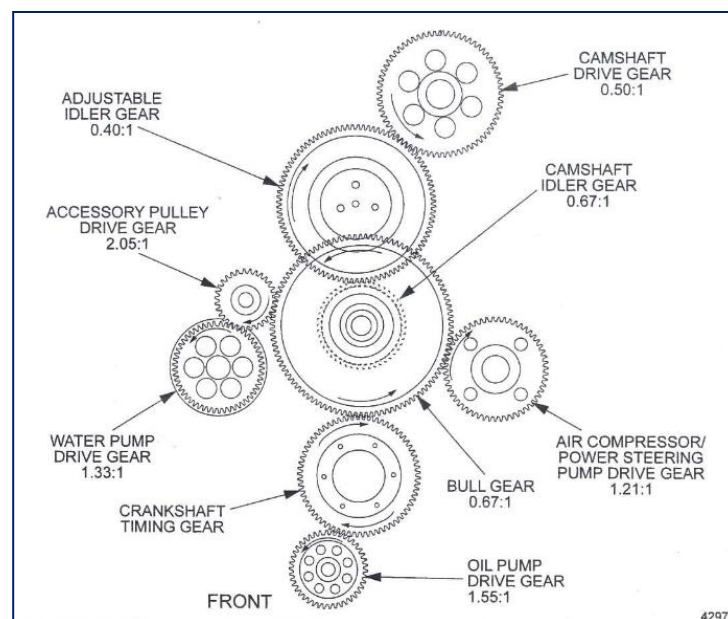


Figura. 2.10 Engranajes de la Distribución del Motor DDS60.³¹

Como podemos observar en el gráfico, al girar el cigüeñal una vuelta, el árbol de levas gira la mitad (0.50:1). Para la bomba de combustible tomaremos como referencia la relación indicada en el engranaje del compresor de aire, debido a que en los motores DDS60 que circulan en nuestro medio, la bomba de

³¹ DETROIT DIESEL CORPORATION, Series 60 Diesel and Natural Gas-Fueled Engines Service Manual, Boletín 6SE483, Printed in U.S.A., 2006; Pág. 1-418.

combustible está conectada por medio de una estrella conectora al eje del compresor de aire.

Por lo tanto vemos que a una revolución del cigüeñal, la bomba girará 1.19 veces más (1.19:1). En el diseño de este banco de inyección, y como ya se ha mencionado anteriormente, la relación de transmisión es muy diferente, y para esto es necesario conocer las dimensiones de los engranajes utilizados, los cuales detallamos a continuación.

2.2.2.4.1. Conjunto de Engranajes del Motor Eléctrico.

El conjunto de engranajes del motor eléctrico, corresponden al conjunto de engranajes que encontramos en la rueda posterior de la bicicleta montañera. Este conjunto consta de 6 engranajes de diferentes dimensiones, de los cuales hemos elegido el de menor diámetro para operar en conjunto con el piñón del árbol de levas, ya que este es el que genera menor velocidad hacia el mismo. El diámetro medido en el piñón, es el diámetro externo (DEm) y está dado en milímetros (mm). Por lo tanto la medición de este es:

$$DEm = 60.70mm$$



Figura. 2.11 Conjunto de Engranajes del Motor Eléctrico.

2.2.2.4.2. Engranaje de la bomba de combustible.

El engranaje de la bomba de combustible corresponde a la catalina intermedia que se encuentra en el eje de los pedales de la bicicleta. Esta catalina va adherida al eje de la bomba de combustible para poder generar presión y caudal en la misma, por medio del movimiento que le transmite la cadena. El diámetro externo de esta catalina (DEb) en milímetros es:

$$DEb = 117mm$$



Figura. 2.12 Catalina de la Bomba de Combustible.

2.2.2.4.3. Engranaje del Árbol de Levas.

El engranaje del árbol de levas iba a ser el correspondiente a la catalina de mayor diámetro que encontramos en los pedales de la bicicleta. Debido a la alta velocidad de giro que esta provoca por la velocidad del motor eléctrico, se decidió fabricar un engranaje de mayor diámetro, que reduzca la velocidad de giro en el árbol de levas.

Este piñón fue elaborado con un acero de especificación 7915, de alta dureza, más un proceso de encementado en los dientes para resistir la presión generada por la cadena en cada evento de inyección del banco, y evitar así cualquier cizallamiento de los mismos.

El engranaje fue construido en un torno y una fresadora industrial. Las dimensiones de este piñón se detallan a continuación a través del cálculo que veremos más adelante.



Figura. 2.13 Piñón del Árbol de Levas.

2.2.2.4.4. Cálculo Teórico del Ensamble de Engranajes de la Distribución del Banco de Inyección.

Para partir con el cálculo, debemos conocer los datos del motor eléctrico con el que se cuenta y que se utilizará para propulsar el banco de inyección. Entonces sabemos que, la potencia del motor eléctrico dada en Kilowatts (KW) es de 3.7 KW, que transformados a caballos de fuerza (HP) hablamos de 4.96 HP, y que las revoluciones a las que gira libremente el motor son 3500 rpm.

Este motor eléctrico trifásico, trabaja con 15 A de corriente alterna y tiene una eficiencia del 82%, a una frecuencia de 60 Hz. Todos estos datos los podemos apreciar en la placa de datos técnicos que posee el motor.

Ahora necesitamos saber si el motor que tenemos es el adecuado para la aplicación de giro del árbol de levas, para lo cual tomaremos la fórmula de cálculo de la potencia de un motor eléctrico para un mecanismo giratorio. Esto nos va permitir asegurarnos que la elección de motor con la que se trabajará es la correcta para el funcionamiento del banco de inyección.

$$P = \frac{M \times n \times \eta}{9,550}$$

Donde tenemos que:

P = Potencia requerida en el motor eléctrico en Watts.

M = Par de giro o torque que presenta el tren motriz para su movimiento en N*m.

n = Número de revoluciones a las que queremos que gire el árbol de levas en rpm.

η = Eficiencia del motor eléctrico con el que contamos (adimensional).

9,550 = Constante que transforma las unidades de medida, para obtener las detalladas en la fórmula.

El número de revoluciones a las que queremos que gire el árbol de levas, como velocidad media en el rango de funcionamiento de un motor real (300 rpm – 1100 rpm en el árbol de levas) es de 700 rpm que equivalen a 1400 rpm en el cigüeñal (Relación de transmisión entre el cigüeñal y el árbol de levas de 2:1), pero consideraremos un sobredimensionamiento para saber que el motor eléctrico no trabajará a límite, por eso para el cálculo tomaremos 800 rpm en el árbol.

Así mismo hemos medido el par de giro en el perno que sujeta el piñón del árbol de levas a través de un torquímetro y el valor fue de 46 N*m, pero de la misma manera consideramos un sobredimensionamiento mínimo, igual a 50 N*m para el cálculo. Entonces tenemos que:

$$P = \frac{50Nm \times 800rpm \times 0.82}{9,550} = 3.43KW \rightarrow 4.60HP$$

Sabiendo que para el cálculo hemos hecho un sobredimensionamiento, podemos ver que la potencia nominal del motor eléctrico con el que contamos es más que la requerida en el cálculo, por tanto llegamos a la conclusión que el motor eléctrico girará libremente a las 3500 rpm nominales de funcionamiento que

presenta en su placa y moverá fácilmente todo el tren motriz del cabezote y piñones de la distribución.

Con éste cálculo también nos damos cuenta que el motor eléctrico no sufrirá ningún recalentamiento y desarrollará la velocidad de giro establecida en su construcción.

Por otro lado mediante otra fórmula para calcular la potencia requerida en un motor eléctrico, vamos a conocer la fuerza tangencial (F_t) real que tiene que vencer el motor eléctrico en el árbol de levas, ya que al tomar inercia de movimiento, más la lubricación en los cojinetes de deslizamiento y el mínimo torque de sujeción (25 lbf*pie) en los pernos de las tapas del árbol y barras de balancines, esta fuerza se minimiza con respecto al torque medido anteriormente para dimensionar la correcta elección del motor en cuanto a su potencia.

Antes de encender el motor eléctrico por medio de un interruptor, se gira manualmente el mecanismo, lo que libera la resistencia más alta en el tren motriz. Vamos a tomar en cuenta también la distancia entre centros o ejes del conjunto de engranes del motor eléctrico y el piñón del árbol de levas. La distancia medida es de 44,50cm. Con estos datos calcularemos dicha fuerza a partir de la siguiente fórmula:

$$63000 \times H_m = FT \times Dejes \times N_m$$

Donde tenemos que:

H_m = Potencia del motor eléctrico en HP.

FT = Fuerza tangencial en el mecanismo en Kgf.

Dejes = Distancia entre ejes, en cm.

N_m = Revoluciones del motor eléctrico en rpm.

63000 = Constante que transforma las unidades de medida, para obtener las detalladas en la fórmula.

$$FT = \frac{63000 \times 4.96HP}{3500rpm \times Dejes}; \quad Dejes = 44,5cm$$

$$FT = \frac{63000 \times 4.96HP}{3500rpm \times 44,5cm} = 2Kgf$$

Ahora vamos a aplicar la fórmula de relación de transmisión por cadenas o correas y encontraremos el número de dientes que debe tener el piñón del árbol de levas para su fabricación, tomando como dato importante las 700 rpm a las cuales va a girar el árbol como velocidad media en el funcionamiento del banco de inyección. También calcularemos posteriormente la relación de transmisión (i) existente entre el piñón del motor eléctrico, respecto a la catalina de la bomba de combustible y al piñón del árbol de levas.

$$d1 \times n1 = d2 \times n2 \rightarrow DPm \times Nm = DPa \times Na; Dp = Z \times m$$

$$\therefore Zm \times m \times Nm = Za \times m \times Na$$

Donde tenemos que:

DPm = Diámetro Primitivo piñón del motor eléctrico en mm.

Nm = Número de revoluciones del motor eléctrico en rpm.

DPa = Diámetro Primitivo del piñón del árbol de levas en mm.

Na = Número de revoluciones del árbol de levas en rpm.

m = Módulo del diente del piñón del motor eléctrico y árbol de levas.

Zm = Número de dientes del piñón del motor eléctrico.

Za = Número de dientes del piñón del árbol de levas.

Antes de proceder con la fórmula de relación de transmisión debemos conocer el módulo de construcción (m) del conjunto de engranajes y de la catalina que va en la bomba. Este dato lo obtenemos a través del paso entre dientes y eslabones (P) de los engranes y de la cadena respectivamente, que es igual a 12.7mm. El módulo que vamos a calcular es también el módulo de construcción que necesitamos para fabricar el piñón del árbol de levas. Adicionalmente como dato, conocemos el número de dientes del piñón del motor y la catalina de la bomba.

$$P = \pi \times m$$
$$m = \frac{12.70mm}{\pi} = \mathbf{4.04}$$

Conocido el módulo de fabricación del conjunto de engranes de bicicleta que hemos adaptado en la distribución del banco de inyección, podemos ahora calcular el número de dientes del piñón del árbol de levas, y con esto calcular el diámetro primitivo y externo del mismo piñón para realizar su fabricación.

$$Zm \times m \times Nm = Za \times m \times Na$$

$$Za = \frac{Zm \times Nm}{Na}$$

$$Z_a = \frac{14 \times 3500rpm}{700rpm} = \mathbf{70 \text{ dientes}}$$

$$\therefore DP_a = Z_a \times m = 70 \times 4.04 = \mathbf{282.8mm}$$

$$DE_a = DP_a + 2m = 282.8mm + 2(4.04) = \mathbf{290.88mm}$$

Diámetros primitivos piñón del motor y catalina de la bomba

$$\rightarrow DP_b = Z_b \times m = 28 \times 4.04 = \mathbf{113.12mm}$$

$$\rightarrow DP_m = Z_m \times m = 14 \times 4.04 = \mathbf{56.56mm}$$

Velocidad de giro Bomba de Combustible

$$\rightarrow Nb = \frac{DP_m \times Nm}{Dpb} = \frac{56.56mm \times 3500rpm}{113.12mm} = \mathbf{1750rpm}$$

Relación de transmisión entre Piñones

$$\therefore i_{m-a} = \frac{Nm}{Na} = \frac{3500rpm}{700rpm} = \mathbf{5 \rightarrow 1:5}$$

$$i_{m-b} = \frac{Nm}{Nb} = \frac{3500rpm}{1750rpm} = \mathbf{2 \rightarrow 1:2}$$

2.2.2.4.5. Cadena y Templadores de la Cadena.

Este diseño de banco de inyección está conformado por una cadena de bicicleta que es la que permite transmitir el movimiento del piñón del motor eléctrico al piñón del árbol de levas. Se ha utilizado una cadena estandarizada de los

mecanismos de piñones y catalinas para bicicletas montaÑeras, que tiene un paso (P) entre eslabones de 12.7mm o 1/2”.

La lubricación de la cadena la realizaremos con un poco de grasa. Para determinar la longitud de la cadena aplicaremos una fórmula conocida de la transmisión por cadenas, de esta manera sabremos con exactitud el largo de la misma.

Este dato que vamos a obtener es netamente teórico ya que de forma práctica podemos tomar la cadena, engranarla en los piñones y recortarla según la necesidad del perímetro existente entre la distancia de los dos engranajes. Para el cálculo de la longitud de cadena necesitamos saber la distancia entre el eje del motor eléctrico y el eje del árbol de levas, la misma que es igual a 445mm.

Entonces tenemos que:

$$L = 2C + \frac{N + n}{2} + \frac{\left(\frac{N - n}{2\pi}\right)^2}{C}$$
$$C = \frac{445mm}{P}; P = 12.7mm \rightarrow C = 35.04$$

Donde:

L = Longitud de la cadena expresada en pasos (P).

C = Distancia entre ejes expresada en pasos (P).

N = Número de dientes del piñón del árbol de levas.

n = Número de dientes del piñón del motor eléctrico.

Por lo tanto:

$$L = 2(35.04) + \frac{70 + 14}{2} + \frac{\left(\frac{70 - 14}{2\pi}\right)^2}{35.04}$$

$$L = 70.08 + 42 + 2.27 = 114.35P = \mathbf{1452mm}$$

Cuando se colocó la cadena sobre los engranajes, la distancia calculada fue insuficiente. Las cadenas están unidas por medio de “uniones” y “medias mallas cortas”. Al empalmar una unión con una media malla corta formamos una “media malla larga”. Entonces al cortar la cadena con la distancia calculada, nos encontramos con que los extremos de la cadena eran dos uniones, lo cual no es posible empalmar, por lo tanto se alargó la cadena con una media malla corta más, para así obtener el empalme requerido. La distancia final fue de **1480mm**.



Unión



Media malla corta



Media malla larga

Figura. 2.14 Partes que conforman una Cadena de Bicicleta.³²

Para evitar que la cadena se desengrane del mecanismo debido a la gran velocidad a la que gira, y por el alargamiento necesario que tuvo que hacerse a la

³² Imagen tomada del sitio web:
www.angellarreina.com/.../Transmisiones%20por%20Cadenas%20de%20Rodillos.pdf -

cadena, se colocará 1 templador en la parte inferior del contorno de la misma, hacia la derecha del piñón del motor eléctrico.

El templador lo hemos construido con una platina de 134mm de largo, 1" de ancho y 9mm de espesor. En esta se atravesará un perno, donde se alojarán 2 grandes rodela con un pequeño rulimán. Las rodela servirán para impedir que la cadena se deslice lateralmente, y el rulimán servirá para permitir que la cadena gire libremente evitando una excesiva fricción, y por ende un calentamiento de esta.

Al momento de montar el templador en la estructura metálica que sostiene los elementos del banco, se realizaron dos perforaciones de 5/16" de diámetro en la viga donde lo instalamos, como así también en la platina del mismo templador para fijarlo a la estructura metálica del banco. Se ha colocado en las perforaciones 2 pernos 5/16" x 1 1/2" de largo rosca gruesa, con una rodela plana y tuerca cada uno. Al sujetar el templador por medio de los pernos, se observó que la alineación del rulimán, con la cadena y los engranajes de la distribución no era la correcta, por lo tanto fue necesario adherir al templador un segmento de platina adicional a manera de alza, para poder compensar la desviación detectada y lograr el alineamiento requerido.

Esta platina es de las mismas dimensiones que la anterior, y se le ha hecho las mismas perforaciones. Para unir el segmento de platina al templador se han colocado dos puntos de suelda.

Cuando se accionó el banco de inyección, la cadena experimentó una oscilación extrema en el contorno superior de su perímetro, lo cual provocó el desengranamiento de la cadena del piñón del motor eléctrico.

Para evitar este fenómeno en el funcionamiento del banco de inyección se fabricó un nuevo templador de las mismas características del anterior, solo cambia el largo del mismo, que ahora es de 275mm.

Este templador también cuenta con un segmento adicional de platina a manera de alza, y 2 perforaciones de 5/16" de diámetro con sus respectivos pernos, rodela y tuercas.

El templador va ubicado a la derecha del motor eléctrico y por encima del contorno superior de la cadena para sostener las oscilaciones que se generaban en la cadena al momento de cada evento de inyección en el banco.



Figura. 2.15 Cadena y Templadores de Cadena.

2.2.2.4.6. Refrigeración de la Cadena de Transmisión.

Adicionalmente se ha montado un sistema de refrigeración para la cadena con el fin de evitar su calentamiento, dilatación y rotura durante los dos minutos de giro que debe soportar en cada prueba de inyección que se realiza en el banco. Este sistema está constituido por una estructura en forma de “L”, hecha con el mismo perfil que constituyen las vigas de la mesa que sostienen los elementos del banco de inyección. Va soldada a ésta por medio de varios puntos hechos con soldadura 7011. Las dimensiones de esta “L” son: $l_1 = 43\text{cm}$ y $l_2 = 16\text{cm}$. Este perfil estructural permite recoger el líquido refrigerante (taladrina) vertido sobre la cadena para su enfriamiento, como así también evita que este salpique por todo lado por medio de una plancha remachada en su contorno. Por debajo del piñón del motor eléctrico se encuentra el lado de menor dimensión de esta “L”, y en él se ha hecho una perforación de $3/8"$ de diámetro para que la taladrina drene por medio de una manguera del mismo grosor a un recipiente plástico ubicado en la parte inferior de la estructura metálica que sostiene al conjunto del cabezote y circuito electrónico.



Figura. 2.16 Estructura en Forma de “L” para la Refrigeración de la Cadena.

Sobre el piñón del motor eléctrico y adherido al lado de mayor longitud del perfil en forma de “L”, se ha soldado una pequeña plancha metálica de 11cm x 8cm, la que nos permite soldar una abrazadera metálica de 4”, que sostiene otro recipiente plástico que almacena la taladrina de refrigeración. Este recipiente es una botella de gaseosa colocada con el pico hacia abajo, y constituida por un tapón en la parte superior donde se coloca el líquido refrigerante. En su pico se enrosca una tapa que tiene incrustada una pequeña manguera de 3/16” de diámetro, y que ingresa a una electroválvula (solenoides) que controla el flujo de taladrina que refrigera la cadena por medio del accionamiento de un switch eléctrico.



Figura. 2.17 Electroválvula-Solenoides para la Refrigeración de la Cadena.

2.2.2.5. Conjunto de Alimentación de Combustible.

El conjunto de alimentación de combustible en este diseño de banco de inyección está formado por la bomba de combustible, la catalina de la bomba de

combustible, los neoplos de entrada y salida de la bomba de combustible, la manguera del recipiente de combustible al neoplo de entrada de la bomba, la manguera del neoplo de salida de la bomba a la entrada del cabezote, la manguera de la válvula Check de retorno de combustible al recipiente de combustible y las probetas plásticas graduadas de 50cm³ para recolectar el combustible inyectado.

El conjunto de alimentación de combustible de este diseño no cuenta con un filtro de combustible, debido a que un medio filtrante genera mayor presión en el sistema, y se quiere evitar todo tipo de esfuerzo adicional que frene el giro libre del motor eléctrico, que se derivaría en un recalentamiento del mismo.

2.2.2.5.1 Bomba de Combustible y Catalina de la Bomba de Combustible.

La bomba de combustible del banco de inyección proviene de un motor DDS60 DDEC IV de 600 HP, del año 2006 perteneciente a un Western Star 4964 EX de la compañía Tocarvi. A esta bomba se le ha completado 2 retenedores internos (retén de combustible y retén de aceite), 2 seguros del piñón conductor, 1 cojinete de palillos que va en el eje principal y el empaque plástico que une el cuerpo de la bomba con la tapa de la misma.

Para lograr el giro de la bomba de combustible, se ha fabricado una rodela metálica en un torno, que se adapta a la manzana del eje conductor de la bomba, y en ella se emperna la catalina de 28 dientes del mecanismo de bicicleta, por medio de 3 pernos de 3/16" de diámetro x 1/2" de largo.

Su ubicación es hacia el lado izquierdo del piñón del árbol de levas, y la catalina de bicicleta ensamblada al eje de la bomba, engranará por debajo del contorno superior de la cadena. Como ya hemos demostrado en el cálculo del ensamble de engranes en la distribución, la bomba de combustible girará a aproximadamente 1750 rpm, lo que equivale a 1470 rpm en el cigüeñal de un motor real DDS60 (relación de transmisión entre el cigüeñal y la bomba de combustible 1:1.19).

La bomba de combustible se va a fijar sobre una platina metálica a través de 3 pernos 5/16" de diámetro por 1" de largo, dispuestos triangularmente. Esta platina irá verticalmente y tiene 105mm de alto por 110mm de ancho, con un espesor de 1/8".

Para que la catalina de la bomba engrane en la cadena, y la platina vertical no estorbe en el giro de la misma, se ha hecho una perforación de aproximadamente 3" de diámetro en la platina, con autógena, quedando todo el cuerpo de la bomba de combustible hacia adelante de ésta, y la manzana de la bomba con la catalina, hacia atrás.

A 90° de la platina que sostiene la bomba de combustible se ha soldado otra platina del mismo espesor que la anterior, pero con 110mm de ancho y 60mm de profundidad, esto con el objeto de asentar la bomba sobre otra base que va fija a la estructura metálica del banco de inyección.

Esta base que acabamos de mencionar es una platina en "L" de 1/4" de espesor. Tiene 160mm de altura, 110mm de ancho y 60mm de profundidad. Tanto las

platinas que sostienen a la bomba de combustible, como la platina en “L” que se fija en la estructura metálica, van unidas por medio de dos cordones pequeños de suelda con electrodo 7011.

Para poder alinear la catalina de la bomba de combustible con la cadena y los templadores, se ha hecho un alza compuesta por tres platinas de 9 mm de espesor, 1” de ancho y 100 mm de largo cada una. Estas están unidas a la base en “L”, y entre sí por medio de puntos de suelda. Hemos utilizado 2 pernos de 5/16” de diámetro por 2” de largo para fijar esta base sobre la viga de la estructura metálica del banco. Estos pernos atraviesan la platina en “L” y el conjunto de 3 platinas a manera de alza.

También se ha soldado a manera de templador en el medio de la base en “L” una platina igual a las del alza, pero de 157mm de largo y dispuesta diagonalmente, mermando así la vibración que se genera en la catalina de la bomba al momento de accionar el banco de inyección.

A continuación mostraremos imágenes de todo este conjunto en que se sostiene la bomba de combustible para entender su construcción.



Figura. 2.18 Bomba de Combustible y Bases de Soporte.

El caudal de combustible que la bomba genera lo vamos a calcular a partir de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{2\pi}{60} \times DP \times m \times b \times n$$

Donde tenemos que:

Q = Caudal de la bomba de combustible en metros cúbicos sobre segundo (m^3/s).

DP = Diámetro primitivo de los piñones de la bomba de combustible en metros (m).

m = Módulo de los engranajes de la bomba de combustible.

b = Ancho de diente de los engranajes de la bomba de combustible en metros (m).

n = Número de revoluciones a las que gira la bomba de combustible en rpm.

Los datos que hemos recopilado provienen directamente de mediciones hechas en los piñones de la bomba de combustible, de los cuales sabemos que tienen 11 dientes (Z), su paso (P) entre diente y diente es de 8,65mm, y el ancho de diente es 9,50mm. Entonces:

$$Q = \frac{2\pi}{60} \times DP \times m \times b \times n ; DP = Z \times m ; m = \frac{P}{\pi}$$

$$\rightarrow Q = \frac{2\pi}{60} \times Z \times \frac{P}{\pi} \times \frac{P}{\pi} \times b \times n$$

$$Q = \frac{ZP^2bn}{30\pi} = \frac{11 \times (0.00865m)^2 \times 0.0095m \times 1750rpm}{30\pi}$$

$$Q = \frac{0.0137m^3}{30\pi} = \frac{0.000145m^3}{s}$$

$$\therefore 0.000145 \frac{m^3}{s} \times \frac{60s}{1min} \times \frac{1000L}{1m^3} = \mathbf{8.71 \frac{Litros}{min}}$$

En el neplo de salida de combustible de la bomba se ha colocado un manómetro de presión de fluido, el mismo que permite verificar la presión generada por la bomba a su salida antes de la entrada al cabezote. Como se ha descrito en el Capítulo 1, la presión máxima en la cual opera la bomba de combustible es de 65psi. La lectura de presión que tenemos en el manómetro es mucho menor (oscila en los **20psi** por la vibración del tren motriz) debido a que en el diseño de banco de inyección no tenemos ningún medio filtrante, lo cual eleva la presión del sistema. Además cabe recalcar también que el manómetro utilizado sirve para

cuantificar fluido pero no específicamente diesel, por lo cual es probable que este combustible por su viscosidad no refleje su verdadera presión en el manómetro. Sin embargo nos permite orientarnos en este parámetro al prender el banco de inyección.



Figura. 2.19 Instalación de un Manómetro de Presión de Fluido a la Salida de la Bomba de Combustible.

2.2.2.5.2. Neplos de la bomba de combustible.

Los neplos de la bomba de combustible son reemplazos de los originales. El neplo de entrada a la bomba de combustible es de rosca doble, de 17mm de diámetro. El diámetro interno de este neplo es de 7/16”.

En el orificio de salida de combustible de la bomba, hemos colocado el ensamble de un bushing, cuya rosca externa, la que entra en la bomba de combustible, es de 17mm de diámetro, y su rosca interna es de 9/16” de diámetro.

En esta se enrosca un neplo de doble rosca de 9/16" de diámetro. El diámetro interno de este neplo es de 5/16".



Figura. 2.20 Neplos de la Bomba de Combustible.

2.2.2.5.3. Mangueras de Combustible.

En el diseño de este banco de inyección hemos trabajado con mangueras en vez de cañerías, por facilidad de manipulación e instalación y por ahorro de dinero.

Los diámetros internos de las mangueras son los que hemos tomado en cuenta para aproximarnos a aquellos que poseen las cañerías de un sistema de combustible real en un motor DDS60.

Como no fue posible desmontar una cañería de algún vehículo y medir su diámetro interno, nos hemos guiado por los diámetros internos que presentan las puntas de los neplos originales. En este caso es de mayor interés el diámetro del neplo de salida de la bomba hacia el cabezote, porque en este pasa el flujo de combustible que llega a los inyectores. Este diámetro es de 1/4".

Como habíamos mencionado anteriormente tenemos 3 mangueras de combustible que son: la primera es la manguera del recipiente de combustible al neplo de entrada de la bomba (manguera de succión de combustible), que tiene una longitud de 110cm, su diámetro interior es de 3/8", y el exterior de 1/2". En el extremo que va hacia el neplo de entrada de la bomba de combustible, hemos colocado un anillo y un refuerzo, para poder embonar la manguera con el neplo, los mismos que quedan asegurados a través de una tuerca para llave de boca de 3/4". El otro extremo de esta manguera va directamente sumergido en el recipiente de combustible de 5 galones.

La segunda es la manguera del neplo de salida de la bomba a la entrada del cabezote (manguera de presión de combustible), que tiene una longitud de 224cm, su diámetro interior es de 1/4", y el exterior de 3/8". En el extremo que va hacia el neplo de salida de la bomba de combustible, hemos colocado un anillo y un refuerzo, para poder embonar la manguera con el neplo, los mismos que quedan asegurados a través de una tuerca para llave de boca de 5/8". El otro extremo de esta manguera entra directamente en el acople rápido del neplo de entrada del cabezote, es decir no necesita de anillo, refuerzo, ni tuerca.

La tercera y última manguera es la manguera de la válvula Check de retorno de combustible al recipiente de combustible (manguera de retorno de combustible), que tiene una longitud de 290cm, su diámetro interior es de 3/8", y el exterior de 1/2". En el extremo que va hacia la válvula Check de retorno de combustible, hemos colocado un anillo y un refuerzo, para poder embonar la manguera con el neplo, los mismos que quedan asegurados a través de una tuerca para llave de

boca de 3/4". El otro extremo de ésta manguera va directamente sumergido en el recipiente de combustible de 5 galones.



Figura. 2.21 Mangueras de Combustible.

2.2.2.5.4. Recipiente de Combustible.

El recipiente de combustible que hace las veces de tanque de combustible, no es más que una caneca de 5 galones de refrigerante vacía, a la cual hemos lavado con gasolina, para poder llenarla de diesel. Posee una tapa en todo su contorno, en la cual encontramos una tapita enroscada. En este orificio insertamos la manguera de succión y la de retorno de combustible. Este recipiente ha sido ubicado en el piso por debajo de la bomba de combustible.



Figura. 2.22 Recipiente de Combustible.

2.2.2.5.5. Probetas Plásticas y Precámaras.

Para poder cuantificar la cantidad de combustible inyectada por cada inyector en las distintas calibraciones ajustadas, hemos adquirido 4 probetas plásticas de 50cm^3 de capacidad volumétrica.

Estas probetas, van ubicadas por debajo de las puntas de los inyectores que sobresalen en la parte inferior del cabezote. Se ha colocado una viga transversal en la estructura metálica del banco de inyección para poder asentar las probetas que se pegan al cabezote.

En una prueba preliminar pudimos observar que la atomización del combustible en la punta del inyector lleva demasiada presión, por lo que las probetas plásticas se perforaron en el contorno donde pegaba el combustible pulverizado.

Para resolver este inconveniente hemos conseguido 4 precámaras de un camión Internacional 9200i. A estas precámaras se les ha hecho un corte en la parte

inferior, y en la base superior donde entra la punta del inyector, hemos esmerilado sus superficies por medio de una amoladora equipada con un disco de desbaste; esto con el fin de lograr un perfecto asentamiento entre el contorno de la punta del inyector y la precámara.

A las probetas también se les ha realizado un corte transversal en sus puntas, para retirar las perforaciones hechas por el combustible y para embonar ahí las precámaras que asientan en las puntas de inyector y cabezote.



Figura. 2.23 Probetas Plásticas y Precámaras.

2.2.2.6. Estructura Metálica del Banco de Inyección DDS60.

La estructura metálica en la cual se sostiene el banco de inyección que se presenta, está formada por varias vigas del mismo perfil estructural en forma de “C”, pero de diferentes longitudes, y unidas a través de cordones de suelda con electrodo 7011.

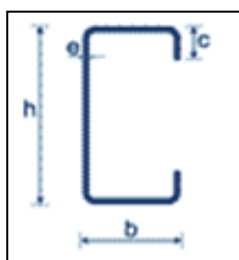
Prácticamente la forma de esta estructura es la de una mesa rectangular reforzada en su base inferior con un marco metálico construido por medio de

éstas mismas vigas. Esta mesa se asienta en cuatro platinas rectangulares soldadas a cada pata de la mesa, en donde se han colocado 4 llantas respectivamente. Estas llantas facilitan el movimiento y traslado del banco de inyección debido al peso que representa el cabezote, los elementos sobre el cabezote, el motor eléctrico, la distribución de los piñones y la misma estructura en sí.

A continuación se presenta una tabla de especificaciones técnicas relacionadas con el perfil estructural utilizado para la construcción de este soporte metálico.

Tabla 2.1 Datos Técnicos Perfil Estructural.

Nombre del Perfil	Perfil Estructural tipo “C”
Material del Perfil	Acero (aleación hierro-carbono) 6,70% de Carbono.
Dimensiones del Perfil	h= 80mm; b= 40mm; c= 10mm; e= 2mm
Límite de Fluencia Perfil	$f_y = 2400 \text{ Kg/cm}^2$
Peso del Perfil	2,78 Kg/m; 16,66 Kg/6m
Área del Perfil	$3,54 \text{ cm}^2$
Recubrimiento del Perfil	Galvanizado
Suelda en la Estructura	Suelda Eléctrica: Electrodo 7011



Para poder entender de mejor manera la forma de las vigas que se han utilizado en esta construcción, mostraremos a continuación el perfil de una de ellas con sus respectivas dimensiones. Así también se muestra un segmento dibujado en tres dimensiones. Todos los gráficos que presentamos han sido realizados en Autocad 2010.

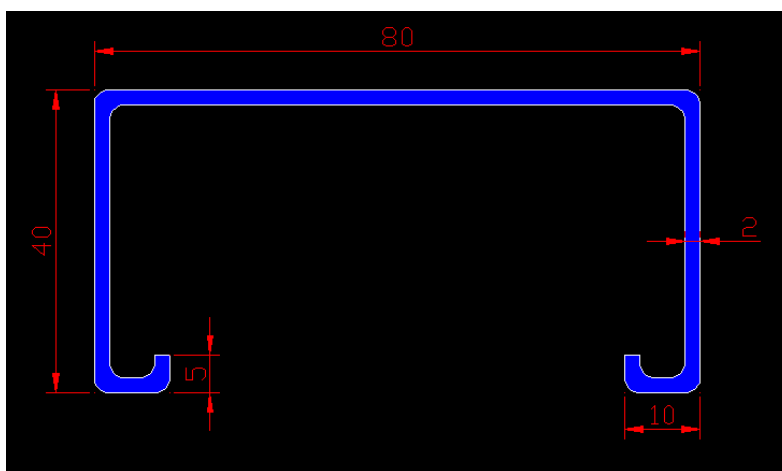


Figura. 2.24 Dimensionamiento del Perfil de la Viga.

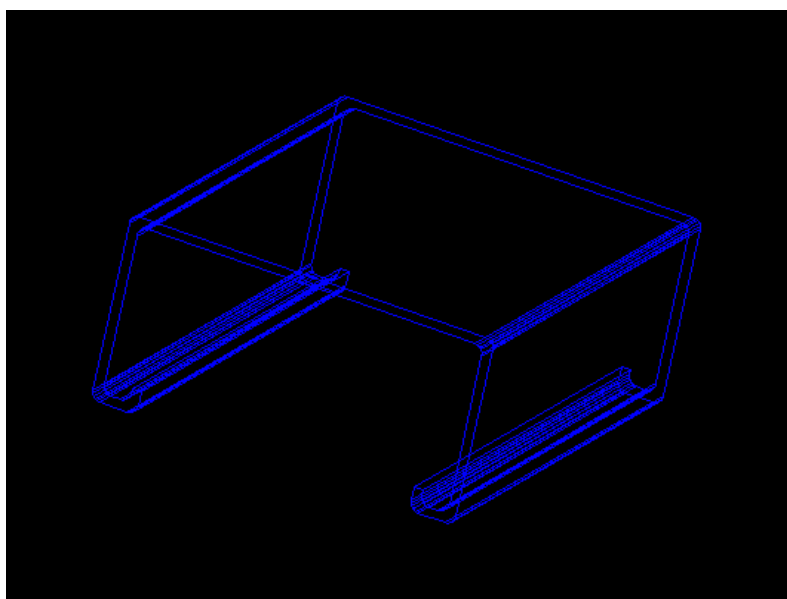


Figura. 2.25 Segmento de Viga en 3D.

La imagen que se presenta a continuación corresponde a una fotografía de la estructura metálica ya construida, sosteniendo todos los elementos del banco de inyección.

A partir de esta, hemos representado gráfica y dimensionalmente las vistas de cada cara que compone dicha estructura en forma de mesa. Cada vista dibujada en Autocad, está acompañada de la vista real del banco de inyección para poder comprender mejor su diseño y construcción.



Figura. 2.26 Estructura Completa del Banco de Inyección.

2.2.2.6.1. Vista Superior de la Base Superior de la Estructura Metálica.

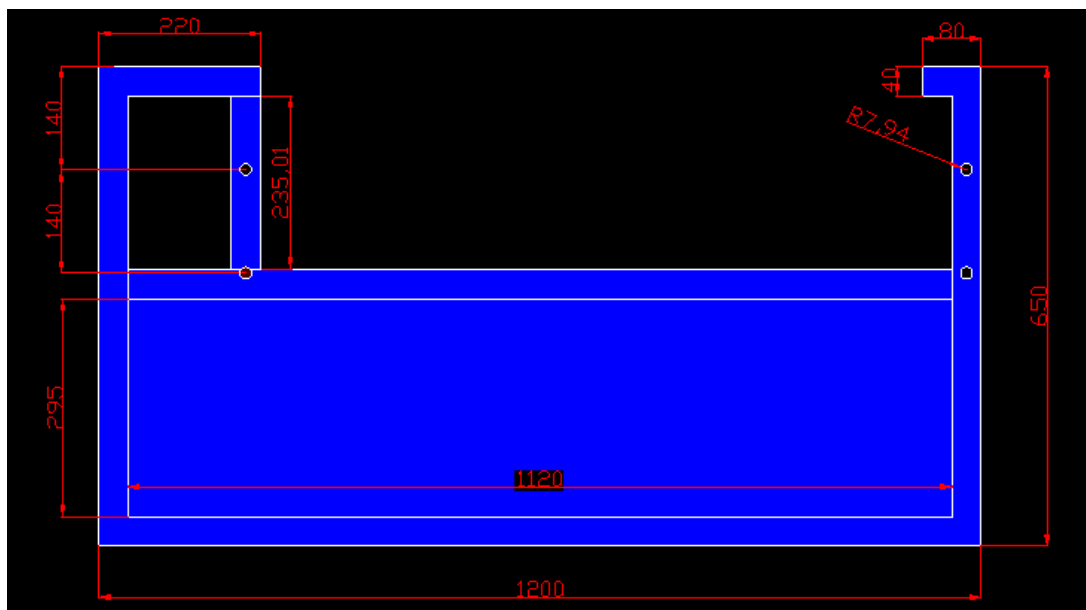


Figura. 2.27 Dimensionamiento Base Superior.

Las perforaciones que observamos en esta vista corresponden a aquellas realizadas para mantener fijo el cabezote a la estructura metálica del banco. Se han utilizado 4 pernos de 5/8" de diámetro y 3" de largo, con 2 rodela planas y

tuerca de seguridad cada uno. Desde la fotografía podemos observar como en esta base se asienta el cabezote con los elementos del tren motriz, el motor eléctrico y el circuito electrónico.

Además podemos apreciar la mica transparente que se ha empernado al cabezote para evitar que el aceite salpique hacia los componentes antes mencionados.

2.2.2.6.2. Vista Superior de la Base Inferior de la Estructura Metálica.

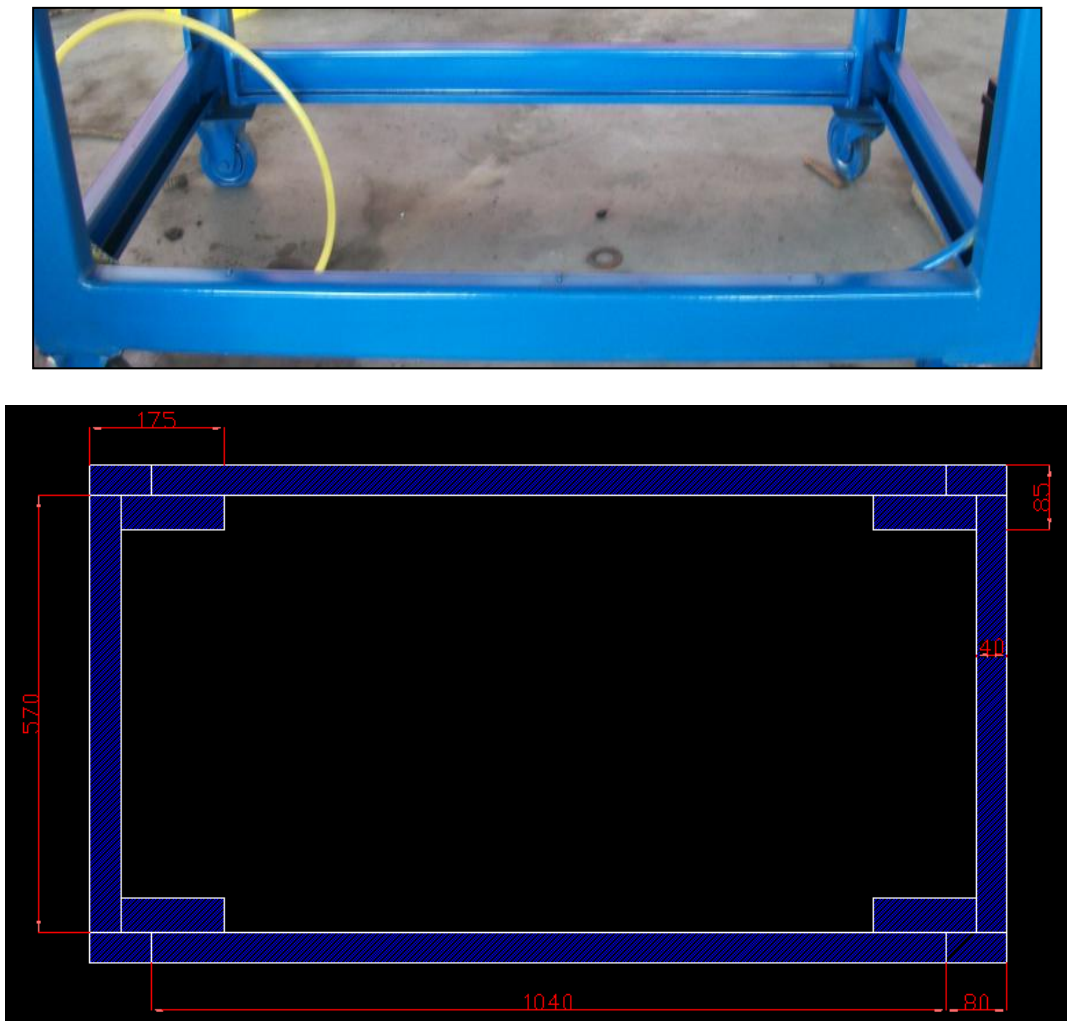


Figura. 2.28 Dimensionamiento Base Inferior.

2.2.2.6.3. Vista Frontal de la Estructura Metálica.

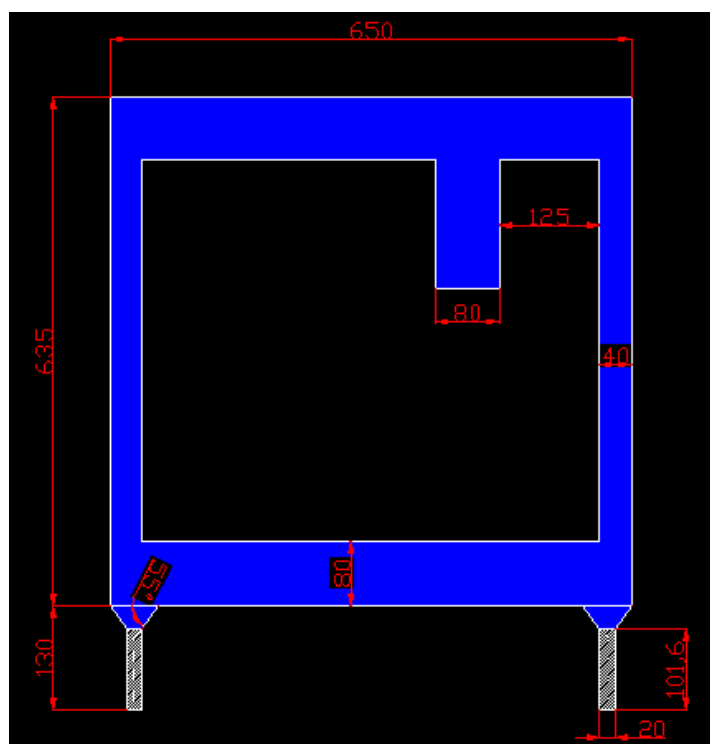


Figura. 2.29 Dimensionamiento Vista Frontal.

Como se aprecia en la fotografía, sobre esta vista frontal se ha colocado la distribución de engranajes del banco de inyección. A si mismo se han realizado

perforaciones en la viga superior para fijar las bases que sostienen la bomba de combustible y los templadores de la cadena, que transmite el movimiento angular del motor eléctrico al árbol de levas.

2.2.2.6.4. Vista Posterior de la Estructura Metálica.

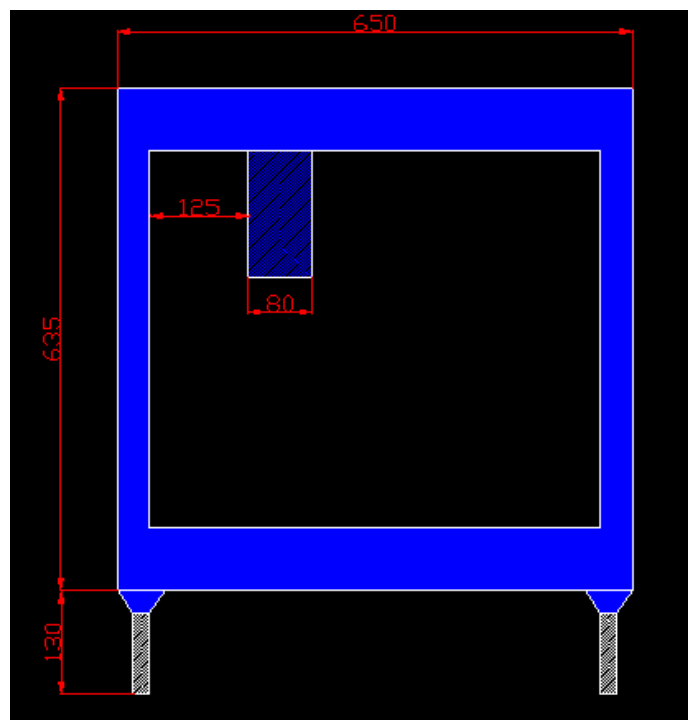


Figura. 2.30 Dimensionamiento Vista Posterior.

Esta vista permite apreciar los neoplos de entrada de combustible al cabezote, y la válvula Check de retorno de combustible con sus respectivas mangueras. Aquí también sobresale el arnés del cableado que va hacia los solenoides de los inyectores y hacia el circuito electrónico constituido por el conjunto de relés de luces.

2.2.2.6.5. Vista Lateral Derecha de la Estructura Metálica.

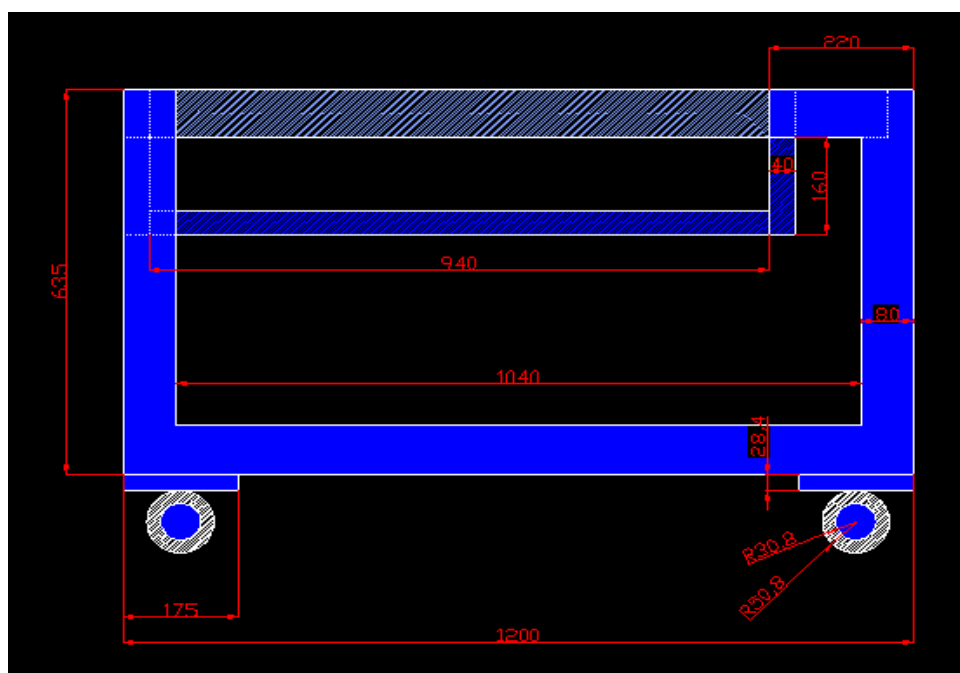


Figura. 2.31 Dimensionamiento Vista Lateral Derecha.

Como se puede ver en la fotografía de esta vista, sobre la viga que se encuentra por debajo de la base inferior del cabezote, colocamos las probetas plásticas con sus respectivas precámaras para cuantificar la cantidad de combustible inyectado en cada calibración ajustada. En este lado podemos apreciar con mayor visibilidad el cabezote, árbol de levas y demás componentes que constituyen el tren motriz.

2.2.2.6.6. Vista Lateral Izquierda de la Estructura Metálica.

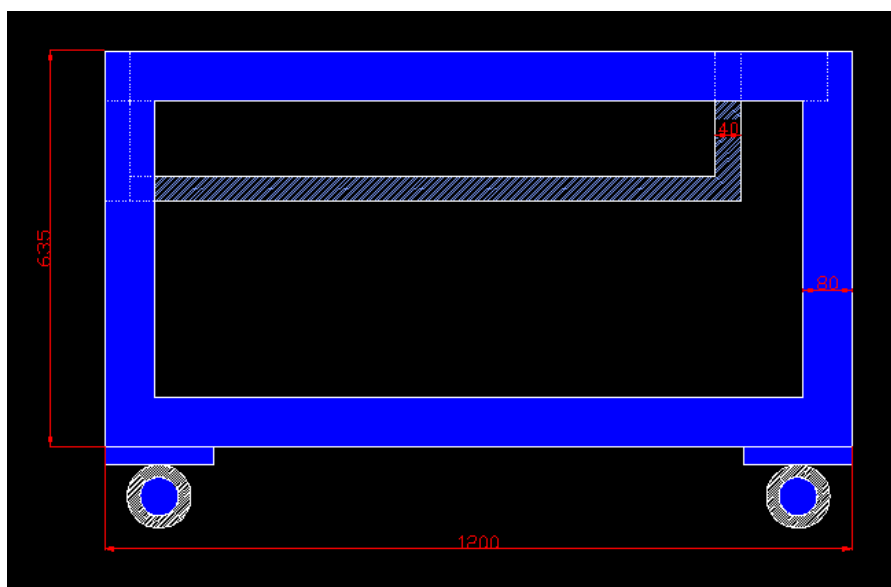


Figura. 2.32 Dimensionamiento Vista Lateral Izquierda.

Sobre esta vista se aprecia el circuito electrónico de inyectores y el motor eléctrico que impulsa al árbol de levas.

2.3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN: CIRCUITO ELECTRÓNICO.

2.3.1. Descripción General del Circuito Electrónico.

El circuito electrónico es básicamente un circuito elemental de inyectores que preliminarmente fue construido en un proto board, y que finalmente fue elaborado en una baquelita de circuitos (cerrada por una pequeña caja plástica a manera de un módulo de control). Está constituido por dos integrados temporizadores, a través de los cuales obtenemos pulsos eléctricos que permiten el cierre de la válvula-solenoide de cada inyector, para que dentro de los mismos se produzca presión de inyección.

A estos integrados generadores de pulsos, inicialmente los acompañaba un integrado secuenciador de diez salidas que permitía emular el orden de encendido de un motor DDS60, sin embargo fue retirado debido a que en él se afectaba la frecuencia de la onda cuadrada que se originaba en los integrados temporizadores. Por lo tanto ahora todos los solenoides de inyector trabajan en un solo banco, comandados por el pulso inicial de los temporizadores.

En electrónica automotriz es necesario el uso de transistores que comandan las señales eléctricas hacia los inyectores, es por esto que se han utilizado transistores tipo MOSFET canal N que resisten voltajes y corrientes altas para que transmitan el pulso eléctrico a los solenoides de inyector que forman parte del

circuito. Estos transistores van ubicados después del segundo integrado temporizador.

Adicionalmente el circuito está conformado por varias resistencias de 1 Kilo-ohmio, condensadores de ciertas capacitancias, tres potenciómetros (2 de 1 Kilo-ohmio y 1 de 20 Kilo-ohmios), luces LED indicadoras del accionamiento de los inyectores, y por supuesto una fuente de voltaje de 12 Voltios a manera de batería que alimenta todo el circuito. Todos estos elementos los describiremos detalladamente a continuación.

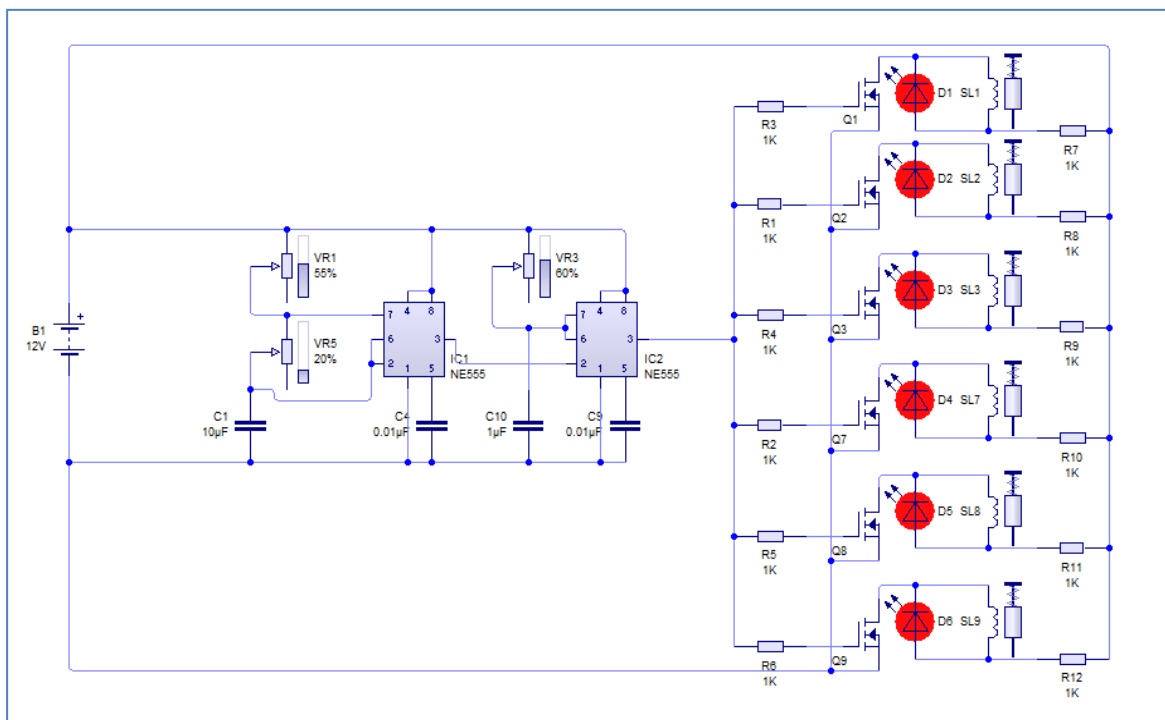


Figura. 2.33 Diagrama de Funcionamiento del Circuito Electrónico.

2.3.2. Elementos que conforman el Circuito de Inyectores.

2.3.2.1. Fuente de Voltaje.

La fuente de voltaje de este banco de inyección es básicamente un transformador eléctrico que toma la corriente alterna de 110V que utilizamos domésticamente, y la rectifica para convertirla en corriente directa. Esta fuente nos da la posibilidad de seleccionar diferentes tensiones nominales de acuerdo a la necesidad que se tenga. Se puede trabajar con 3V a 16A, 5V a 12A y 12V a 8A. El circuito de inyectores opera a 12V y 8A. Esta fuente de voltaje tiene un conector de salida positivo y otro negativo. En ellos conectaremos los respectivos cables que alimentarán el circuito y los inyectores que operan este banco.



Figura. 2.34 Fuente de Voltaje del Banco de Inyección.

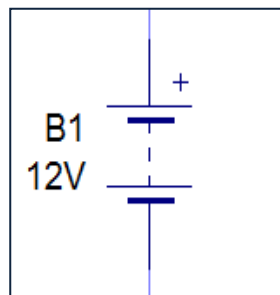


Figura. 2.35 Representación de la Fuente de Voltaje en el Diagrama de Funcionamiento.

2.3.2.2. Condensadores Electrolíticos.

Los condensadores electrolíticos que hemos utilizado en este circuito son parte de la conexión que tiene cada uno de los integrados temporizadores. Estos influyen directamente en la generación de corriente pulsante por medio de su propiedad capacitiva de almacenar energía y entregarla nuevamente. Es por esto que se logra obtener una señal cuadrada en los temporizadores, cuyo tiempo en milisegundos tanto en el pico de voltaje alto (12V), como en el pico de voltaje bajo (0V) dependen de los condensadores electrolíticos seleccionados. Los condensadores que se utilizan en este circuito son de 10 μ F y 1 μ F.



Figura. 2.36 Condensador Electrolítico de 10 μ F.

2.3.2.3. Drivers.

Todo módulo electrónico está constituido por 5 bloques grandes de componentes que son: una fuente de voltaje, un procesador de datos más una memoria o a su vez un microprocesador, drivers, un conversor análogo-digital y una interface de datos. Los drivers son todos los elementos que tienen conexión con los actuadores del motor, y generalmente son un conjunto de circuitos integrados y transistores de varios tipos.

En el circuito de inyectores del banco de inyección que se presenta, no tenemos un microprocesador, debido a que este no necesita una programación específica para su funcionamiento ya que es muy simple, pero si cuenta con dos elementos electrónicos como drivers que son: Circuito integrado temporizador NE555 (2), y transistor MOSFET IRFP150N (6).

2.3.2.3.1. Circuito Integrado NE555.



Figura. 2.37 Circuito Integrado NE555.

Este temporizador es utilizado generalmente como un generador de pulsos y produce una corriente máxima de salida de hasta 200mA, lo cual permite excitar directamente relés sin necesidad de componentes adicionales.

La aplicación que hemos dado a los dos integrados NE555 en el circuito de inyectores es de oscilador astable y oscilador monostable respectivamente. Esto significa que los integrados generan en su pin de salida una frecuencia de oscilación que ha sido calculada y que es controlada de forma externa por

resistencias variables o potenciómetros y condensadores, en este caso electrolíticos por el valor de capacitancia seleccionado.

El primer temporizador trabaja como oscilador astable y genera una frecuencia controlada por dos potenciómetros y un condensador electrolítico. Esta frecuencia tiene una duración larga en alta (12V) y una muy corta en baja (0V). Este tiempo de duración en baja es precisamente el ancho de pulso que va a controlar los inyectores, y esta dado en milisegundos. El parámetro que se necesita generar está entre 0.8ms y 2ms, que es el tiempo en el cual un inyector EUI N3 del motor DDS60 opera.

El segundo integrado NE555 trabaja como oscilador monostable, su función es invertir la frecuencia enviada por el primer temporizador y retrasarla ligeramente. El retardo que sufre esta frecuencia no afecta en nada la corriente pulsante que requieren los inyectores. La frecuencia invertida es necesaria debido a que el transistor conmuta por negativo el solenoide del inyector y trabaja en su compuerta (gate) con la señal positiva en alta proveniente del temporizador. Esta señal es la misma que se generó en baja en el primer integrado y que corresponde al ancho de pulso de inyección. Este temporizador es controlado por un potenciómetro y un condensador electrolítico.

Tomando en cuenta que el giro del árbol de levas del banco de inyección fue calculado para 700rpm, y con el fin de poder sincronizar el mismo con el pulso eléctrico emitido por el circuito para el funcionamiento de los inyectores, se midió con un multímetro de aplicación automotriz el pulso de inyección en los 6

solenoides de inyector de un camión equipado con motor DDS60 a un régimen de 1400rpm en el cigüeñal. Aquí se pudo determinar que el tiempo en alta era igual a $t_a = 84.5\text{ms}$ y el periodo total era igual a $T = 85.9\text{ms}$, por lo tanto el tiempo en baja o ancho de pulso es la diferencia de estos tiempos y corresponde a $t_b/PW = 1.4\text{ms}$. Por lo tanto la frecuencia en hertzios es igual a $f = 11.64\text{Hz}$.



Figura. 2.38 Medición del Pulso de Inyección en un Motor DDS60 a 1400rpm en el Cigüeñal.

A continuación se presenta el cálculo de la frecuencia de inyección para el circuito de inyectores tomando en cuenta los datos obtenidos de forma real en el vehículo equipado con motor DDS60.

Partimos también con los siguientes datos de los condensadores electrolíticos seleccionados:

$$C_1 = 10\mu F; C_2 = 1\mu F;$$

El objetivo es encontrar el valor teórico de las resistencias variables o potenciómetros que nos permitan obtener los tiempos de la frecuencia establecida en la medición del motor DDS60. Cabe recalcar que al momento de probar el circuito armado los valores calculados para las resistencias varían, pues el cálculo es más representativo y nos acerca a la realidad, pero es necesario hacerlo para ubicarnos dentro de parámetros que nos permitan obtener la frecuencia deseada para la simulación de la inyección en el banco.

Vamos a empezar con el cálculo de los potenciómetros que se utilizaron en el temporizador de aplicación astable:

$$T = 0.693 \times (Ra + 2Rb) \times C_1 ; D = \frac{Rb}{Ra + 2Rb}$$

Donde tenemos que:

T = Periodo del ciclo en segundos (s).

Ra = Resistencia para el tiempo en alta en ohmios (Ω).

Rb = Resistencia para el tiempo en baja en ohmios (Ω).

C₁ = Condensador electrolítico en faradios (F).

D = Ciclo “duty”, adimensional.

$$D \times (Ra + 2Rb) = Rb$$

$$DRa = Rb - 2RbD \rightarrow 0.0163Ra = 0.967Rb$$

$$\therefore R_a = 59.35R_b$$

Ahora remplazamos en la primera ecuación:

$$T = 0.693 \times (61.35R_b) \times 10^{-5}F$$

$$R_b = \frac{0.0859s}{0.000425F} = 202.04\Omega \rightarrow R_a = 12K\Omega$$

Para la construcción del circuito se utiliza un potenciómetro de **1K Ω** en **R_b** y uno de **20K Ω** en **R_a**.

A continuación se calculará el potenciómetro que lleva el temporizador de aplicación monostable:

$$t_b = 1.1 \times C \times R$$

Donde tenemos que:

t_b = Tiempo en baja proveniente del temporizador 1. En segundos (s).

C = Condensador electrolítico en Faradios (F).

R = Resistencia en ohmios (Ω).

$$R = \frac{0.0014s}{1.1 \times 10^{-6}F} = 1.27K\Omega$$

Para la construcción del circuito se utilizará un potenciómetro de **1K Ω** .

Finalmente se puede calcular con la frecuencia medida, la velocidad de giro que se tiene en el árbol de levas. Esto permitirá comprobar que los datos utilizados son correspondientes con la velocidad angular calculada para el piñón del árbol de levas del banco de inyección: 700rpm.

$$\omega = 2\pi \times f = 2\pi \times 11.64\text{Hz}$$

$$\omega = 73.14 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \frac{1\text{rev}}{2\pi\text{rad}} \times \frac{60\text{s}}{1\text{min}} = \mathbf{698.4rpm \cong 700rpm}$$

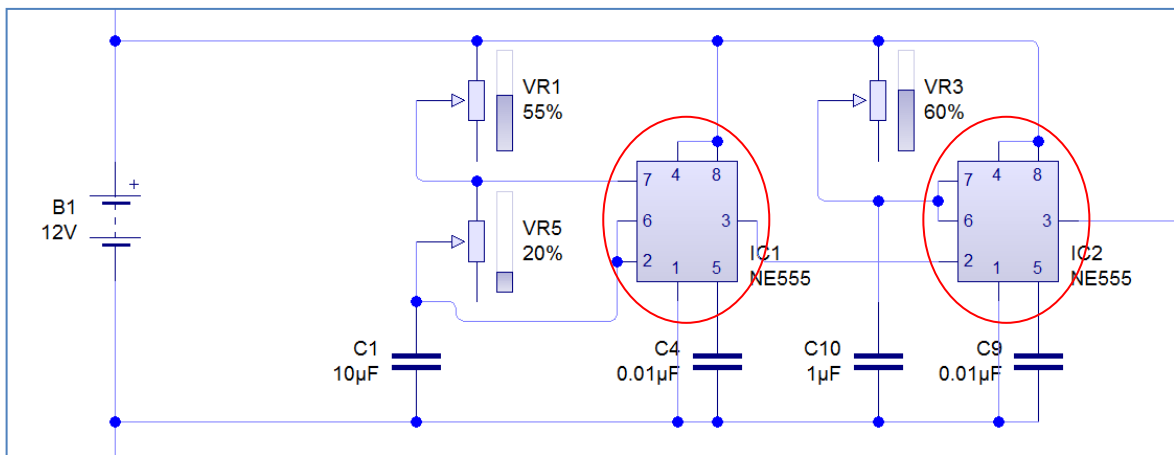


Figura. 2.39 Representación y Conexión NE555 en el Diagrama de Funcionamiento.

2.3.2.3.2. Transistores IRFP150N.

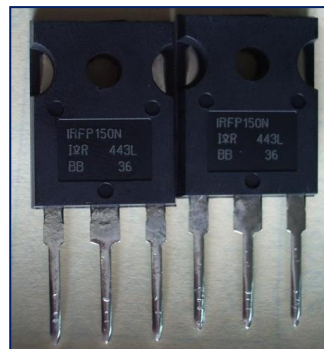


Figura. 2.40 Transistores IRFP150N.

Para simular de mejor manera el circuito de inyectores que encontramos en el módulo electrónico de un DDS60, hemos utilizado transistores de efecto campo (JFET) tipo MOSFET, que hoy por hoy son utilizados con mayor frecuencia en las aplicaciones automotrices.

Adicional a esto, este tipo de transistor soporta tensiones y corrientes elevadas, y para el circuito que presentamos en este banco de inyección se ha preferido un transistor que además de cumplir su función, soporte cualquier pico de voltaje producido por las bobinas inductoras de los solenoides de inyector. Los transistores IRFP150N manejan en su capacidad 100V y 42A, lo que abastece perfectamente las necesidades del circuito.

Este transistor MOSFET se comporta como un interruptor controlado por tensión, donde el voltaje aplicado a la compuerta (gate) permite hacer que fluya o no corriente entre drenador (drain) y fuente (source). El gate del transistor se conecta al segundo temporizador a través de una resistencia de $1K\Omega$, el drain se conecta al cátodo de un diodo emisor de luz LED y a un extremo del conector del solenoide de inyector. Finalmente el source va conectado a tierra. Los transistores han sido conectados en paralelo y todos reciben la frecuencia emitida por el segundo temporizador NE555, es decir que todos están conectados en un solo banco, pero cada transistor comanda su propio solenoide de inyector.

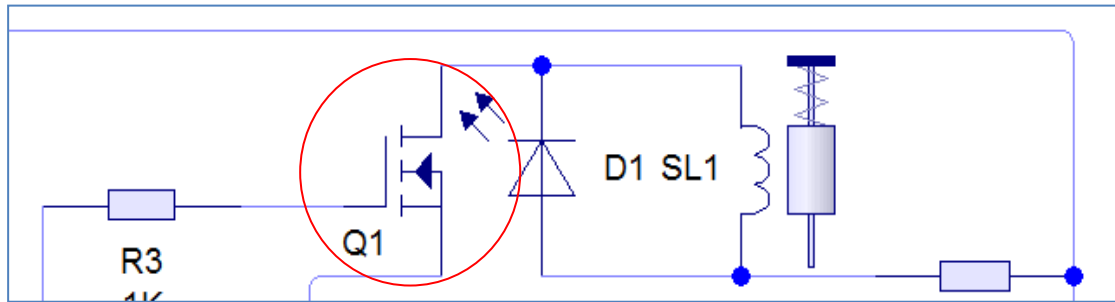


Figura. 2.41 Representación y Conexión IRFP150N en el Diagrama de Funcionamiento.

2.3.2.4. Actuadores.

En el circuito electrónico de este banco de inyección tenemos dos tipos de actuadores, de los cuales uno de ellos sirve más como indicador del funcionamiento del otro. Los actuadores son: seis solenoides de inyector y seis luces LED.

2.3.2.4.1. Solenoides de Inyector.



Figura. 2.42 Despiece Solenoide de Inyector.

Los solenoides de inyector como se ha mencionado anteriormente son un fino bobinado encapsulado al interior del inyector que trabaja con una tensión de 12V.

Al energizarse esta bobina atrae magnéticamente una pequeña válvula metálica que se pega a su respectivo asiento, impidiendo el paso de combustible al interior del inyector.

Así se genera la presión de diesel requerida para la atomización del mismo. Los solenoides de inyector en uno de los pines de sus conectores están alimentados por 12V provenientes del positivo de la fuente de voltaje. Los otros pines de los conectores van conectados a los drenadores (drain) de los transistores IRFP150N.

Cabe recalcar que para el funcionamiento de este proyecto, el conjunto de seis inyectores que me fueron prestados, pertenecían a un motor DDS60 DDEC V, que no ha sido utilizado en aproximadamente 10 años. Por lo tanto el solenoide del inyector número dos se encontraba quemada su bobina, y el solenoide del inyector número 5 sufrió un corto circuito por probarlo directamente en una batería, manteniéndose mucho tiempo energizada su bobina. Es por esto que podemos visualizar únicamente la pulverización de combustible en los inyectores 1, 3, 4, y 6.

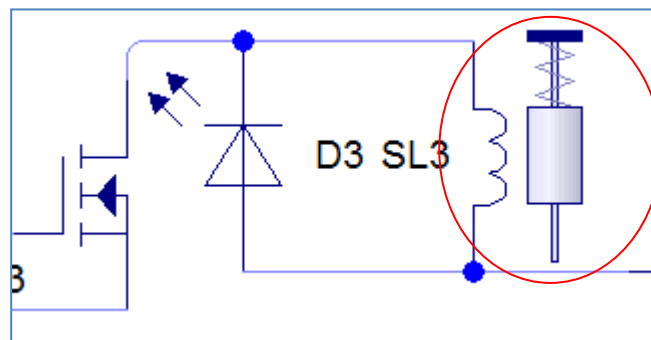


Figura. 2.43 Representación y Conexión Solenoide en el Diagrama de Funcionamiento.

2.3.2.4.2. Luces LED.

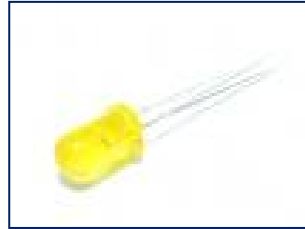


Figura. 2.44 LED Amarillo.

Se ha incluido en el circuito seis luces LED de color amarillo que sirven como indicadores del funcionamiento de cada solenoide de inyector.

Estas están ubicadas en el circuito electrónico al costado de cada transistor. Su conexión se ha realizado de la siguiente manera: el ánodo del LED va conectado a una resistencia de $1K\Omega$, que a su vez se conecta con los 12V provenientes de la fuente. Y el cátodo se conecta con el drenador (drain) del transistor.

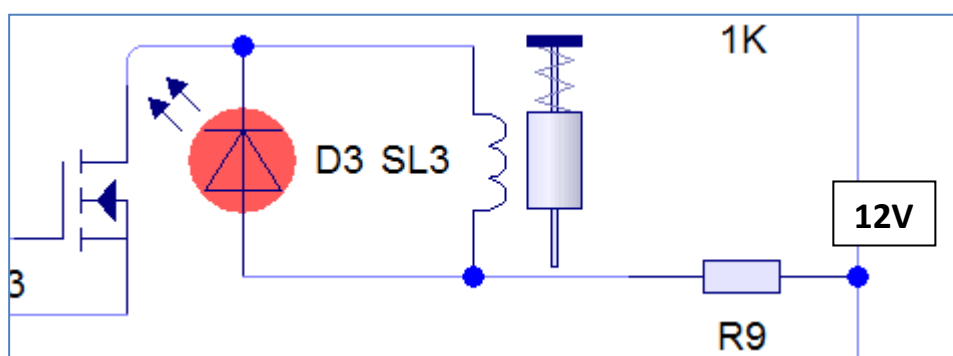


Figura. 2.45 Representación y Conexión LED en el Diagrama de Funcionamiento.

2.3.2.5. Arnés de cables.

El arnés de cables está compuesto básicamente por varios metros de cable automotriz #14. Solamente los sockets de inyector en sus terminales constan de cable #16. Este arnés está constituido por seis cables provenientes de uno de los extremos de cada conector de inyector, los cuales se unen para recibir alimentación de 12V de la fuente de voltaje. Están envueltos por tubo flexible corrugado de 3/4" y por medio de un conector macho tipo banana se conectan a la entrada de 12V positivos de la caja plástica que contiene el circuito.

Los otros seis cables que provienen del otro extremo de cada conector de inyector, por medio de terminales macho tipo banana, se conectan a la caja plástica donde está inmerso el circuito de inyectores. Estos cables se conectan cada uno con su respectivo transistor. También están envueltos en tubo flexible corrugado de 3/4". Los dos tubos corrugados se unen por medio de cinta adhesiva negra tape.

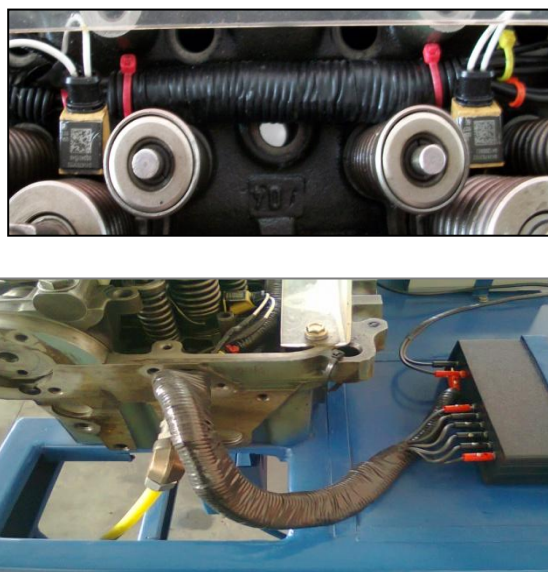


Figura. 2.46 Arnés de Cables del Banco de Inyección.

2.3.3. Funcionamiento del Circuito de Inyectores.

Después de la construcción del circuito, como se había mencionado que el valor de las resistencias calculadas iba a variar, se midió con un multímetro automotriz el periodo y ancho de pulso a la salida del primer temporizador, obteniéndose los valores deseados ($T = 89.5\text{ms}$ y $PW = 1.4\text{ms}$) regulando los potenciómetros a los siguientes valores: **$R_a = 9.51\text{K}\Omega$, $R_b = 120\Omega$ y $R = 1.04\text{K}\Omega$.**

Posteriormente para asegurar la sincronización entre la frecuencia de giro del árbol de levas y la frecuencia del circuito, se prendió el sistema, observándose la inyección discontinuada de los inyectores. Para esto fue necesario retrasar la frecuencia del circuito a **$f = 10.7\text{Hz}$** , equivalentes a un periodo de **$T = 93.4\text{ms}$** y un ancho de pulso **$PW = 2\text{ms}$** , que es el máximo permitido dentro de los parámetros de funcionamiento del inyector EUI N3. De esta manera se observó una secuencia correcta de inyección en el banco. A este periodo y ancho de pulso les corresponde las siguientes resistencias: **$R_a = 9.98\text{K}\Omega$, $R_b = 170\Omega$ y $R = 1.04\text{K}\Omega$.**

Con esta nueva frecuencia de sincronización podemos determinar la velocidad real a la cual gira el árbol de levas tomando en cuenta que por rozamiento y el peso de los componentes que conforman el sistema de distribución de engranajes y cadena, debe haber un giro menor al calculado en el momento de la construcción del piñón del árbol de levas. Por eso tenemos que:

$$\omega = 2\pi \times f = 2\pi \times 10.7\text{Hz}$$
$$\omega = 67.23 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \frac{1\text{rev}}{2\pi\text{rad}} \times \frac{60\text{s}}{1\text{min}} = \mathbf{642rpm}$$

El circuito de inyectores consta de un switch on-off que permite la activación o no del mismo. Antes de encender el motor eléctrico para que mueva el tren motriz del banco de inyección, y el árbol de levas accione por su giro los plungers de cada inyector, encendemos el circuito para que la frecuencia de funcionamiento esté lista.

El funcionamiento del circuito de inyectores es muy sencillo. Los 12V provenientes de la fuente de voltaje alimentan los integrados temporizadores y sus respectivos potenciómetros. Como se había mencionado anteriormente el primer NE555 astable genera en alta un tiempo de 91.4ms y en baja de 2ms, siendo el periodo total igual a 93.4ms. El tiempo en baja que corresponde al ancho de pulso máximo que deben tener los inyectores EUI N3 fue establecido a ese parámetro para poder observar de mejor manera la inyección de combustible, ya que a tiempos menores no es tan apreciable y requiere que las pruebas de inyección sean más prolongadas.

A continuación se presenta una imagen de esta señal tomada en el osciloscopio. Cabe señalar que cuando se capturó la imagen el ancho de pulso PW estaba calibrado a aproximadamente 1.6ms.

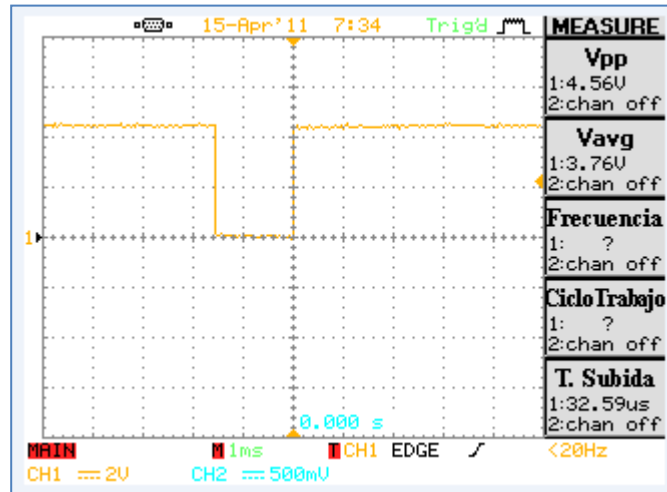


Figura. 2.47 Señal Generada por NE555-1 en un Osciloscopio; Ancho de pulso 1,6ms.

Esta señal pulsante ingresa al segundo integrado NE555 monostable en donde se invierte y retarda. Ahora tenemos que el tiempo en alta corresponde a los 2ms, y el tiempo en baja a los 91.4ms. Como se explicó anteriormente en la descripción de los circuitos integrados NE555 es necesario invertir la señal debido a que los transistores IRFP150N necesitan del tiempo mínimo de la frecuencia dada para conmutar la bobina del solenoide de inyector.

Es decir, este transistor por ser de canal N (negativo), necesita que ingrese en su compuerta “gate” una señal positiva, que es aquella que en alta proviene desde el temporizador. Si no se hiciera este paso, el solenoide de inyector estaría magnetizado los 91.4ms, y no los 2ms que se necesitan, lo cual ocasionaría el recalentamiento de la bobina por mucha corriente que lo atraviesa.

Así mismo, se presenta en el siguiente gráfico, la señal emitida por este circuito integrado en un osciloscopio. El PW está regulado a 1.6ms.

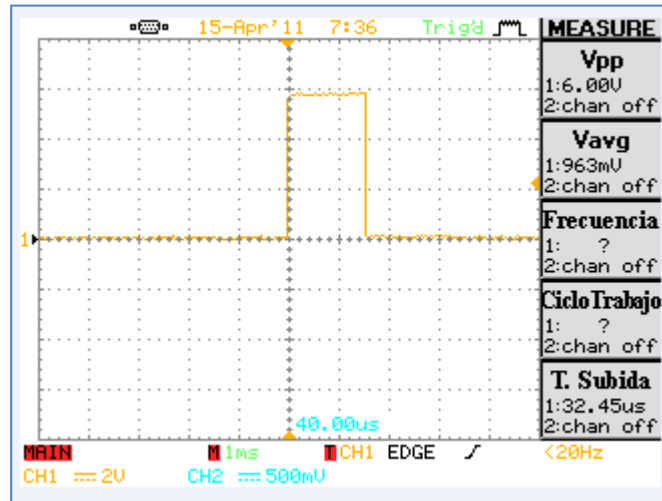


Figura. 2.48 Señal Generada por NE555-2 en un Osciloscopio; Ancho de pulso Invertido 1,6ms.

Finalmente esta señal se dirige a los 6 transistores conectados en paralelo que accionaran los solenoides de inyector. Por la compuerta “gate” de cada transistor IRFP150N entra la señal positiva de 12V a 2ms de duración. En el interior del transistor se conmuta la señal del temporizador monostable a la bobina de inyector. El inyector está alimentado con 12V positivos y el transistor cierra el circuito del inyector conectándolo a negativo o masa durante 2ms equivalentes al ancho de pulso PW.

La bobina de inyector al magnetizarse durante ese tiempo cierra la válvula de paso de combustible del solenoide de inyector para que se genere presión de inyección y se produzca la pulverización de combustible dentro de la probeta de cuantificación. Al des energizarse la bobina, se produce un pico de voltaje de aproximadamente 40V. Esta gráfica ha sido tomada también en un osciloscopio con un PW calibrado a 1.6ms como se presenta a continuación:

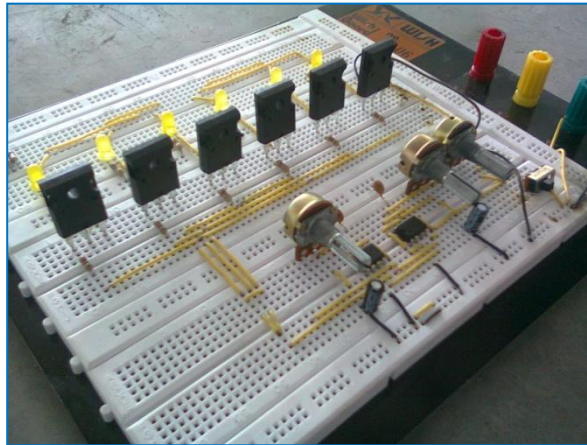


Figura. 2.50 Circuito Preliminar de Inyectores.

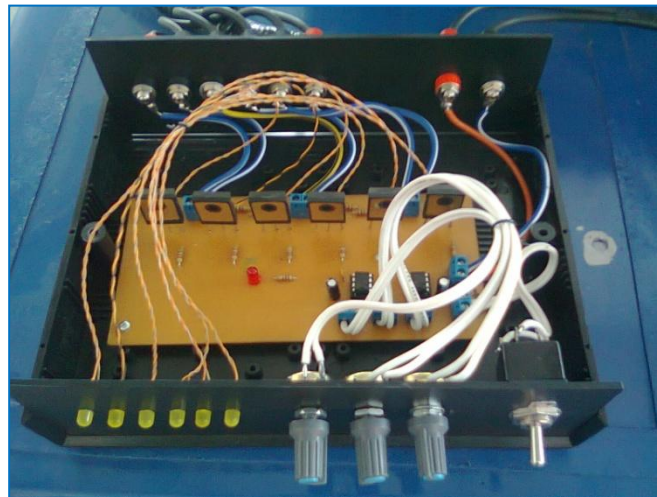


Figura. 2.51 Circuito Definitivo de Inyectores.



Figura. 2.52 Circuito de Inyectores y Fuente de Voltaje Instalados en el Banco de Inyección.

CAPÍTULO 3

PRUEBAS DE INYECCIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

3.1. PRUEBAS DE INYECCIÓN.

Se han realizado de manera concreta cinco pruebas de inyección, tomando en cuenta cinco puntos de calibración en los pernos de regulación de los inyectores del banco que se presenta.

La duración de cada prueba ha sido establecida en dos minutos (2min), tiempo que nos permite apreciar la inyección de combustible para poder cuantificarla y analizarla.

El punto de referencia que se ha tomado en cuenta para las pruebas, en sus distintas calibraciones ha sido el parámetro de calibración establecido por el fabricante de motores DDS60. Este parámetro indica que la manera de calibrar los inyectores de un DDS60 DDEC V es por medio de una presión determinada de ajuste en el perno de regulación del inyector, y la describimos a continuación en su procedimiento:

- Primeramente instalamos un reloj palpador en el rodillo seguidor del balancín de inyector, que va sobre la leva de inyector.

- Giramos el árbol de levas en sentido anti horario hasta observar que la manecilla o aguja del reloj palpador deja de moverse, ahí consideramos que la leva de inyector ha alcanzado su punto más alto en su recorrido.
- Se debe desajustar la tuerca que se enrosca en el perno de regulación, liberándola completamente.
- Con una llave hexagonal de 3/16" o 5/32" aflojamos completamente el perno de regulación, y lo volvemos a ajustar hasta sentir que este topa ligeramente el seguidor en el resorte del inyector.
- Tomamos el torque de inyectores y damos al perno un ajuste de 4.5N*m (40lbs-pulg).
- Tomamos nuevamente la llave hexagonal y regresamos 3/4 de vuelta al ajuste anterior.
- Finalmente ajustamos nuevamente la tuerca que va enroscada al perno de regulación, y hemos calibrado el inyector. Así continuamos con el siguiente inyector tomando en cuenta el orden de encendido que presenta el árbol de levas igual a 1-5-3-6-2-4.

Para mayor facilidad se ha observado que todo este procedimiento se traduce a un ajuste en el perno de regulación de 3 vueltas y un adicional de 3/4 de vuelta.

Claro que al realizar la calibración correcta se sigue el procedimiento que indica el fabricante. Pero se ha tomado como unidad de referencia para las pruebas de calibración 1 vuelta de ajuste en el perno de regulación, es por eso que las pruebas se han desarrollado a 0 vueltas, 1 vuelta, 2 vueltas, 3 vueltas y finalmente $3^{3/4}$ vueltas que corresponden a la calibración dada por el motor DDS60.

3.1.1. Prueba de Inyección # 1: 0 Vueltas de Calibración.

Para ajustar los pernos de regulación se ha seguido el procedimiento descrito anteriormente para calibración de inyectores. La diferencia está que al topar ligeramente el perno de regulación, se ha ajustado en seguida la tuerca que se enrosca en el mismo, de esta forma tenemos una calibración a 0 vueltas.

En la siguiente tabla detallaremos el volumen inyectado por cada inyector. Cabe recalcar, como se mencionó en el capítulo anterior, que el inyector # 2 y # 5 se encuentran quemados sus respectivos solenoides, por lo cual no han sido tomados en cuenta en las pruebas realizadas ya que simplemente no inyectan combustible.

Tabla 3.1 Resultados Calibración a 0 vueltas.

0 vueltas/ # Inyector	1	3	4	6	Total
Cm³	7	6	7	12	32

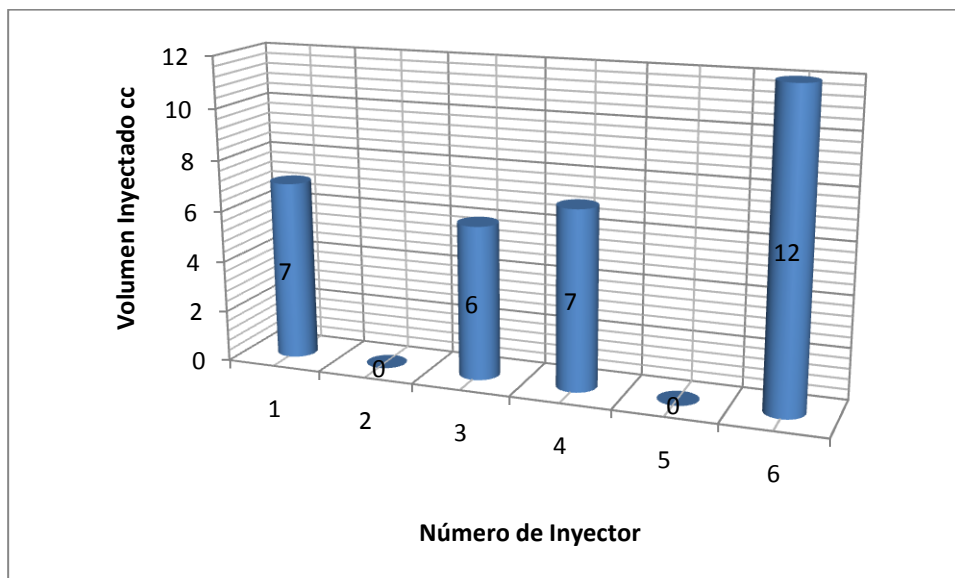


Figura. 3.1 Volumen Inyectado por cada Inyector a 0 vueltas de Calibración.

3.1.1.1. Análisis de Resultados de la Prueba de Inyección # 1.

Como se puede observar en la tabla y en la gráfica presentada, la pulverización de combustible no es tan uniforme entre inyectores durante la prueba de 2min.

El inyector que más combustible inyectó es el número 6 (12cm^3), y el que menos lo hizo es el número 3 (6cm^3). Los inyectores 1 y 4 presentan un volumen igual, mientras que el inyector 6 dobla en volumen pulverizado al número 3. En sí se ha observado que la calibración a 0 vueltas presentó irregularidad en cuanto al volumen inyectado por cada inyector.

Además el **promedio** de combustible inyectado por los 4 inyectores que están en funcionamiento es de 8cm^3 y su **media** de inyección es de 7cm^3 (para el cálculo de la media de inyección tomamos en cuenta solo el promedio de los valores medios, descartando el valor máximo y el valor mínimo). La diferencia es de 1cm^3 entre ambos parámetros calculados.

3.1.2. Prueba de Inyección # 2: 1 Vuelta de Calibración.

Para ajustar los pernos de regulación se ha seguido el procedimiento descrito anteriormente para calibración de inyectores. La diferencia está que al topar ligeramente el perno de regulación, a este se le ha dado un ajuste adicional de 1 vuelta. En la siguiente tabla detallaremos el volumen inyectado por cada inyector.

Tabla 3.2 Resultados Calibración a 1 vuelta.

1 vuelta/ # Inyector	1	3	4	6	Total
Cm³	9	7,5	9	14,5	40

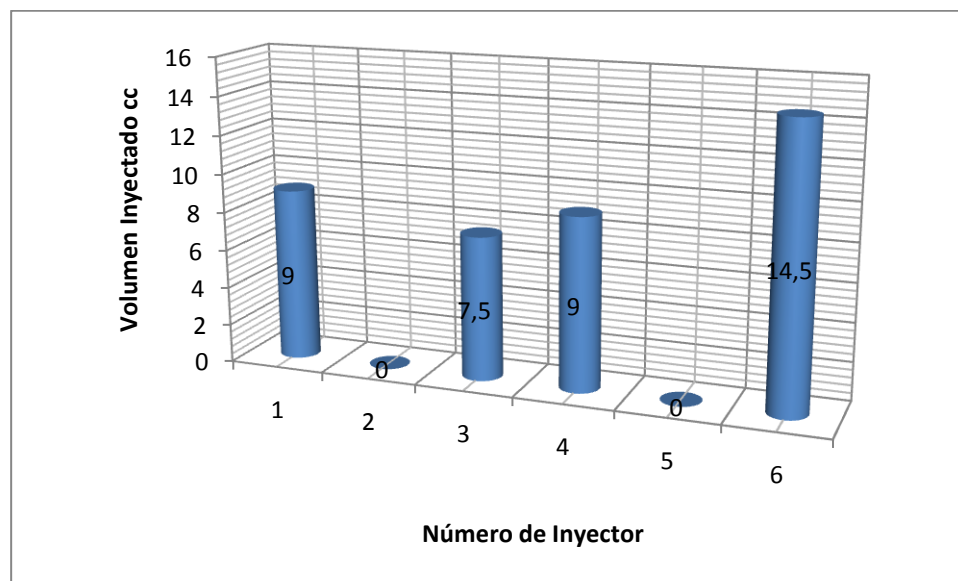


Figura. 3.2 Volumen Inyectado por cada Inyector a 1 vuelta de Calibración.

3.1.2.1. Análisis de Resultados de la Prueba de Inyección # 2.

Como en la prueba anterior, en esta calibración los inyectores arrojan volúmenes no muy uniformes en sus respectivas probetas. El inyector que más combustible inyectó es el número 6 (14,5cm³), y el que menos lo hizo es el número 3

nuevamente ($7,5\text{cm}^3$). Al igual que la prueba anterior los inyectores 1 y 4 pulverizaron la misma cantidad de combustible. Realmente se puede observar cierta irregularidad en los inyectores, sobretodo en el número 6 que inyecta sobre el **60%** más de diesel que los otros. Esta calibración generó en total mayor consumo de combustible que la anterior (**25%**).

El **promedio** de combustible inyectado por los 4 inyectores que están en funcionamiento es de **10cm^3** y su **media** de inyección es de **9 cm^3** (diferencia de **1cm^3** entre ambos cálculos). En comparación con la prueba anterior tenemos que tanto el promedio, como la media de inyección aumentaron en **2cm^3** aunque su diferencia se mantenga igual.

De forma parcial se podría considerar que esta calibración es menos eficiente que la anterior porque consume más combustible, pero aún se deben analizar las siguientes pruebas para determinar la más adecuada, o en sí comprobar que la sugerida por el fabricante es la mejor.

3.1.3. Prueba de Inyección # 3: 2 Vueltas de Calibración.

Para ajustar los pernos de regulación se ha seguido el procedimiento descrito anteriormente para calibración de inyectores. La diferencia está que al topar ligeramente el perno de regulación, a este se le ha dado un ajuste adicional de 2 vueltas. En la siguiente tabla detallaremos el volumen inyectado por cada inyector.

Tabla 3.3 Resultados Calibración a 2 vueltas.

2 vueltas/ # Inyector	1	3	4	6	Total
Cm³	8	8,5	9,5	15,5	41,5

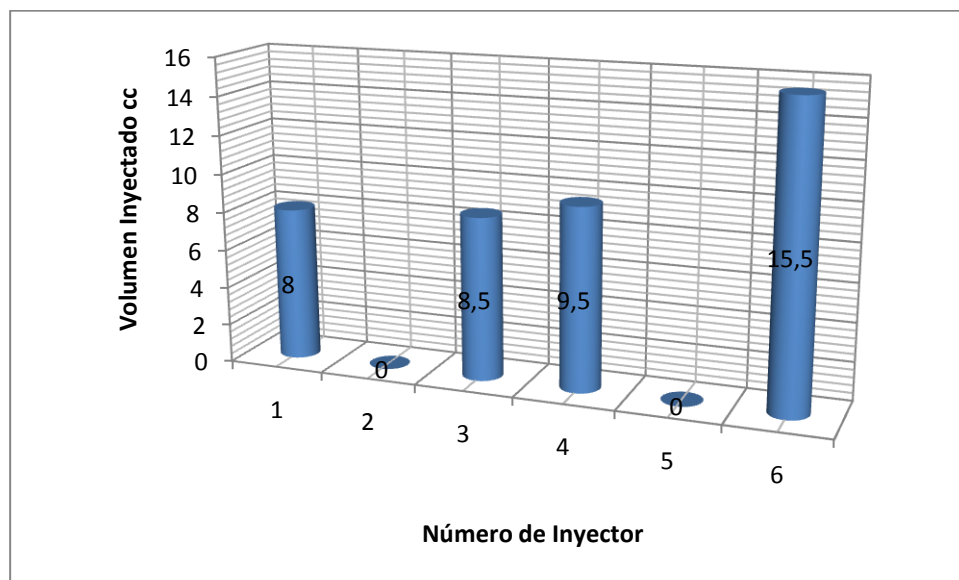


Figura. 3.3 Volumen Inyectado por cada Inyector a 2 vueltas de Calibración.

3.1.3.1. Análisis de Resultados de la Prueba de Inyección # 3.

Podemos apreciar una completa irregularidad en la pulverización de combustible de todos los inyectores con respecto al volumen que entregan. El inyector que más combustible inyectó es nuevamente el número 6, (15,5cm³), y el que menos lo hizo en esta ocasión es el número 1 (8cm³).

Se puede observar que en esta calibración hay menor regularidad o volúmenes parecidos entre inyectores. También se puede observar que el consumo de combustible, con respecto a la calibración anterior, se incrementó en el **3,75%**.

El **promedio** de combustible inyectado por los 4 inyectores que están en funcionamiento es de **10,4cm³** y su **media** de inyección es de **9cm³** (diferencia de **1,4cm³** entre ambos cálculos). Esta calibración incrementó más el consumo de combustible.

En sí esto nos da a suponer que un vehículo calibrado de esta manera va a provocar un posible recalentamiento del motor por un exceso de diesel que ingresa a la cámara de combustión.

3.1.4. Prueba de Inyección # 4: 3 Vueltas de Calibración.

Para ajustar los pernos de regulación se ha seguido el procedimiento descrito anteriormente para calibración de inyectores. La diferencia está que al topar ligeramente el perno de regulación, a este se le ha dado un ajuste adicional de 3 vueltas. En la siguiente tabla detallaremos el volumen inyectado por cada inyector.

Tabla 3.4 Resultados Calibración a 3 vueltas.

3 vueltas/ # Inyector	1	3	4	6	Total
Cm³	9,5	9	10	14	42,5

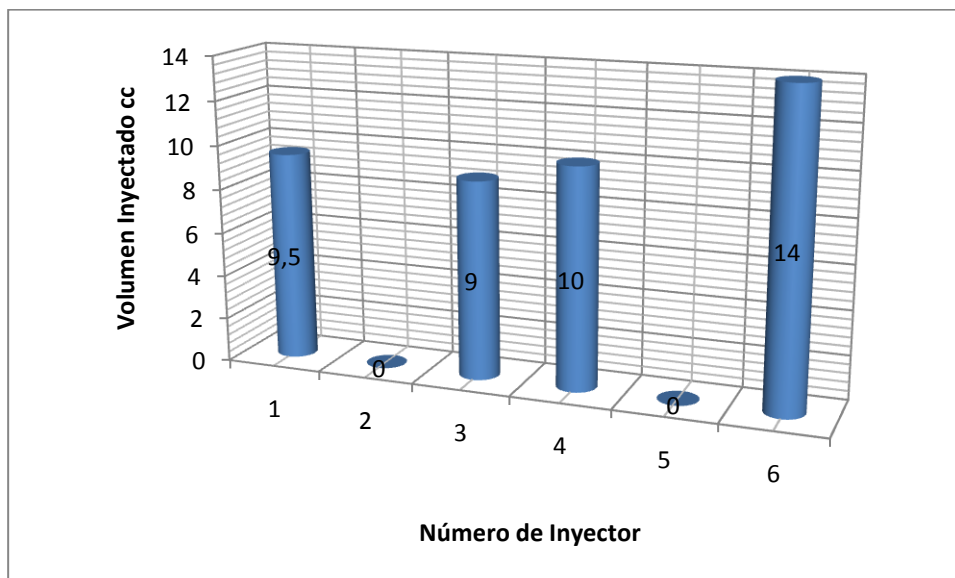


Figura. 3.4 Volumen Inyectado por cada Inyector a 3 vueltas de Calibración.

3.1.4.1. Análisis de Resultados de la Prueba de Inyección # 4.

En esta calibración se ha estabilizado de cierta forma la inyección tomando en cuenta la diferencia entre el volumen mayor y menor (5cm^3) que han pulverizado los inyectores, sin embargo aún tenemos volúmenes irregulares y diferentes. Nuevamente el inyector 3 aparece como el que menos combustible ha pulverizado (9cm^3), y el que más volumen presenta sigue siendo el inyector número 6 (14cm^3).

El consumo de combustible en esta prueba es el más alto y ha incrementado su valor en un **2,4%** con respecto a la calibración anterior. Por medio de esta calibración se podría asumir que el vehículo tiene una mejor respuesta de inyección por la mayor regularidad que presentan los inyectores, sin embargo se va a dar definitivamente el fenómeno de recalentamiento del motor por el consumo excesivo de combustible.

El **promedio** de combustible inyectado por los 4 inyectores que están en funcionamiento es de **10,6cm³** y su **media** de inyección es de **9,7 cm³** (diferencia de **0,9cm³** entre ambos cálculos). Estos valores se presentan como los más altos en comparación con las pruebas anteriores.

3.1.5. Prueba de Inyección # 5: 3^{3/4} Vueltas de Calibración.

Para ajustar los pernos de regulación, se ha seguido el procedimiento descrito anteriormente para calibración de inyectores tal como indica el fabricante, utilizando el método que se ha detallado en este mismo trabajo escrito.

Para resumir, al topar el perno de regulación al seguidor del inyector, damos un ajuste de 4.5N*m con el torquímetro de pluma, después regresamos 3/4 de vuelta y aseguramos la tuerca del perno.

Recordemos que este procedimiento equivale a 3^{3/4} vueltas de ajuste en el perno de regulación, es por eso que manejamos este número para esta prueba de calibración. En la siguiente tabla detallaremos el volumen inyectado por cada inyector.

Tabla 3.5 Resultados Calibración a 3^{3/4} vueltas.

3^{3/4} vueltas/ # Inyector	1	3	4	6	Total
Cm³	8	7	8,5	15	38,5

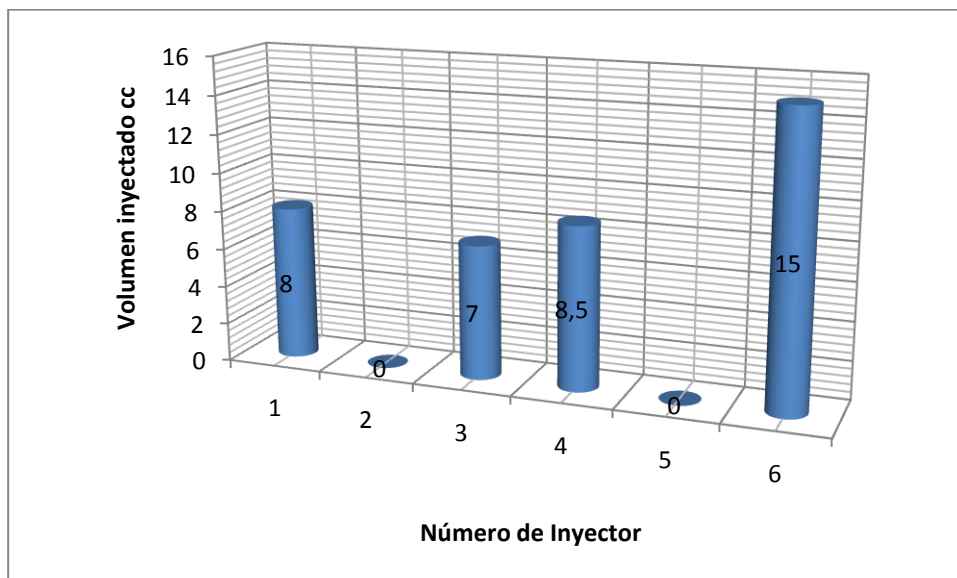


Figura. 3.5 Volumen Inyectado por cada Inyector a $3\frac{3}{4}$ vueltas de Calibración.

3.1.5.1. Análisis de Resultados de la Prueba de Inyección # 5.

En esta calibración final recomendada por fabricante, se puede apreciar que la pulverización de combustible de los 4 inyectores sigue siendo irregular durante la prueba de 2min que se realiza.

El volumen de combustible entre cada probeta tiene mayor variación con respecto a la calibración anterior, es decir la inyección de combustible ha perdido la relativa estabilidad que alcanzó en la prueba de 3 vueltas de ajuste en el perno de regulación. Lo que es significativo, es que el consumo de combustible disminuyó en un **9,4%** en relación a la última prueba, lo que equivale a **120cm³** menos de diesel durante 1hora proyectada.

El inyector número 3 aparece como el que menos combustible ha pulverizado (7cm³), y el que más volumen presenta en esta ocasión es nuevamente el inyector número 6 (15cm³). Se puede ver que la diferencia entre estos dos es de

8cm³ que representan la mayor diferencia en cuanto a este parámetro en las pruebas realizadas. En relación con las 4 pruebas anteriores, estos inyectores son los que inyectan menos y más diesel respectivamente.

El **promedio** de combustible inyectado por los 4 inyectores que están en funcionamiento es de **9,6cm³** y su **media** de inyección es de **8,3 cm³** (diferencia de **1,3cm³** entre ambos cálculos). Estos valores demuestran que esta calibración en definitiva es la segunda más económica, siendo superada únicamente por la de 0 vueltas.

3.1.6. Análisis General y Conclusiones de las Pruebas de Calibración.

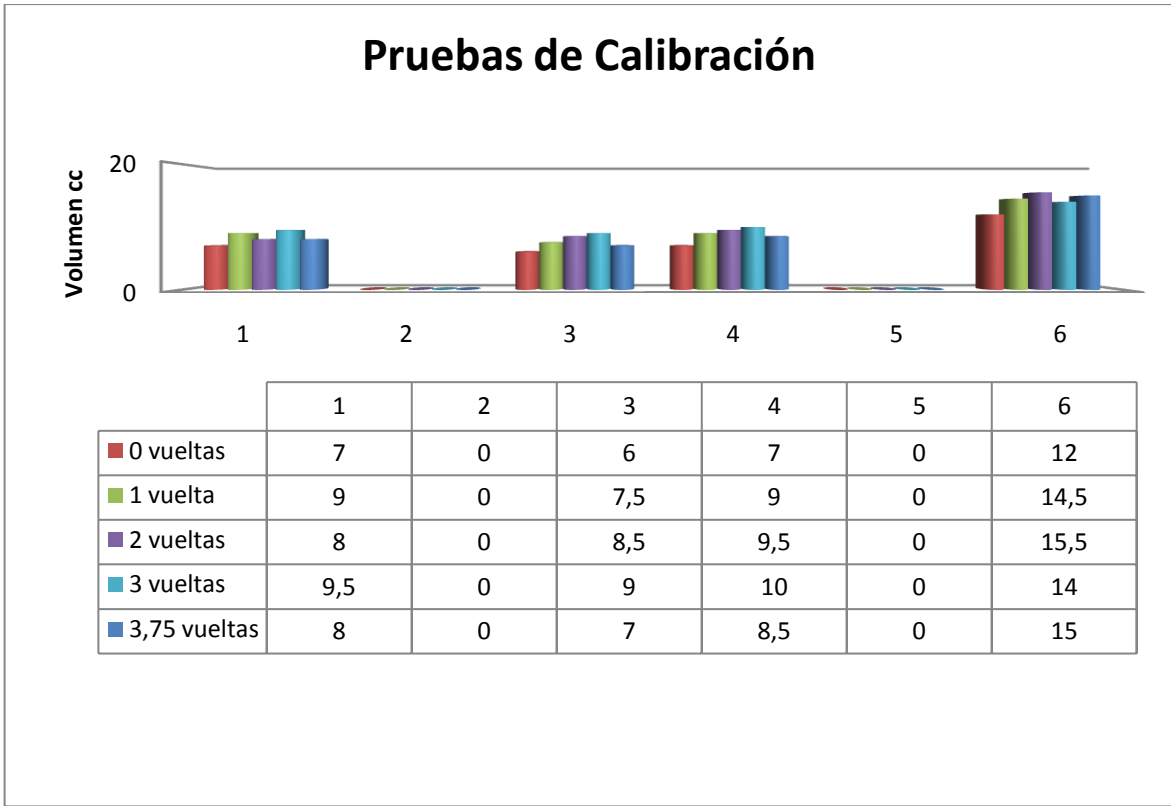


Figura. 3.6 Volumen Inyectado por cada Inyector en las Pruebas de Calibración.

El hecho de ser inyectores que trabajaron en motores DDS60 cuya tecnología DDEC V era incompatible con la calidad de combustible que circula en nuestro país, influyó para que se generaran códigos de falla que incidieron en su estado mecánico (exceso de hollín por taponamiento de la válvula EGR y combustiones incorrectas en los cilindros).

El óxido en el interior de los inyectores durante varios años en el cabezote del motor retirado sin duda ha afectado también al desempeño y funcionamiento de los mismos en el banco de inyección que se presenta.

En cuanto al volumen pulverizado por los inyectores, la prueba de calibración que inyectó menos combustible fue la de 0 vueltas (32cm^3), y la que más consumo de diesel presentó fue la calibración a 3 vueltas ($42,5\text{cm}^3$). Tenemos como la más económica después de la de 0 vueltas a la calibración recomendada por fabricante que inyectó $38,5\text{cm}^3$ de diesel. Las otras dos calibraciones están por encima de esta (1 vuelta 40 cm^3 y 2 vueltas $41,5\text{cm}^3$) y tienen en común una inyección bastante irregular con respecto a los volúmenes arrojados por cada inyector.

Lo más lógico es pensar que la prueba de calibración que produjo menor consumo de combustible (0 vueltas) es la que se debería aplicar a un motor real, pero la mejor calibración sigue siendo la que recomienda fabricante, aun siendo menos económica que la mencionada, y las conclusiones a las que se llegó en el análisis de los resultados para confirmar esto, son las siguientes:

- Cuando el consumo de combustible en un motor diesel de las características del DDS60 es pobre, se produce el fenómeno de recalentamiento del turbocompresor, debido a que la falta de potencia ocurrida en la cámara de combustión por la carencia de combustible, hace que el conductor apriete el pedal del acelerador, incrementando las revoluciones del motor, lo que se traduce en un esfuerzo adicional del turbo para comprimir mayor cantidad de aire e ingresarla al interior de los cilindros y abastecer la exigencia de la carga que lleva el vehículo.

Esto lo registra el módulo electrónico y ordena al ancho de pulso de los inyectores que esté al máximo todo el tiempo, lo que a la larga significa un mayor consumo de combustible, aun comprobando inicialmente en el banco construido que la cantidad de combustible era la menor.

- Ahora al contrario, cuando hay un exceso de pulverización de combustible por parte de los inyectores, en el interior de la cámara de combustión se genera la potencia necesaria para el vehículo y las exigencias de carga que requiera, pero la temperatura creada es demasiado alta. Esto hace que los gases de escape al salir por el múltiple, lo recalienten y lo tornen de un color azulado. Este exceso de temperatura afecta a todo el motor y provoca un desgaste prematuro de piezas por la fuerza de detonación del diesel en la cámara de combustión y la fricción ocasionada por la dilución del lubricante.

- En cambio en el consumo que observamos en la calibración que recomienda el fabricante, obtenemos una combustión completa y potente, y la temperatura del motor permanece en los parámetros correctos de funcionamiento. Esto a la larga produce menor consumo de combustible en un motor real DDS60 con relación a las pruebas hechas en el banco, porque el motor no tiene que sobre revolucionarse por falta de potencia, y el módulo trabaja con un ancho de pulso de acuerdo a la carga establecida en sus parámetros, sin necesidad de corregirlo por descompensaciones en el funcionamiento.

En el gráfico que se muestra a continuación se presenta el consumo de combustible total de los 4 inyectores en las distintas calibraciones probadas, y su proyección a 1 hora de tiempo de inyección.

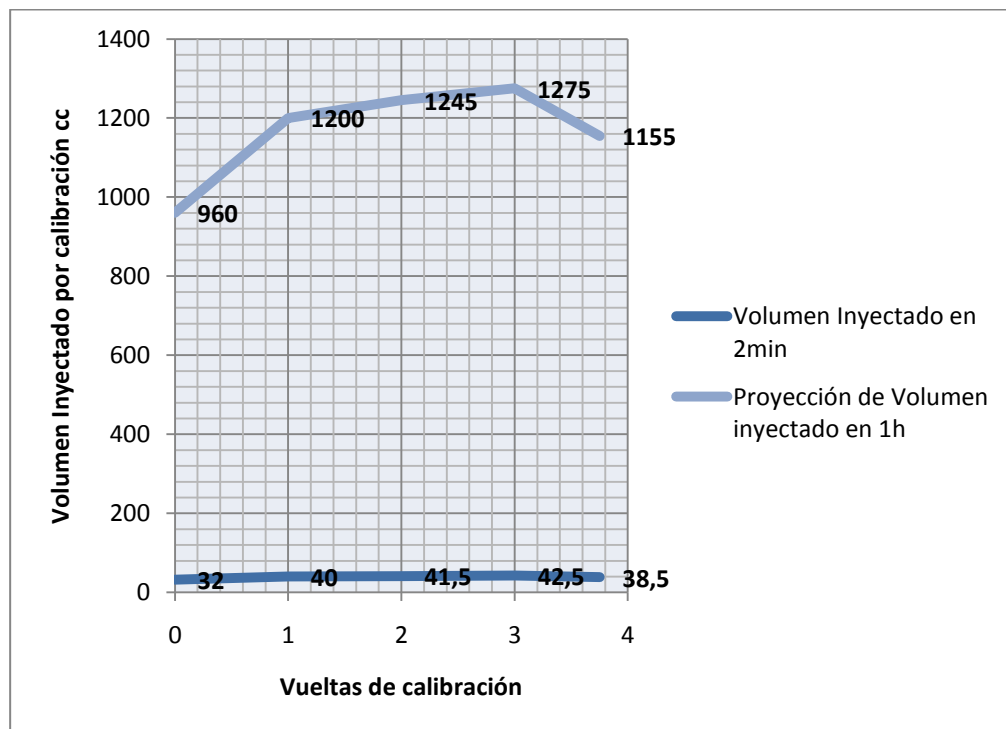


Figura. 3.7 Volumen Total Inyectado en cada Prueba de Calibración y su Proyección a 1 minuto.

3.2. ANALISIS DE INYECTORES.

Después de conocer que los inyectores necesitan de una limpieza, de un recambio en algunas de sus piezas internas, y de un reajuste de la presión interna en un banco de inyección que la regule, se va a analizar por medio de algunos gráficos cuál de ellos es el que se encuentra en mejor estado, al margen de que todos necesiten ser revisados y reparados.

3.2.1. Análisis del Inyector # 1.

Tabla 3.6 Resultados Volumen Inyectado Inyector 1.

Calibración (vueltas)	0	1	2	3	3 ^{3/4}	Total
Cm ³	7	9	8	9,5	8	41,5

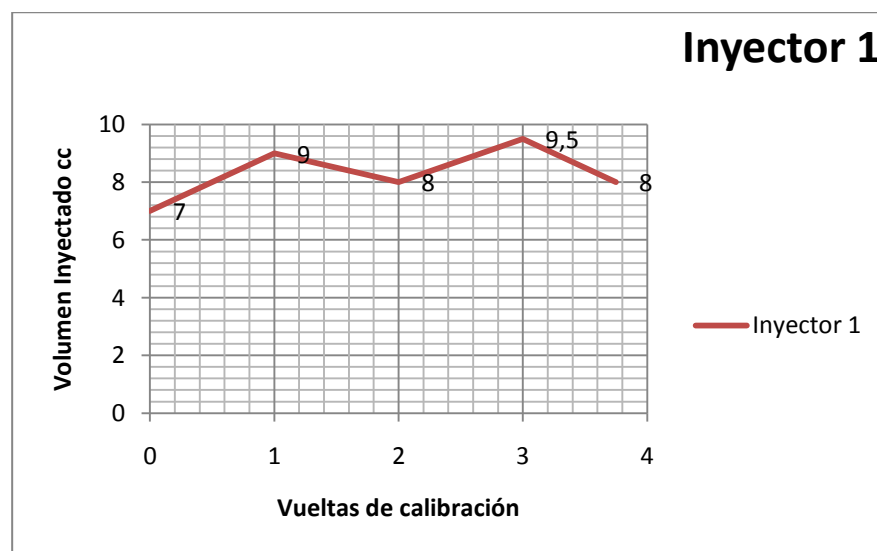


Figura. 3.8 Volumen Inyectado en cada Prueba de Calibración por el Inyector 1.

En este inyector se puede apreciar que la calibración recomendada por el fabricante, generó un volumen de pulverización intermedio en el inyector respecto

a las otras calibraciones probadas. El pico de inyección lo tenemos en la calibración de 3 vueltas (9,5cm³), y el menor consumo fue en la calibración de 0 vueltas de ajuste (7cm³). El rango entre los puntos extremos de inyección que se acaban de exponer es de 2,5cm³.

Este inyector ha pulverizado en todas las pruebas un total de 41,5cm³. El **promedio** de combustible inyectado por este inyector en las 5 pruebas de calibración es de **8,3cm³** y su **media** de inyección es de **8,3 cm³** (diferencia de **0cm³** entre ambos cálculos). Tomando en cuenta estos parámetros de referencia, se puede apreciar una regularidad aparente en la pulverización del inyector # 1.

3.2.2. Análisis del Inyector # 3.

Tabla 3.7 Resultados Volumen Inyectado Inyector 3.

Calibración (vueltas)	0	1	2	3	3 ^{3/4}	Total
Cm ³	6	7,5	8,5	9	7	38

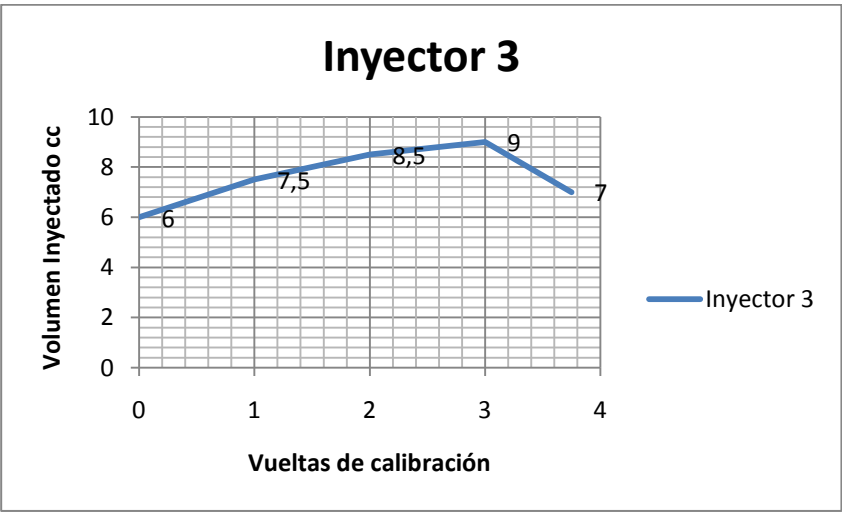


Figura. 3.9 Volumen Inyectado en cada Prueba de Calibración por el Inyector 3.

En este inyector se puede apreciar que la calibración recomendada por el fabricante, generó un volumen de pulverización por debajo del intermedio. El pico de inyección lo tenemos en la calibración de 3 vueltas (9cm^3), y el menor consumo fue en la calibración de 0 vueltas de ajuste (6cm^3) como en el caso anterior. El rango entre los puntos extremos de inyección es de 3cm^3 .

En este inyector se aprecia un consumo total de 38cm^3 , lo que equivale a un decremento del **8,4%** en el volumen total inyectado por el anterior inyector.

Su **promedio** de combustible pulverizado en las 5 pruebas de calibración es de **$7,6\text{cm}^3$** y su **media** de inyección es de **$7,7\text{ cm}^3$** (diferencia de **$0,1\text{cm}^3$** entre ambos cálculos). En comparación con el inyector # 1, podemos darnos cuenta en la gráfica de este inyector, que el consumo de combustible va en relación al comportamiento de consumo total que mostraron las pruebas de calibración. Es decir que a 0 vueltas la pulverización fue la menor, a 3 vueltas fue la mayor, la recomendada por fabricante es la más eficiente según lo expuesto en el análisis general de las pruebas de calibración y a 1 vuelta y 2 vueltas el consumo aumenta. La pulverización de diesel, en el promedio disminuyó el **8,4%**, y la media disminuyó en un **7,2%**.

Aparentemente se podría decir que este inyector al ser el que menos diesel consume, es el que está en mejor estado, pero no lo podemos asegurar hasta analizar la regularidad de inyección de los otros inyectores.

3.2.3. Análisis del Inyector # 4.

Tabla 3.8 Resultados Volumen Inyectado Inyector 4.

Calibración (vueltas)	0	1	2	3	3 ^{3/4}	Total
Cm ³	7	9	9,5	10	8,5	44

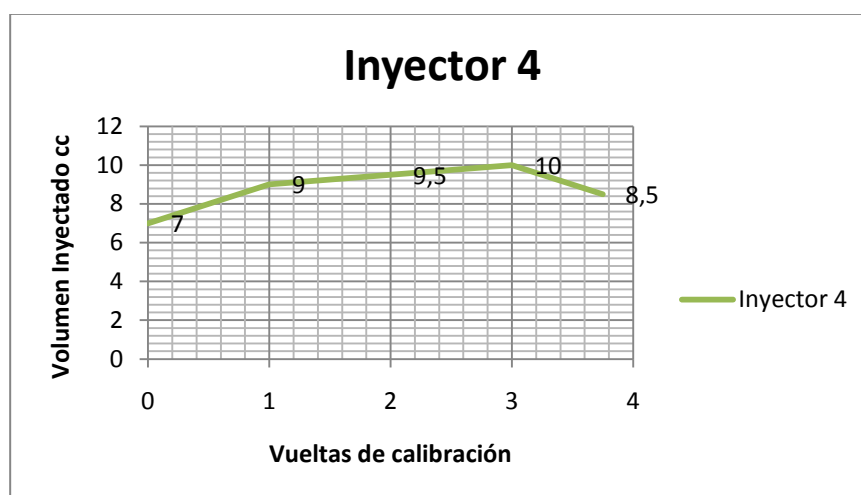


Figura. 3.10 Volumen Inyectado en cada Prueba de Calibración por el Inyector 4.

Aquí la calibración recomendada por el fabricante, generó también el segundo menor volumen de pulverización respecto a las otras calibraciones probadas. El pico de inyección lo tenemos en la calibración de 3 vueltas (10cm³), y el menor consumo fue en la calibración de 0 vueltas de ajuste (7cm³). El rango entre los puntos extremos de inyección es de 3cm³.

En este inyector se aprecia un consumo total de 44cm³, lo que equivale a un incremento del **15,8%** en el volumen inyectado con respecto al último inyector analizado.

El **promedio** de combustible inyectado en las 5 pruebas de calibración es de **8,8cm³** y su **media** de inyección es de **9cm³** (diferencia de **0,2cm³** entre ambos cálculos). La pulverización de combustible de este inyector repite la forma de curva dibujada por el anterior inyector, lo que indica que cumple el comportamiento observado en el consumo total de diesel durante las pruebas de calibración. El promedio de inyección aumentó en un **15,8%**, y en la media de inyección aumentó un **16,9%**.

3.2.4. Análisis del Inyector # 6.

Tabla 3.9 Resultados Volumen Inyectado Inyector 6.

Calibración (vueltas)	0	1	2	3	3 ^{3/4}	Total
Cm ³	12	14,5	15,5	14	15	71

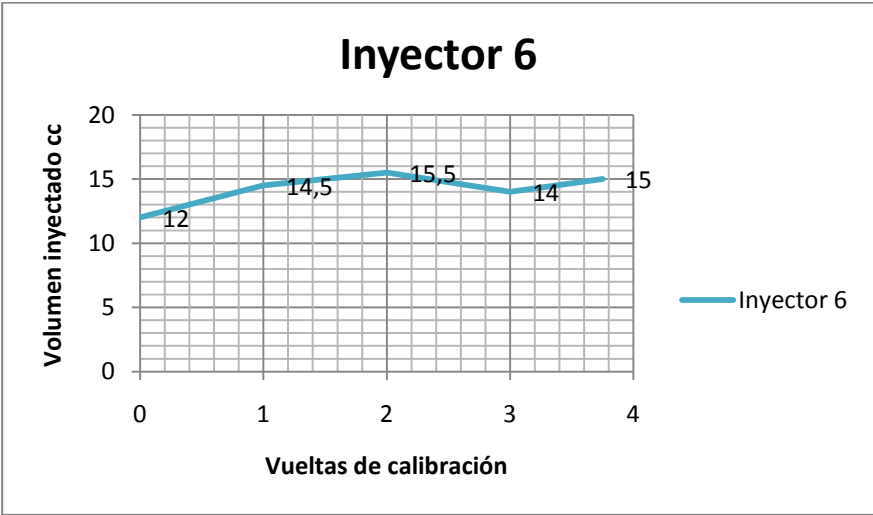


Figura. 3.11 Volumen Inyectado en cada Prueba de Calibración por el Inyector 6.

En este inyector podemos apreciar que la calibración recomendada por fabricante es la segunda más alta respecto a las otras calibraciones probadas. El pico de

inyección lo tenemos en la calibración de 2 vueltas ($15,5\text{cm}^3$), y el menor consumo fue en la calibración de 0 vueltas de ajuste (12cm^3). El rango entre los puntos extremos de inyección es de $3,5\text{cm}^3$, que en comparación con los otros inyectores es el más alto.

Este inyector es el que presenta mayor consumo de combustible, y muy por encima de los otros, su volumen total de inyección es de 71cm^3 , lo que representa un incremento de diesel pulverizado del **61,4%** respecto al anterior inyector.

El **promedio** de combustible inyectado en las 5 pruebas de calibración es de **$14,2\text{cm}^3$** y su **media** de inyección es de **15 cm^3** (diferencia de **$0,8\text{cm}^3$** entre ambos cálculos). Es un inyector que presenta la peor estabilidad de inyección y es el que pulveriza combustible de forma excesiva. En el promedio de inyección, comparando los resultados del último inyector analizado, hubo un incremento del **61,4%**, y en la media de inyección del **66,7%**.

Definitivamente este inyector requiere de una reparación interna para poder inyectar menor volumen de combustible.

3.2.5. Conclusiones del Análisis de los 4 Inyectores del Banco de Inyección.

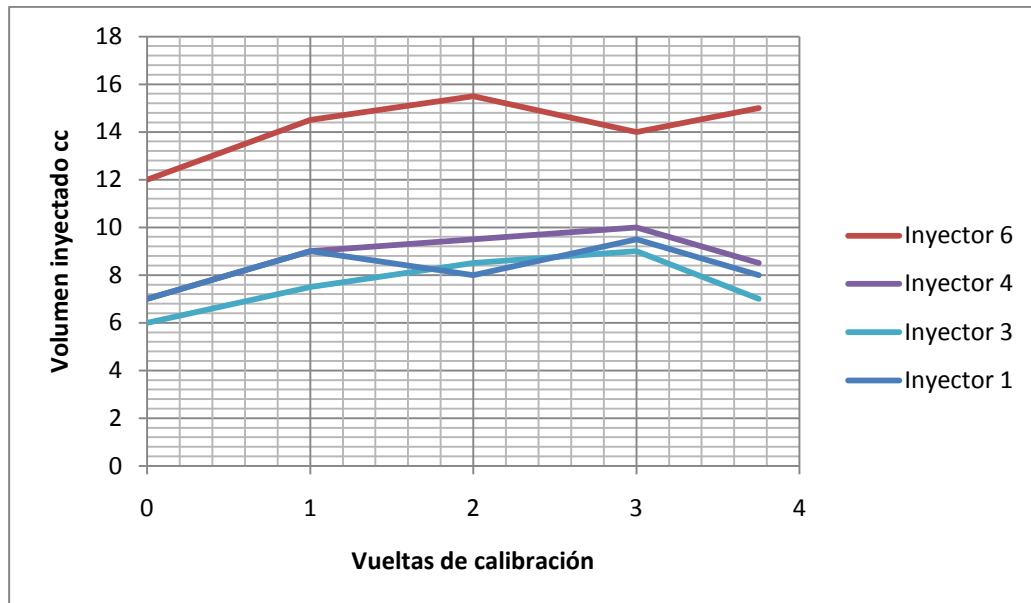


Figura. 3.12 Curvas de Inyección de todos los Inyectores.

- Según el análisis donde se comprueba y concluye que la calibración dada por fabricante es la más eficiente, y que ésta es la segunda menor en consumo total de combustible dentro de las pruebas de calibración, tenemos que los inyectores 3 y 4 cumplen con que la cantidad de diesel pulverizada es la segunda menor en este ajuste dado a los pernos de regulación.
- En todos los inyectores el menor consumo de combustible fue dado a las 0 vueltas de calibración, y el mayor consumo fue dado a las 3 vueltas de calibración, con excepción del inyector # 6 que presentó el mayor consumo en la calibración de 2 vueltas de ajuste.

- El inyector que presenta menor variación volumétrica entre el pico más alto de consumo y el más bajo inyectado es el número 1 con $2,5\text{cm}^3$ de rango.
- El inyector más económico de todos en la cantidad de diesel pulverizado durante las 5 pruebas de calibración es el número 3 con 38cm^3 . En cambio el que más combustible inyectó es el número 6 con 71cm^3 . Este inyector se encuentra fuera del rango de inyección observado en los otros inyectores, y necesita de una reparación completa por dentro. Lo más probable es que tenga un desgaste excesivo en el plunger, demasiada suciedad o el resorte interno de la punta se encuentre en mal estado y demora en retornar la aguja a su respectivo asiento, provocando una inyección exagerada.
- La curva mostrada en el consumo total de combustible por cada calibración, tiene el mismo comportamiento que las curvas características presentadas por el inyector 3 y 4.
- Los inyectores que presentan mayor estabilidad de pulverización con respecto al promedio de inyección y a la media inyectada por cada uno, es el número 1 y el número 3 con 0cm^3 y $0,1\text{cm}^3$ respectivamente en la diferencia de estos valores calculados.
- De acuerdo a lo dicho anteriormente el inyector más regular, de mejor comportamiento durante las pruebas de calibración, mayor estabilidad y que refleja un mejor estado interior, es el número 3.

A continuación se presentan algunos gráficos que muestran el comportamiento de cada inyector según los valores promediados y el total inyectado. Cabe destacar que las curvas mostradas en el promedio y media de inyección tienen el mismo patrón gráfico que la curva mostrada por el volumen inyectado en la calibración recomendada por fabricante ($3^{3/4}$ vueltas de ajuste). Además si observamos los valores inyectados en esta calibración son los más cercanos a los mostrados en el promedio y media de cada inyector.

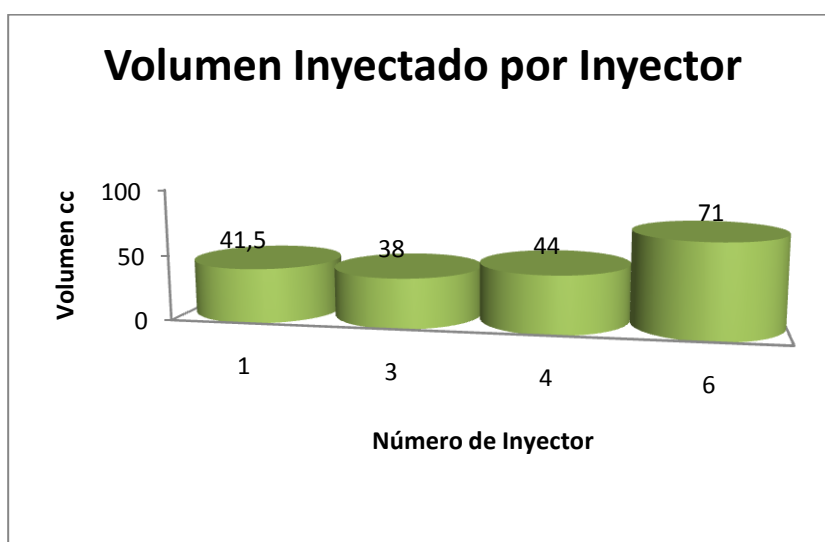


Figura. 3.13 Volumen Total Inyectado por cada Inyector.

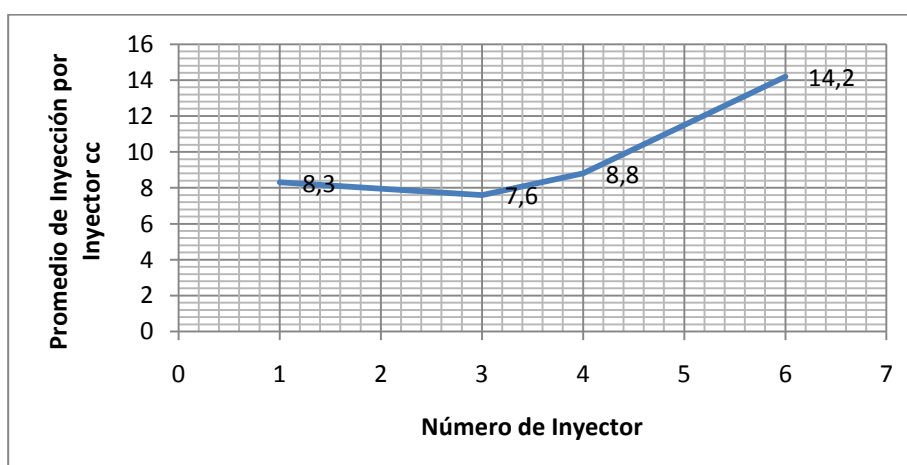


Figura. 3.14 Promedio de Inyección.

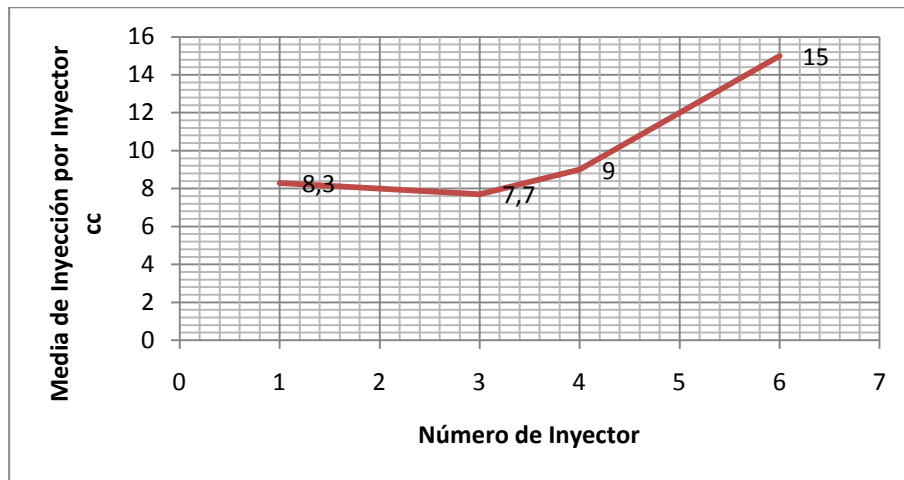


Figura. 3.15 Media de Inyección.

3.3. CONCLUSIONES.

Las conclusiones a las que se ha llegado en este proyecto van relacionadas esencialmente con los objetivos planteados al comienzo de este trabajo escrito. Con el fin de determinar el cumplimiento de los mismos durante el desarrollo del diseño y construcción de este banco de inyección a diesel. A continuación se las presenta:

- En cuanto al diseño y construcción de este banco de inyección, ha sido un éxito su culminación ya que se ha podido mostrar de forma didáctica el funcionamiento del sistema de inyección de un motor diesel tipo bomba-inyector de servicio pesado que circula en las carreteras de nuestro país. Además cuenta con partes originales, que al margen de haber sido usadas y tengan cierto desgaste, han permitido simular el sistema de inyección de combustible del motor DDS60.

- El circuito electrónico de inyectores diseñado y construido en este banco de inyección cumple con la función principal de enviar pulsos eléctricos a los solenoides de inyector, logrando que estos permitan el paso de combustible y su pulverización. Sin embargo no tiene el orden de encendido que se planteó en un principio debido a que el circuito integrado secuenciador que nos permitía hacer esto afectaba directamente la frecuencia de inyección lograda en los temporizadores NE555. Por este motivo fue necesario trabajar con un solo banco de transistores que reciben la corriente pulsante emitida por estos osciladores. Por otro lado fue posible variar el ancho de pulso PW dentro del parámetro establecido de 0.8ms a 2ms. Sin embargo se ha regulado el circuito al ancho de pulso de mayor magnitud para poder apreciar la inyección de combustible y acortar un poco el tiempo establecido en cada prueba de calibración para el análisis de la dosificación del diesel. Es decir las pruebas de inyección han sido ejecutadas simulando plena carga en el motor de acuerdo al pulso inyectado. Tomemos en cuenta que el PW depende de la carga del motor mas no de las revoluciones a las que gira. En cuanto a la sincronización entre la frecuencia de giro del árbol de levas y la emitida por el circuito, por medio del uso de uno de los potenciómetros, se logró obtener una inyección secuenciada y en relación al accionamiento de las levas de inyector sobre los plungers de inyector.
- El sistema de distribución de engranajes del banco de inyección, por ser una adaptación proveniente del sistema de transmisión por cadena de una bicicleta montañera, presentó varios problemas hasta lograr su

funcionamiento. Fue necesario la fabricación de un piñón para el árbol de levas con el fin de decrementar la velocidad de giro que se tenía, la misma que ocasionó ciertos daños por la falta de respuesta en la lubricación de los bujes de balancines (Esto fue antes de realizarles las perforaciones que resolvieron el inconveniente y permitieron la lubricación directa hacia los bujes). Además esta velocidad estaba por encima de los parámetros reales de funcionamiento de un motor DDS60. La variación de velocidades en el banco tampoco pudo hacerse efectiva ya que la cadena no soportaba revoluciones tan altas de giro. Todo esto influyó para que se diseñara un sistema de distribución que gire únicamente a 700rpm calculadas teóricamente y convertidas en 642rpm de giro real que son equivalentes a una velocidad media en el árbol de levas de un motor real DDS60.

- El tiempo de duración de cada prueba de inyección realizada fue establecido en 2 minutos. De esta forma se pudo cuantificar el combustible almacenado en las probetas. Si el tiempo de prueba era menor, la cantidad de diesel pulverizada por los inyectores iba a ser mínima, impidiendo realizar un comparativo entre las distintas calibraciones ajustadas en las pruebas. El tiempo establecido para las pruebas también exigió de un sistema de enfriamiento para la cadena, ya que por el rozamiento de ésta con los piñones, y al estar completamente templada, se producía un calentamiento excesivo que causaba gran dilatación y posibles roturas.
- Definitivamente el funcionamiento del grupo de inyectores probados y analizados es muy irregular. El hecho de haber pulverizado erróneamente

por el taponamiento de la válvula EGR del motor en el que se montaban, y los códigos de falla generados por este mismo problema a través de las lecturas del ECM DDEC V, provocaron combustiones anormales que afectaron en su estado interno. Así mismo el óxido interno de varios años sin ser utilizados merma su desempeño.

- El análisis hecho en las pruebas de calibración determinaron que la calibración de inyectores recomendada por el fabricante tiene un consumo de combustible por debajo al intermedio respecto al resto de pruebas. Sin embargo se pudo concluir desde el mismo análisis que en un motor real DDS60, esta calibración genera una respuesta más eficiente en su funcionamiento, lo cual representa un menor consumo de combustible en cualquier trayecto o recorrido del vehículo.
- El diseño de este banco de inyección permite visualizar perfectamente la pulverización de combustible dentro de las probetas de almacenamiento y cuantificación. De esta manera se puede entender la alta presión de inyección que se provoca en el interior de los cilindros de un motor real DDS60.

3.4. RECOMENDACIONES

- Para poder simular desde el circuito electrónico el orden de encendido se sugiere rediseñar el circuito con un microprocesador PIC que reemplaza los temporizadores NE555. Así también se podría programar la frecuencia de inyección, el orden de disparo de los inyectores y el Ancho de Pulso de

los mismos que podría variar automáticamente y no manualmente como en el circuito actual. Por otro lado se podría adaptar un sensor inductivo al piñón del árbol de levas para comandar la secuencia de inyección y simular de manera más real el sistema electrónico que opera un módulo DDEC IV o DDEC V.

- Con respecto al sistema de distribución de engranajes se podría adaptar los piñones, catalinas y cadena de una motocicleta, debido a su mayor resistencia a la carga y velocidad. Adicionalmente para tener variación de velocidad se debería instalar un motor eléctrico con una caja de reducción para poder tener diferentes regímenes de revoluciones, y por ende mayores posibilidades para hacer pruebas de inyección. Claro está que esta adaptación tendría un costo sumamente alto.
- Como una mejora a este diseño se podría añadir un sistema de filtrado de combustible. Esto siempre y cuando la restricción del filtrado en la circulación del combustible, no genere demasiada presión que afecte el libre giro del motor eléctrico que propulsa todo el tren mecánico.
- Otra mejora sería conseguir y colocar un manómetro de presión exclusivo de combustible para registrar la presión en el sistema de alimentación de diesel. Este se instalaría justamente donde está ubicado el actual manómetro.

ANEXOS

Anexo 1 “Montaje de Elementos en la Estructura Metálica”



Montaje del Cabezote sobre la Estructura Metálica



Conjunto del Cabezote Armado (Árbol de Levas, Conjunto de Balancines e Inyectores)



Montaje del Motor Eléctrico en la Estructura Metálica



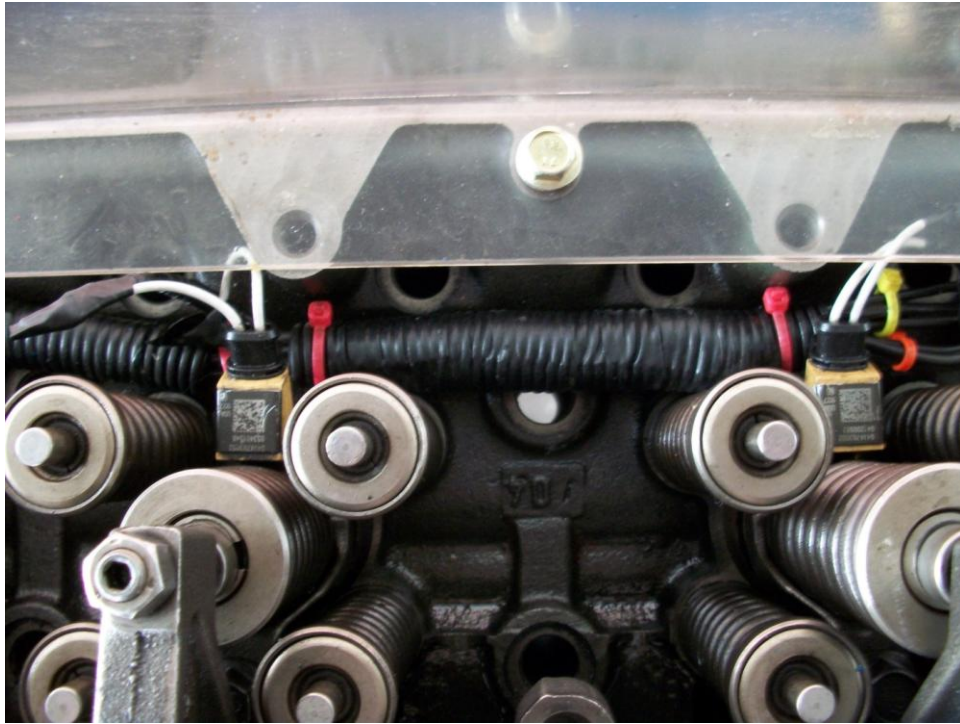
Instalación de los Neplos de entrada y salida de Combustible y Arnés de Cables en la parte posterior del Cabezote



Montaje de la Bomba de Combustible



Montaje del Circuito de Inyectores sobre la Estructura Metálica



Conexión del Arnés de Cables del Circuito a los Sockets de Inyector



Colocación de las Probetas Plásticas por debajo de las Puntas de Inyector



Vista Posterior del Banco de Inyección Armado

Anexo 2 “Guía Básica de Operación y Mantenimiento Preventivo del Banco de Inyección”

GUÍA DE OPERACIÓN DEL BANCO DE INYECCIÓN

Para la operación de este banco de inyección diesel tipo bomba-inyector se debe primeramente verificar el correcto funcionamiento tanto del tren mecánico, como del circuito electrónico de inyectores. Para esto, cerciórese de tener lubricados los cojinetes de deslizamiento del árbol de levas y los bujes de los balancines de inyector. Observe que no haya ningún perno flojo, tanto en las bancadas del árbol de levas, como en las barras de balancines. Asegúrese de tener todas las mangueras de combustible bien enroscadas a sus respectivos neplos. Lubricar con un poco de grasa la cadena de transmisión de movimiento y colocarla en la distribución correctamente, verificando que los templadores la mantengan fija con un juego máximo de 2,5cm. Observe que los conectores del circuito estén bien sujetos a la caja plástica que lo contiene, y que los sockets de inyector estén correctamente conectados a sus respectivos inyectores. Finalmente verifique que haya suficiente taladrina en el recipiente plástico que la almacena para enfriar la cadena. Después de cumplir con estos requisitos previos, es posible arrancar con la operación del banco de inyección. Para esto debe seguir los siguientes pasos:

- 1.** Colocar aceite 15W40 CI4 en las convexidades superiores de los balancines de inyector, para que se lubriquen nuevamente los bujes de los balancines a través de las perforaciones de 1/8” que presentan.

2. Por medio de una palanca de fuerza de mando de 1/2", y una copa de 30mm girar manualmente el árbol de levas verificando que su movimiento sea suave y no presente resistencia alguna al giro.
3. Conectar el enchufe trifásico del motor eléctrico a su respectivo toma corriente. Accionar el interruptor del motor, mientras el tren mecánico gira, observar que exista caudal de combustible en la manguera de retorno hacia el recipiente de combustible.
4. Desconectar el interruptor del motor eléctrico.
5. Conectar la fuente de voltaje a una toma de 110V. Activar el interruptor de encendido de la fuente y presionar el botón que indica 12V. Verificar en la pantalla digital de la fuente el número 12.
6. Revisar que esté alimentado el circuito electrónico por medio de los conectores que provienen de la fuente y entran en la caja plástica que lo contiene. Observar también que los 6 inyectores estén conectados al circuito.
7. Activar el interruptor de encendido del circuito de inyectores. Observar que las luces LED prendan y apaguen correctamente. Como así también escuche el accionamiento de los 4 solenoides de inyector.
8. Accione nuevamente el interruptor del motor eléctrico. Encienda el switch de la electroválvula y observe el flujo de taladrina que cae sobre la cadena para refrigerarla.

9. Realizar la prueba de inyección durante 2 minutos. Después de este tiempo desconecte el interruptor del motor eléctrico y espere que repose el diesel acumulado en las probetas durante 1 minuto para tomar mediciones. Cierre el paso de taladrina por medio del switch de la electroválvula y apague los interruptores del circuito y la fuente.
10. Repetir el proceso las veces necesarias, o cada que se realice una distinta prueba de calibración para analizar su inyección.

GUÍA DE MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DEL BANCO DE INYECCIÓN

En general la limpieza del banco de inyección es necesaria y básica para su mantenimiento. Este banco de inyección diesel tipo bomba-inyector necesita de forma más específica, como mantenimiento preventivo, la lubricación periódica de sus componentes críticos como lo son el árbol de levas con sus respectivos cojinetes de deslizamiento y los bujes de los balancines de inyector. Esto debido a que no se cuenta con una bomba de aceite que genere caudal de lubricante que permita mantener lubricadas constantemente las piezas mencionadas. Por lo mencionado anteriormente se recomienda que su funcionamiento no exceda de 5 días de trabajo continuo en la realización de pruebas de inyección con el fin de evitar un posible calentamiento en los muñones del árbol de levas y sus cojinetes de deslizamiento. Cabe recalcar que si el uso del banco de inyección no es periódico o frecuente, se debe realizar su mantenimiento obligatoriamente después de 7 días de su último funcionamiento. En consecuencia, se presenta a continuación una sencilla metodología de mantenimiento preventivo y limpieza.

- 1.** Desmontar los balancines de inyector, bujes separadores y barras de balancines. Desmontar las bancadas del árbol de levas y el árbol de levas. Desmontar la cadena de transmisión de movimiento del sistema de distribución de engranajes. Desmontar las probetas que almacenan combustible y drenar el líquido refrigerante de la cadena hacia su recipiente inferior.
- 2.** Proceder con la limpieza general de toda la estructura del banco de inyección, incluyendo la limpieza externa de sus componentes como: motor eléctrico, cabezote, templadores de cadena, bomba de combustible, mica del cabezote, mangueras de combustible y recipiente de combustible.
- 3.** Realizar la limpieza de todos los componentes desmontados anteriormente, tomando en cuenta que se deben aplicar métodos de limpieza que respeten las normas de seguridad industrial y salud ocupacional.
- 4.** Al momento de montar nuevamente los elementos sobre el cabezote, es necesario lubricarlos previamente. Recordemos que los cojinetes de deslizamiento del árbol de levas son aceitados con una solución de aceite de motor 15W40 CI4 (30%) y aditivo lubricante Bardal (70%). Las barras de balancines y bujes de inyector se lubrican con aceite de motor 15W40 CI4.
- 5.** El ajuste de los pernos de las bancadas del árbol de levas y los pernos que van sobre las barras de balancines llevan 25 lbf*pie. Proceder vertiendo taladrina en el recipiente superior del sistema de enfriamiento de la cadena y colocando combustible nuevo en el recipiente de almacenamiento de 5 galones.

- 6.** Finalmente ubicar las probetas por debajo de las puntas de los inyectores para que puedan almacenar el combustible inyectado en las pruebas a realizar. Cabe recalcar que para fijar la precámara sobre la probeta se envuelve cinta negra tape en el extremo superior de la misma.
- 7.** Con esto el banco de inyección está listo para ser operado. Se recomienda remitirse a la Guía de Operación del mismo expuesta anteriormente.

Anexo 3 “Guía de Pruebas de Calibración del Banco de Inyección”

PRUEBA DE CALIBRACIÓN # 1: 0 VUELTAS DE AJUSTE.

Todas las pruebas de calibración que se realizan en este banco de inyección diesel están relacionadas con el ajuste realizado en los pernos de regulación de los inyectores. De esta manera se pretende analizar la dosificación de combustible y el funcionamiento de cada uno de ellos para determinar su estado y comprobar la calibración correcta que garantiza la economía de combustible en un motor DDS60. El procedimiento para realizar la calibración a 0 vueltas de ajuste se detalla a continuación:

- 1.** Primeramente instalamos un reloj palpador en el rodillo seguidor del balancín de inyector, que va sobre la leva de inyector.
- 2.** Giramos el árbol de levas en sentido anti horario hasta observar que la manecilla o aguja del reloj palpador deja de moverse, ahí consideramos que la leva de inyector ha alcanzado su punto más alto en su recorrido.
- 3.** Se debe desajustar la tuerca que se enrosca en el perno de regulación, liberándola completamente.
- 4.** Con una llave hexagonal de 3/16”, o 5/32”, según la necesidad, aflojamos completamente el perno de regulación, y lo volvemos a ajustar hasta sentir que este topa ligeramente el seguidor en el resorte del inyector.
- 5.** Finalmente ajustamos nuevamente la tuerca que va enroscada al perno de regulación, y hemos calibrado el inyector. Así continuamos con el siguiente inyector tomando en cuenta el orden de encendido que presenta el árbol de levas igual a 1-5-3-6-2-4.
- 6.** Prendemos el banco de inyección durante 2 min y analizamos las muestras.

PRUEBA DE CALIBRACIÓN # 2: 1 VUELTA DE AJUSTE.

Todas las pruebas de calibración que se realizan en este banco de inyección diesel están relacionadas con el ajuste realizado en los pernos de regulación de los inyectores. De esta manera se pretende analizar la dosificación de combustible y el funcionamiento de cada uno de ellos para determinar su estado y comprobar la calibración correcta que garantiza la economía de combustible en un motor DDS60. El procedimiento para realizar la calibración a 1 vuelta de ajuste se detalla a continuación:

- 1.** Primeramente instalamos un reloj palpador en el rodillo seguidor del balancín de inyector, que va sobre la leva de inyector.
- 2.** Giramos el árbol de levas en sentido anti horario hasta observar que la manecilla o aguja del reloj palpador deja de moverse, ahí consideramos que la leva de inyector ha alcanzado su punto más alto en su recorrido.
- 3.** Se debe desajustar la tuerca que se enrosca en el perno de regulación, liberándola completamente.
- 4.** Con una llave hexagonal de 3/16", o 5/32", según la necesidad, aflojamos completamente el perno de regulación, y lo volvemos a ajustar hasta sentir que este topa ligeramente el seguidor en el resorte del inyector.
- 5.** Ajustamos 1 vuelta al perno de regulación; cada vuelta equivale a 360°.
- 6.** Finalmente ajustamos nuevamente la tuerca que va enroscada al perno de regulación, y hemos calibrado el inyector. Así continuamos con el siguiente inyector tomando en cuenta el orden de encendido que presenta el árbol de levas igual a 1-5-3-6-2-4.
- 7.** Prendemos el banco de inyección durante 2 min. y analizamos las muestras.

PRUEBA DE CALIBRACIÓN # 3: 2 VUELTAS DE AJUSTE.

Todas las pruebas de calibración que se realizan en este banco de inyección diesel están relacionadas con el ajuste realizado en los pernos de regulación de los inyectores. De esta manera se pretende analizar la dosificación de combustible y el funcionamiento de cada uno de ellos para determinar su estado y comprobar la calibración correcta que garantiza la economía de combustible en un motor DDS60. El procedimiento para realizar la calibración a 2 vueltas de ajuste se detalla a continuación:

- 1.** Primeramente instalamos un reloj palpador en el rodillo seguidor del balancín de inyector, que va sobre la leva de inyector.
- 2.** Giramos el árbol de levas en sentido anti horario hasta observar que la manecilla o aguja del reloj palpador deja de moverse, ahí consideramos que la leva de inyector ha alcanzado su punto más alto en su recorrido.
- 3.** Se debe desajustar la tuerca que se enrosca en el perno de regulación, liberándola completamente.
- 4.** Con una llave hexagonal de 3/16", o 5/32", según la necesidad, aflojamos completamente el perno de regulación, y lo volvemos a ajustar hasta sentir que este topa ligeramente el seguidor en el resorte del inyector.
- 5.** Ajustamos 2 vueltas al perno de regulación; cada vuelta equivale a 360°.
- 6.** Finalmente ajustamos nuevamente la tuerca que va enroscada al perno de regulación, y hemos calibrado el inyector. Así continuamos con el siguiente inyector tomando en cuenta el orden de encendido que presenta el árbol de levas igual a 1-5-3-6-2-4.
- 7.** Prendemos el banco de inyección durante 2 min. y analizamos las muestras.

PRUEBA DE CALIBRACIÓN # 4: 3 VUELTAS DE AJUSTE.

Todas las pruebas de calibración que se realizan en este banco de inyección diesel están relacionadas con el ajuste realizado en los pernos de regulación de los inyectores. De esta manera se pretende analizar la dosificación de combustible y el funcionamiento de cada uno de ellos para determinar su estado y comprobar la calibración correcta que garantiza la economía de combustible en un motor DDS60. El procedimiento para realizar la calibración a 3 vueltas de ajuste se detalla a continuación:

- 1.** Primeramente instalamos un reloj palpador en el rodillo seguidor del balancín de inyector, que va sobre la leva de inyector.
- 2.** Giramos el árbol de levas en sentido anti horario hasta observar que la manecilla o aguja del reloj palpador deja de moverse, ahí consideramos que la leva de inyector ha alcanzado su punto más alto en su recorrido.
- 3.** Se debe desajustar la tuerca que se enrosca en el perno de regulación, liberándola completamente.
- 4.** Con una llave hexagonal de 3/16", o 5/32", según la necesidad, aflojamos completamente el perno de regulación, y lo volvemos a ajustar hasta sentir que este topa ligeramente el seguidor en el resorte del inyector.
- 5.** Ajustamos 3 vueltas al perno de regulación; cada vuelta equivale a 360°.
- 6.** Finalmente ajustamos nuevamente la tuerca que va enroscada al perno de regulación, y hemos calibrado el inyector. Así continuamos con el siguiente inyector tomando en cuenta el orden de encendido que presenta el árbol de levas igual a 1-5-3-6-2-4.
- 7.** Prendemos el banco de inyección durante 2 min. y analizamos las muestras.

PRUEBA DE CALIBRACIÓN # 5: 3^{3/4} VUELTAS DE AJUSTE.

Todas las pruebas de calibración que se realizan en este banco de inyección diesel están relacionadas con el ajuste realizado en los pernos de regulación de los inyectores. De esta manera se pretende analizar la dosificación de combustible y el funcionamiento de cada uno de ellos para determinar su estado y comprobar la calibración correcta que garantiza la economía de combustible en un motor DDS60. Esta calibración corresponde a la recomendada por el fabricante. El procedimiento para realizar la calibración a 3^{3/4} vueltas de ajuste se detalla a continuación:

1. Primeramente instalamos un reloj palpador en el rodillo seguidor del balancín de inyector, que va sobre la leva de inyector.
2. Giramos el árbol de levas en sentido anti horario hasta observar que la manecilla o aguja del reloj palpador deja de moverse, ahí consideramos que la leva de inyector ha alcanzado su punto más alto en su recorrido.
3. Se debe desajustar la tuerca que se enrosca en el perno de regulación, liberándola completamente.
4. Con una llave hexagonal de 3/16", o 5/32", según la necesidad, aflojamos completamente el perno de regulación, y lo volvemos a ajustar hasta sentir que este topa ligeramente el seguidor en el resorte del inyector.
5. Tomamos el torque de inyectores y damos al perno un ajuste de 4.5N*m (40lbs-pulg). Tomamos nuevamente la llave hexagonal y regresamos 3/4 de vuelta al ajuste anterior (3^{3/4} vueltas).

- 6.** Finalmente ajustamos nuevamente la tuerca que va enroscada al perno de regulación, y hemos calibrado el inyector. Así continuamos con el siguiente inyector tomando en cuenta el orden de encendido que presenta el árbol de levas igual a 1-5-3-6-2-4.
- 7.** Prendemos el banco de inyección durante 2 min. y analizamos las muestras.

BIBLIOGRAFÍA

- DETROIT DIESEL CORPORATION, **Series 60 Diesel and Natural Gas-Fueled Engines Service Manual**, Boletín 6SE483, Printed in U.S.A., 2006.
- HAMM G., BURK G., **Tablas de la técnica del automóvil**, catorceava edición, Barcelona, Editorial Reverté, 1986.
- www.truck.ru/downloads/injector.doc
- www.sapiensman.com/.../neumatica_hidraulica9.htm
- html.rincondelvago.com/motores-diesel_inyeccion-electronica.html
- www.electriauto.com/.../sensores-magneticos-de-reluctancia-variable/
- www.tpub.com/content/trucktractor6x4/TM-9-2320-302-20/css/TM-9-2320-302-20_83.htm
- www.autocity.com/manuales-reparacion/index.html?nivelAcceso=3&codigo=222&cat=
- www.electriauto.com/electronica/sensores/sensores-de-posicion/
- www.angellarreina.com/.../Transmisiones%20por%20Cadenas%20de%20Rodillos.pdf –
- <http://libros.redsauce.net/Bombas/PDFs/BOMBAS06.pdf>-
- www.ddcsn.com/cps/rde/xbcr/ddcsn/24-60-03.pdf-
- www.frbb.utn.edu.ar/carreras/materias/.../cap09-01.pdf-