



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

SISTEMAS DE INYECCIÓN DIÉSEL ELECTRÓNICO, PARA SERVICIO AUTOMOTRÍZ PESADO. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Alberto Flavio Vallejo Castillo

Asesorado por el Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres

Guatemala, junio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMAS DE INYECCIÓN DIÉSEL ELECTRÓNICO, PARA SERVICIO
AUTOMTRÍZ PESADO. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ALBERTO FLAVIO VALLEJO CASTILLO

ASESORADO POR EL ING. BYRON GIOVANNI PALACIOS COLINDRES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Anacleto Medina Gómez
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Coronado Noj
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

SISTEMAS DE INYECCIÓN DIÉSEL ELECTRÓNICO, PARA SERVICIO AUTOMOTRÍZ PESADO. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 15 de noviembre de 2010.



Alberto Flavio Vallejo Castillo

Guatemala, 30 de mayo de 2012

Ingeniero:
Julio Cesar Campos Paiz
Director de escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

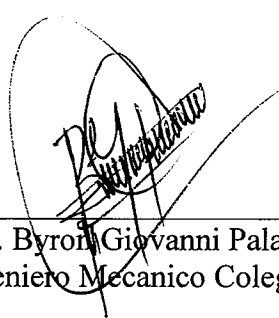
Señor director:

Por este medio me dirijo a usted, para informarle que he llevado a cabo la asesoría del trabajo de graduación **SISTEMAS DE INYECCIÓN DIESEL ELECTRÓNICO, PARA SERVICIO AUTOMOTRÍZ PESADO. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**, presentado por el estudiante Alberto Flavio Vallejo Castillo con carné 2002-12961, de la carrera de Ingeniería Mecánica.

El trabajo se ha desarrollado de acuerdo con el programa y objetivos iniciales y considero que llena los requisitos académicos para ser aprobado como trabajo de graduación.

Agradeciendo su atención, me suscribo.

Atentamente,



Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
Ingeniero Mecánico Colegiado No. 5641

Ing. Byron G. Palacios C.
Colegiado No. 5641

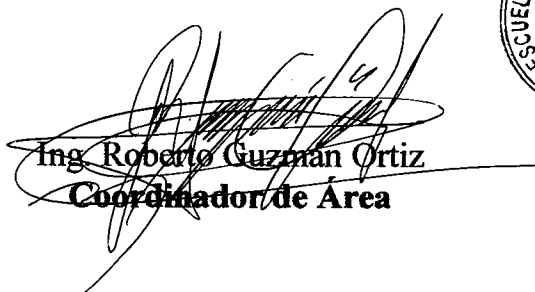
**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Coordinador del Área Térmica, de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado SISTEMA DE INYECCIÓN DIESEL ELECTRÓNICO, PARA SERVICIO AUTOMOTRIZ PESADO. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO, del estudiante **Alberto Flavio Vallejo Castillo**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Coordinador de Área



Guatemala, septiembre de 2012 .

/behdei.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Térmica, al Trabajo de Graduación titulado SISTEMA DE INYECCIÓN DIÉSEL ELECTRÓNICO, PARA SERVICIO AUTOMOTRÍZ PESADO. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO del estudiante **Alberto Flavio Vallejo Castillo**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, junio de 2013

JCCP/behdei



Ref. DTG.439.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **SISTEMAS DE INYECCIÓN DIÉSEL ELECTRÓNICO, PARA SERVICIO AUTOMOTRÍZ PESADO. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**, presentado por el estudiante universitario: **Alberto Flavio Vallejo Castillo**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, junio de 2013



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Mi esposa e hija

Ana Cecilia Cabrera y Ofelia Vallejo, por ser ambas una fuente de inspiración y motivación para seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres

Por darme como herencia el estudio, por darme empuje e inventivo a superarme cada día.

Lourdes Vallejo

En tiempos difíciles me apoyó para seguir estudiando.

Carlos Orellana

Gracias a sus conocimientos surgió el título y contenido de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XVII
GLOSARIO.....	XIX
RESUMEN.....	XXVII
OBJETIVOS.....	XXIX
INTRODUCCIÓN.....	XXXI
1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	1
1.1. Combustión.....	1
1.1.1. Factores que controlan la combustión.....	1
1.1.2. Cámara de combustión.....	2
1.2. Tipo de combustible.....	3
1.3. Proceso de combustión.....	4
1.3.1. Motores diésel.....	4
1.3.2. Transmisión de energía.....	5
1.4. Tiempos del motor.....	6
1.4.1. Tiempo de admisión.....	6
1.4.2. Tiempo de compresión.....	7
1.4.3. Tiempo de combustión.....	8
1.4.4. Tiempo de escape.....	9
1.5. Ventajas de los motores diésel sobre los motores gasolina.....	12
1.5.1. Ciclo de combustión por compresión.....	12
1.5.2. Diseño de cámara de combustión.....	12
1.5.3. Cantidad de trabajo.....	14

1.6.	Terminología y categorías.....	15
1.6.1.	Leyes mecánicas.....	16
1.6.2.	Potencia producida.....	17
1.6.3.	Eficiencia de motor.....	21
1.7.	Sistemas de inyección.....	23
1.7.1.	Sistemas de bomba y tuberías.....	24
1.7.2.	Sistemas de inyección unitaria.....	26
1.8.	Cámaras de combustión. Diferencia entre sistema bomba/ tubería <i>versus</i> inyección unitaria.....	29
1.9.	Sistema de inyección mecánico.....	31
1.9.1.	Momento en que se produce la inyección.....	31
1.9.2.	Ventana de quemado.....	31
1.9.3.	Componentes de sistemas de inyección mecánico.....	32
1.9.4.	Bomba inyectora.....	33
1.9.5.	Inicio de la inyección de combustible.....	34
1.9.6.	Duración de la inyección de combustible.....	35
1.9.7.	Regulador y cremallera.....	35
1.9.8.	Posición de la hélice.....	36
1.9.9.	Funcionamiento del regulador mecánico.....	38
1.9.10.	Avance de sincronización.....	39
1.9.11.	Control de relación aire – combustible.....	40
1.10.	Sistemas de inyección electrónicos.....	41
1.11.	Condiciones de operación.....	42
1.11.1.	Velocidad baja en vacío.....	43
1.11.2.	Velocidad alta en vacío.....	44
1.11.3.	Velocidad nominal.....	44
1.11.4.	Exceso de velocidad.....	45
1.11.5.	Sobrecarga de motor.....	45

1.12.	Fundamentos del combustible diésel.....	46
1.12.1.	Peso específico.....	47
1.12.2.	Escala API.....	47
1.12.3.	Viscosidad.....	48
1.12.4.	Punto de enturbiamiento.....	48
1.12.5.	Azufre.....	49
1.12.6.	Ácido sulfúrico.....	49
1.12.7.	Índice de cetano.....	50
1.12.8.	Contaminación de agua.....	51
1.12.9.	Contaminación de sedimentos.....	52
2.	SISTEMA DE INYECCIÓN DE PRESIÓN TIEMPO (PT).....	53
2.1.	Eje de levas.....	53
2.1.1.	Sistema de pulso doble.....	54
2.2.	Sistema de admisión.....	54
2.2.1.	Descripción general.....	55
2.2.2.	Componentes.....	55
2.2.2.1.	Múltiple de admisión.....	56
2.2.2.2.	Múltiple de escape.....	59
2.2.2.3.	Turbocompresor.....	60
2.2.3.	Flujo de admisión de gases.....	75
2.3.	Sistema de combustible.....	77
2.3.1.	Descripción general.....	77
2.3.2.	Componentes.....	77
2.3.2.1.	Módulo de control electrónico (ECM).....	78
2.3.2.2.	Bomba de combustible o transferencia.....	79

	2.3.2.3.	Ensamble de bomba de combustible.....	80
	2.3.3.	Flujo de combustible en sistema.....	83
	2.3.3.1.	Paso 1: extracción y filtración de combustible.....	83
	2.3.3.2.	Paso 2: bomba de combustible.....	84
	2.3.3.3.	Paso 3: regulación de presión de combustible.....	85
	2.3.3.4.	Paso 4: ductos de combustible.....	86
	2.3.3.5.	Paso 5: inyector.....	87
	2.3.3.6.	Paso 6: inyección de doble pulso de tiempo completo.....	89
	2.3.3.7.	Paso 7: drenado de combustible....	100
2.4.		Sistema electrónico.....	100
	2.4.1.	Descripción general.....	101
	2.4.2.	Componentes del sistema electrónico.....	102
	2.4.2.1.	Sensores.....	102
3.		SISTEMA DE INYECCIÓN ALTA PRESIÓN - TIEMPO PRESIÓN (HDI-TP).....	113
	3.1.	Descripción general.....	113
	3.2.	Componentes.....	113
	3.2.1.	Módulo de sistema de combustible integrado.....	113
	3.2.1.1.	Válvula cheque de entrada.....	114
	3.2.1.2.	Filtro de combustible.....	115
	3.2.1.3.	Bomba de engranes.....	116
	3.2.1.4.	Actuadores de dosificación sincronización.....	117

3.2.1.5.	Amortiguadores de combustible de pulsación.....	118
3.2.1.6.	Válvula de corte de combustible.....	119
3.2.1.7.	Venteo de combustible.....	121
3.2.1.8.	Sensor de presión de combustible..	122
3.2.1.9.	Galerías de combustible.....	123
3.2.1.10.	Inyectores hidromecánicos.....	123
3.3.	Flujo de combustible.....	127
3.3.1.	Paso 1: extracción – filtración de combustible.....	128
3.3.2.	Paso 2: bomba de combustible.....	129
3.3.3.	Paso 3: regulación de presión.....	130
3.3.4.	Paso 4: válvula de corte de combustible.....	131
3.3.5.	Paso 5: regulación de combustible excesivo.....	132
3.3.6.	Paso 6: funcionamiento de actuadores de dosificación y sincronización.....	133
3.3.7.	Paso 7: entrada de sensor de presiones indeseable.....	134
3.3.8.	Paso 8: pasajes de dosificación y sincronización.	135
3.2.9.	Paso 9: operación del inyector y flujo de combustible.....	135
3.3.10.	Paso 10: drenado de combustible.....	145
3.4.	Sistema de control electrónico.....	146
3.4.1.	Descripción general.....	146
3.4.2.	Componentes.....	147
3.4.2.1.	Sensores.....	147
3.4.2.2.	Módulo de control electrónico (ECM).....	155
3.4.2.3.	Señales de salidas y actuadores.....	157

4.	SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE GASES (EGR).....	159
4.1.	Descripción general.....	159
4.2.	Razones para utilizar sistemas de recirculación de gases de escape (EGR).....	160
4.3.	Componentes de sistema de recirculación de gases de escape (EGR).....	160
4.3.1.	Turbocompresor de geometría variable.....	161
4.3.1.1.	Partes de turbocompresor de geometría variable.....	163
4.3.2.	Válvula EGR.....	167
4.3.3.	Enfriador EGR.....	170
4.3.4.	Mezclador de gases EGR.....	172
4.4.	Flujo de sistema de recirculación de gases de escape (EGR).....	174
4.5.	Sensores y actuadores.....	189
4.5.1.	Sensor de presión diferencial de EGR.....	189
4.5.2.	Sensor de presión de gases de escape.....	190
4.5.3.	Sensor de temperatura de EGR.....	190
4.5.4.	Sensor de posición de válvula de EGR.....	191
4.5.5.	Motor de válvula EGR.....	191
4.5.6.	Sensor de velocidad de turbocompresor.....	192
4.5.7.	Sensor de temperatura de salida de turbocompresor.....	193
4.5.8.	Válvula de control de turbocompresor.....	193
4.5.9.	Válvula de control de <i>shut-off</i> de turbocompresor.....	194
4.6.	Efectos del sistema de recirculación de gases de escape en el motor.....	194

4.6.1.	Percepción del conductor respecto a los motores equipados con sistema de recirculación de gases de escape.....	196
4.7.	Razones del sistema de recirculación de gases de escape.....	197
5.	FRENO DE MOTOR.....	199
5.1.	Componentes.....	200
5.2.	Descripción de funcionamiento.....	202
5.3.	Calibración.....	206
6.	REPARACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO.....	211
6.1.	Servicios al módulo de control electrónico.....	211
6.1.1.	Herramientas de reparación.....	211
6.1.2.	Repotenciación de motor.....	215
6.1.3.	Características y parámetros.....	216
6.2.	Medición de sensores.....	217
6.2.1.	Sensor de combinación presión/temperatura de aceite.....	217
6.2.2.	Sensor de presión de combustible.....	218
6.2.3.	Sensor de presiones indeseables.....	219
6.2.4.	Sensor de temperatura de refrigerante.....	219
6.2.5.	Sensor de nivel de refrigerante.....	220
6.2.6.	Sensor de combinación presión/temperatura de múltiple de admisión.....	221
6.2.7.	Sensor de presión de aire atmosférico.....	222
6.2.8.	Sensor de posición de cigüeñal.....	223
6.2.9.	Sensor de posición de árbol de levas.....	224
6.2.10.	Sensor de velocidad.....	225

6.2.11.	Sensor de posición de pedal.....	226
6.2.12.	Interruptor de validación de ralentí.....	227
6.2.13.	Sensor de agua en combustible (WIF).....	228
7.	PRESIONES DE TRABAJO EN SISTEMA DE INYECCIÓN.....	229
7.1.	Sistema presión – tiempo.....	229
7.2.	Sistema HDI–TP.....	229
CONCLUSIONES.....		231
RECOMENDACIONES.....		233
BIBLIOGRAFÍA.....		235

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de combustión.....	2
2.	Partes de la cámara de la combustión.....	3
3.	Combustible diésel.....	4
4.	Ciclos de combustión.....	5
5.	Transferencia de energía.....	6
6.	Ciclo de admisión.....	7
7.	Ciclo de compresión.....	8
8.	Ciclo de fuerza.....	9
9.	Ciclo de escape de gases.....	10
10.	Ilustración de ciclos de motor de cuatro tiempos.....	10
11.	Ilustración de un ciclo real del motor de combustión interna.....	12
12.	Diferencia entre ciclos de combustión.....	13
13.	Cámara de combustión motor diésel.....	13
14.	Cámara de combustión motor de gasolina.....	14
15.	Diferencia entre ciclos de motores diésel y gasolina.....	16
16.	Gráfica característica de motor (énfasis en par o torque).....	19
17.	Ejemplificación de medición de temperatura / factor de conversión.....	20
18.	Gráfica de poder calorífico de combustibles.....	21
19.	Dimensiones / carrera de cilindro.....	22
20.	Relación de compresión.....	23
21.	Esquema de sistema de bomba y tuberías.....	25
22.	Esquema de sistema de inyección EUI.....	28
23.	Esquema de sistema de inyección HEUI.....	29

24.	Cámaras de combustión / sistema bomba-tubería.....	30
25.	Representación de ventana de quemado.....	32
26.	Componentes de sistema de inyección mecánico.....	33
27.	Bomba inyectora seccionada.....	34
28.	Inyección de combustible.....	35
29.	Duración de inyección.....	36
30.	Mecanismo regulador – cremallera.....	37
31.	Movimiento descendente de hélice.....	37
32.	Mecanismo de regulación, motor Caterpillar.....	38
33.	Mecanismo de avance de sincronización.....	39
34.	Control de relación de aire.....	40
35.	Sensor de posición de cigüeñal.....	41
36.	Acción de mecanismo de combustible.....	42
37.	Gráfica HP <i>versus</i> RPM: velocidad baja en vacío.....	43
38.	Gráfica HP <i>versus</i> RPM: velocidad alta en vacío.....	44
39.	Gráfica HP <i>versus</i> RPM: velocidad nominal.....	45
40.	Gráfica HP <i>versus</i> RPM: sobre velocidad.....	46
41.	Gráfica HP <i>versus</i> RPM: sobrecarga de motor.....	46
42.	Figura de diésel enturbiado.....	49
43.	Posición elevada de eje de levas.....	53
44.	Árbol de levas, motor Cummins ISM.....	54
45.	Esquema de sistema de pulso doble.....	55
46.	Múltiple de admisión.....	56
47.	Cabeza de cilindros de una pieza.....	57
48.	Suministro de aire de admisión.....	57
49.	Disposición de puertos de escape en culata.....	58
50.	Arreglo de válvulas.....	58
51.	Múltiple de escape diseño gases pulsantes.....	59
52.	Brida de montaje de turbocompresor.....	60

53.	Fotografía de turbocargador Holset.....	61
54.	Turbocompresor con compuerta de desahogo cerrada.....	62
55.	Turbocompresor con compuerta de desahogo abierta.....	62
56.	Gráfica de presión turbo <i>versus</i> velocidad del motor.....	63
57.	Gráfica del incremento de presión del turbocompresor de mayor capacidad.....	64
58.	Efecto de válvula de desahogo.....	65
59.	Comportamiento de turbocompresor con válvula de desahogo.....	66
60.	Montaje de válvula de desahogo.....	66
61.	Actuador de válvula de desahogo seccionada.....	66
62.	Solenoides de sistema de cuatro pasos. Ubicación superior sobre múltiple de admisión.....	68
63.	Partes de control de cuatro pasos.....	69
64.	Referencia de orificios de entrada y purga.....	69
65.	Control de desahogo paso 1.....	70
66.	Control de desahogo paso 2.....	71
67.	Control de desahogo paso 3.....	72
68.	Control de desahogo paso 4.....	74
69.	Ilustración de carga de aire postenfriada.....	75
70.	Ilustración de descarga de gases de escape.....	76
71.	Esquema de refrigeración de ECM.....	78
72.	Acople de mando de accesorios. Motor Cummins® ISM.....	79
73.	Filtro / separador de combustible marca Fleetguard.....	81
74.	Sensor WIF. Ubicado en parte inferior del filtro.....	82
75.	Filtración de combustible.....	84
76.	Sección de bomba de transferencia.....	85
77.	Regulación de presión de combustible.....	86
78.	Esquema de suministro de combustible a inyectores.....	87
79.	Sección de inyector electrónico.....	88

80.	Partes del inyector electrónico.....	88
81.	Esquema de inyección. Inicio de dosificación.....	90
82.	Llenado de cámara de dosificación.....	91
83.	Llenado de cámara de sincronización.....	92
84.	Segundo llenado de cámara de dosificación.....	93
85.	Apertura de válvula de dosificación.....	94
86.	Fin de carrera, émbolo de sincronización.....	94
87.	Suministro de cámara de sincronización.....	95
88.	Enlace hidráulico en inyector.....	96
89.	Sincronización de inyector.....	96
90.	Incremento de presión dentro del inyector.....	97
91.	Inyección de combustible.....	98
92.	Inyección continua de combustible.....	98
93.	Accionamiento de válvula de alivio.....	99
94.	Derrame de combustible, final de inyección.....	100
95.	Ubicación de sensores. Motor Detroit diésel serie 60.....	103
96.	Sensor de presión y temperatura de aceite.....	104
97.	Sensor de temperatura de refrigerante.....	106
98.	Sensor de nivel de refrigerante.....	106
99.	Sensor de temperatura de admisión.....	108
100.	Sensor de turbo.....	108
101.	Sensor de presión atmosférica.....	109
102.	Sensor de referencia de sincronización y sensor de referencia de tiempo.....	111
103.	Engranaje toro y rueda de tiempo motor Detroit diésel serie 60 DDEC III/IV.....	111
104.	Módulo de combustible.....	114
105.	Cheque de suministro.....	114
106.	Referencia de filtrado.....	115

107.	Bomba de engranes y acople en árbol de levas de inyectores.....	117
108.	Actuadores de dosificación y sincronización.....	118
109.	Amortiguador de pulsación de combustible.....	119
110.	Amortiguador de bomba de engranes.....	120
111.	Válvula de corte de combustible.....	120
112.	Acumulación de presión en rieles de combustible.....	121
113.	Venteo de combustible.....	122
114.	Sensor de presión de combustible.....	123
115.	Galerías de combustible.....	124
116.	Inyector hidromecánico.....	124
117.	Esquema de boquilla de inyector hidromecánico.....	125
118.	Sección de inyector hidromecánico desglosado.....	126
119.	Émbolo de inyector hidromecánico.....	127
120.	Sellos de separación de inyector.....	128
121.	Succión de combustible hacia el elemento filtrante.....	129
122.	Esquema de bomba de engranes.....	129
123.	Primera etapa de regulación de combustible.....	130
124.	Ilustración de cedazo interno de filtración.....	131
125.	Válvula de corte de combustible.....	131
126.	Paso de combustible por actuadores.....	132
127.	Segunda etapa de regulación.....	133
128.	Apertura de actuador en función de señal del ECM.....	134
129.	Pasajes o ductos internos de combustible.....	135
130.	Movimiento inferior de tres émbolos.....	136
131.	Apertura de puerto de dosificación.....	137
132.	Apertura simultánea de puertos de dosificación y sincronización....	138
133.	Apertura de actuadores.....	138
134.	Ampliación de cámara de dosificación.....	139

135.	Acción de émbolo de sincronización y émbolo superior.....	140
136.	Candado hidráulico y funcionamiento de válvula cheque.....	141
137.	Modificación de sincronización.....	141
138.	Acción de válvulas cheque.....	142
139.	Inyección de combustible.....	143
140.	Alineación de TVS.....	144
141.	Acción de válvula elíptica.....	144
142.	Drenado de combustible.....	145
143.	Sensor de presión de combustible.....	148
144.	Sensor de presiones indeseables.....	149
145.	Sensor de nivel de refrigerante.....	149
146.	Sensor combinado presión temperatura de múltiple de admisión....	150
147.	Sensor de presión ambiente.....	151
148.	Sensor de efecto Hall.....	151
149.	Sensor de posición de cigüeñal.....	152
150.	Sensor de posición de árbol de levas.....	153
151.	Gráfica de posición de acelerador <i>versus</i> voltaje.....	154
152.	Operación de compuerta de desahogo en turbo VG.....	162
153.	Turbocompresor de geometría variable.....	164
154.	Ilustración de turbocompresor VG seccionado.....	164
155.	Acción de boquilla deslizante.....	165
156.	Actuador neumático de turbo VG.....	166
157.	Actuador eléctrico de válvula EGR.....	166
158.	Esquema de válvula EGR seccionada.....	168
159.	Partes de válvula EGR.....	169
160.	Ensamble de válvula EGR.....	170
161.	Enfriador EGR.....	171
162.	Generadores de turbulencia dentro del enfriador.....	172
163.	Estilo de mezclador de gases.....	173

164.	Esquema de sistema EGR.....	175
165.	Gráfica de Normas EPA.....	178
166.	Gráfica de proceso de combustión.....	180
167.	Sincronización de inyección.....	181
168.	Gráfica de tiempo de inyección <i>versus</i> temperatura de combustión.....	182
169.	Esquema de sistema EGR y componentes.....	184
170.	Flujo de gas: apertura de válvula EGR.....	185
171.	Flujo de gases: enfriamiento de gases.....	186
172.	Flujo de gases: mezcla de fluidos.....	187
173.	Diagrama de sistema EGR.....	188
174.	Sensor de presión diferencial.....	190
175.	Sensor de temperatura de gases.....	191
176.	Sensor de posición de válvula EGR.....	192
177.	Sensor de velocidad del turbo.....	193
178.	Sensor de posición de actuador.....	194
179.	Válvula solenoide de freno de motor.....	200
180.	Válvula de control de freno de motor.....	201
181.	Pistón secundario de freno de motor.....	202
182.	Pistón maestro de freno de motor.....	203
183.	Esquema de sistema de freno de motor.....	204
184.	Ilustración de la calibración del motor.....	207
185.	Ilustración de marca de tiempo en motor Cummins® ISX.....	207
186.	Ilustración de ajuste de holgura.....	208
187.	Multímetro digital.....	213
188.	Cable de interconexión de sensor.....	214
189.	Kit de interface.....	214
190.	Esquema de sensor de presión de aceite.....	217
191.	Circuito del sensor de temperatura de refrigerante.....	220

192.	Circuito de sensor de nivel de refrigerante.....	221
193.	Circuito de presión / temperatura de aire de admisión.....	221
194.	Sensor de presión ambiente.....	223
195.	Circuito de sensor de posición de cigüeñal.....	224
196.	Sensor de posición de árbol de levas.....	225
197.	Circuito de sensor de velocidad.....	226
198.	Circuito de sensor de posición de acelerador e interruptor de validación.....	227

TABLAS

I.	Factor de conversión, unidades de potencia.....	19
II.	Pesos específicos y densidades del combustible.....	48
III.	Resumen control de desahogo. Válvula de cuatro pasos.....	74
IV.	Valores de resistencia para sensor de temperatura de aceite.....	218
V.	Valores de presión <i>versus</i> voltaje sensor de presión de combustible.....	219
VI.	Valor de voltaje <i>versus</i> altitud, sensor presión atmosférica.....	223

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CTE	Constante.
°C	Grados Celsius o Centígrados, temperatura
°F	Grados Fahrenheit, temperatura
°	Grados Sexagesimales
g	Gramos, peso.
h	Hora.
©	Marca registrada
mm	Milímetro.
Ω	Omega, Magnitud de resistencia eléctrica
%	Porcentaje
rpm	Revoluciones por minuto.
T	Temperatura.

GLOSARIO

AC	Corriente alterna, por sus siglas en inglés.
Actuador	Elemento electromecánico, utilizado para realizar una acción.
Aire comprimido	Condición en la cual el aire atmosférico es sometido a una disminución de volumen, por lo que tiende a incrementar su presión.
API	Instituto Americano del Petróleo, por sus siglas en inglés.
Árbol de levas	Eje en el cual se encuentran tallados diferentes tipos de levas para efectuar los ciclos del motor de combustión interna.
Biela	Elemento mecánico utilizado para transmitir la energía de empuje en la cabeza del pistón a los muñones del cigüeñal.
BTU	Es una unidad de energía inglesa. Es la abreviatura de British Thermal Unit.

Cabeza de cilindros o culata	Elemento mecánico, el cual cumple dos funciones. Servir como cámara de combustión y portar diferentes elementos y mecanismos del motor de combustión interna.
Candado hidráulico	Enlace entre dos elementos mecánicos proporcionados por la compresión de un líquido.
Cigüeñal	Elemento mecánico diseñado para convertir movimiento de vaivén a movimiento rotacional.
Corriente alterna	Intensidad eléctrica que posee onda sinusoidal.
Damper	O amortiguador de vibraciones, es una pieza con masa variable que compensa las distorsiones provocadas por las explosiones dentro el motor y su secuencia de encendido.
Desenergización	Acción de cesar el paso de corriente a un actuador.
Dosificación	Determina la cantidad de combustible para inyección.
ECM	Módulo de control electrónico, por sus siglas en inglés.
EGR	Sistema de recirculación de gases de escape.
Electroválvulas	Válvula mecánica accionado por bobinas eléctricas que operan cuando estas son energizadas.

Energía térmica	Energía liberada en forma de calor.
Energización	Acción de transmitir corriente a un actuador para realizar su acción.
Enlace hidráulico	Ver candado hidráulico.
EPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos, por sus siglas en inglés.
Fan-clutch	Elemento mecánico - neumático utilizado para forzar la circulación de aire a través del radiador de una unidad automotora. Transmitiendo la energía calorífica al aire.
Frecuencia	Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.
ft-lb	Pie por libra, magnitud expresada para torque.
Fuerza	Es una magnitud física que mide la intensidad del intercambio de momento lineal entre dos partículas o sistemas de partículas.
Grados	Nombrar a distintas unidades de medida de ángulos.
Hardware	Corresponde a todas las partes tangibles de un programa computacional.

HC's	Denotación para hidrocarburos.
HDI-TP	Sistema de inyección de alta presión – tiempo presión, por sus siglas en inglés. Patentado por Cummins®.
HP	Caballos de fuerza, por sus siglas en inglés.
Inflamación	Acción de iniciarse la combustión o fuego.
in-Hg	Pulgada de mercurio. Magnitud expresada para presión.
Intercooler	Es un intercambiador (radiador) aire-aire o aire-agua que se encarga de enfriar el aire comprimido por el turbocompresor o sobrealimentador de un motor de combustión interna.
Laina	Herramienta calibrada, utilizada para determinar una holgura.
Lb*pie	Pie por libra, magnitud expresada para torque.
Maneral	Herramienta mecánica utilizada para realizar tareas de fuerza, como por ejemplo, apretar elemento de sujeción.
MAX	Máximo.

Micra	Sinónimo de Micrón, utilizado para hacer comparativo para filtración de partículas.
MIN	Mínimo.
Movimiento alternativo	También llamado mecanismo de movimiento alternante, es un movimiento repetitivo hacia arriba y hacia abajo.
Movimiento rotativo	Es el movimiento de cambio de orientación de un cuerpo o un sistema de referencia de forma en que una línea (llamada eje de rotación) o un punto permanece fijo.
NBT	Número de base total.
NO	Óxido de nitrógeno.
No.	Número.
NO₂	Bióxido de nitrógeno.
NO_x	Óxidos de nitrógeno.
Off	Acción de parar o cortar la energía de un elemento eléctrico.
On	Accionamiento de energía de alimentación de un elemento eléctrico o electrónico.

Par	El momento de fuerza de un conjunto de fuerzas.
Piezo-resistivo	Elementos eléctricos, conformado por cristales que al ser sometidos a tensiones mecánicas adquieren una polarización eléctrica en su masa.
PMI	Punto muerto inferior.
PMS	Punto muerto superior.
Potencia	Cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo.
Presión barométrica	Es la presión que ejerce el aire sobre la atmósfera. Normalmente se refiere a la presión atmosférica terrestre.
PSI	Libras sobre pulgada cuadrada, Magnitud de presión.
Resistencia	Oposición al paso de corriente eléctrica.
Restricción	Oposición al flujo de corriente de un fluido.
SAE	Sociedad de ingenieros automotrices, por sus siglas en inglés.
Sensor	Dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación.

Señal PWM	La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM, siglas en inglés de pulse-width modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una sinusoidal o una cuadrada, por ejemplo), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.
Sincronización	Acción de coincidencia de tiempos de actuación o acoplamiento dentro del motor.
Software	Programas computacionales dirigidos a una acción.
Solenoide	Es cualquier dispositivo físico capaz de crear una zona de campo magnético uniforme.
SRS	Sensor de referencia de sincronización.
Termistor	Es un sensor resistivo de temperatura.
Termostato	Es el componente de un sistema de control simple que abre o cierra un circuito de refrigeración del motor en función de la temperatura de este.
TRS	Sensor de referencia de tiempo.
VCD	Voltaje de corriente directa.

Velocidad angular	Magnitud física para determinar la rapidez del desplazamiento rotacional.
VG	Geometría variable, por sus siglas en inglés.
VGT	Turbocompresor de Geometría variable.
Voltios	Es la unidad derivada del SI para el potencial eléctrico, fuerza electromotriz y el voltaje.
Volumen	Es una magnitud escalar definida como el espacio ocupado por un cuerpo.
WIF	Sensor de detección de agua en filtro de combustible. Derivado de sus siglas en inglés Water In Filter.

RESUMEN

Este trabajo, está dirigido a aquellas personas que se han encontrado en situaciones frente a un equipo con un motor moderno, de los que al mirar detenidamente buscan una bomba de inyección, varias tuberías e inyectores al lado de la cabeza de cilindros y se han preguntado qué hacer o cómo solucionar el problema, de un cliente o del patrono para el cual laboran.

La idea general de este trabajo es la familiarización con los motores actuales, si bien es cierto, que cada fabricante realiza sus diseños, se pueden encontrar similitudes entre motores que pueden ayudar de una forma general o por lo menos encarar el problema a solucionar.

Los principales sistemas de inyección diésel electrónico más comunes que se vienen trabajando por casi tres décadas se representan en los motores de inyección tiempo-presión, que por medio de dosificación y sincronización electrónica y alta presión de inyección, lograda por la acción mecánica del árbol de levas, puede presentar una mejor y eficiente combustión. Cabe mencionar que el transportista de hoy busca bajar costos de operación con base en el consumo de combustible, ya que este rubro representa aproximadamente el 60% de estos costos.

Dentro del texto se presentan algunos otros sistemas que son de reciente ingreso a Guatemala, como es el caso de los motores con sistemas de combustible de alta presión, que es un motor muy novedoso, atípico y con características muy singulares que está absorbiendo el mercado local, debido a la cantidad de potencia de entrega, que son capaces de trasladar peso bruto combinado de 350 toneladas métricas. Y algunos otros sistemas auxiliares como el sistema de recirculación de gases de escape, si bien no es algo novedoso en países industrializados, para Guatemala lo es y vale la pena resaltar los resultados que se han obtenido con su uso.

También se mencionan algunos temas como el freno de motor, este es un mecanismo sencillo, que ha venido ayudando por muchas generaciones al transportista, debido a su aporte como un mecanismo auxiliar, para el cual también es importante conocer su funcionamiento y características en aplicación.

OBJETIVOS

General

Introducir la familiarización y conocimiento de sistemas de inyección electrónico tipo presión – tiempo y sistema de inyección de alta presión – tiempo presión. Así como, los procesos de admisión forzada y sistema de recirculación de gases. Todos los sistemas referentes a instalaciones de camiones de servicio pesado y severo.

Específicos

1. Desarrollar el conocimiento de los sistemas de inyección electrónico, facilitando la exposición de todos sus componentes.
2. Exponer el funcionamiento detallado de los sistemas de inyección, sistemas de admisión y escape de gases y sistemas de recirculación de gases.
3. Proporcionar el conocimiento básico de los sistemas de inyección electrónico diésel para determinar fallas en estos y hacer reparaciones adecuadas.

4. Actualización de las modificaciones que han sufrido los motores de combustión interna, lo cual preparará mejor a cualquier lector a confrontar el mercado actual a nivel regional y latinoamericano.
5. Describir el funcionamiento básico del freno de motor.

INTRODUCCIÓN

El avance en la tecnología ha alcanzado límites inimaginables en muchos aspectos de la humanidad. Estos no han quedado atrás en los motores de combustión interna, si bien es cierto el principio de funcionamiento del motor no ha cambiado en más de 100 años, los diferentes subsistemas han avanzado de forma continua y perseverante a manera de alcanzar un fin, mejorar el proceso químico de combustión, reduciendo así, emisiones de gases nocivos y aumentado potencia mecánica bruta entregada.

Las exigencias de más potencia para trasladar mayor capacidad de carga y menor emisión de gases de escape por parte de las entidades gubernamentales de los países desarrollados, han obligado a los diferentes constructores de equipos a desarrollar mejoras en rendimiento y efectividad de los subprocesos y del proceso completo del motor como conjunto, partiendo desde la base de la energía como el combustible diésel que ha obtenido mejoras en su destilación y el tratamiento del paquete de aditivos, como los sistemas de inyección, que ahora son auxiliados por componentes electrónicos.

También, la participación de la computación con algoritmos lógicos que pueden suplir acciones mecánicas en sincronización y dosificación del combustible en el momento exacto, lo cual ha permitido tener una mejor eficiencia del proceso químico al ser convertido en trabajo mecánico.

Es importante mencionar la mejora en algunos otros sistemas como lubricación y enfriamiento, estos han reducido la pérdida de energía por fricción, por medio de mejoras en los lubricantes tanto en bases como con sus aditivos y el sistema de cada motor que proporciona un funcionamiento continuo, manteniendo una temperatura constante, evitando la degradación del aceite y prolongando los intervalos de servicio.

Este documento se enfoca en inyección de combustible diésel, en el cual se encontrará el detalle del funcionamiento, partes que componen el sistema y flujo del combustible a través de los componentes, así como, los componentes electrónicos de cada sistema. Cada paso del sistema y los componentes, son ilustrados para una mejor comprensión y análisis.

Existen diferentes tipos de sistemas, cada fabricante se encarga en desarrollar diferentes tipos de sistema, a continuación se presentan dos sistemas, uno bastante común en motores para camiones de servicio pesado que van de potencias de 280 a 470 caballos de fuerza, con cilindradas entre 11 y 12,7 litros y el otro que es una nueva generación para motores de servicio severo para potencias de 500 a 600 caballos de fuerza, con 14 litros de cilindrada.

Esperando que los objetivos puedan cumplirse, desarrollando cada tema de una manera detallada en su funcionamiento y pueda obtenerse un mejor entendimiento, con el fin de que pueda ser llevado a la reparación de estos tipos de motores.

1. CONCEPTOS BÁSICOS

Se debe imaginar que el motor es un reloj, en donde todas las piezas funcionan de forma sincronizada para marcar puntualmente la hora. En un motor diésel, todos los componentes funcionan juntos para convertir la energía térmica en energía mecánica.

1.1. Combustión

El calentamiento del aire y del combustible produce la combustión, lo que creará la fuerza necesaria para hacer funcionar el motor. El aire, que contiene oxígeno, es necesario para quemar el combustible, que producirá la fuerza. Cuando se atomiza el combustible se inflama fácilmente y se quema de manera eficiente.

Debe quemarse rápidamente de forma controlada para producir la máxima energía térmica. Es por esto que se puede afirmar que:

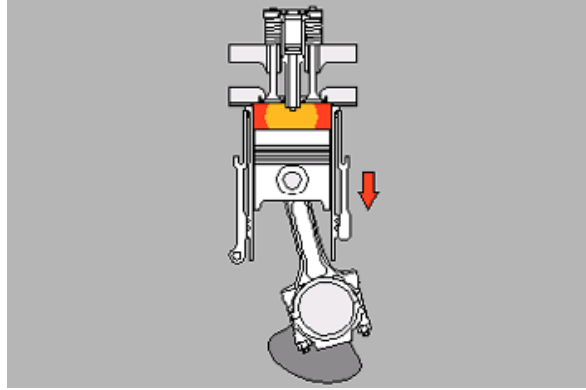
$$\text{Combustión} = \text{Aire} + \text{Combustible} + \text{Calor}$$

1.1.1. Factores que controlan la combustión

La combustión se controla por medio de tres factores:

- El volumen del aire comprimido
- El tipo de combustible usado
- La cantidad de combustible mezclada con el aire

Figura 1. **Esquema de combustión**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 8.

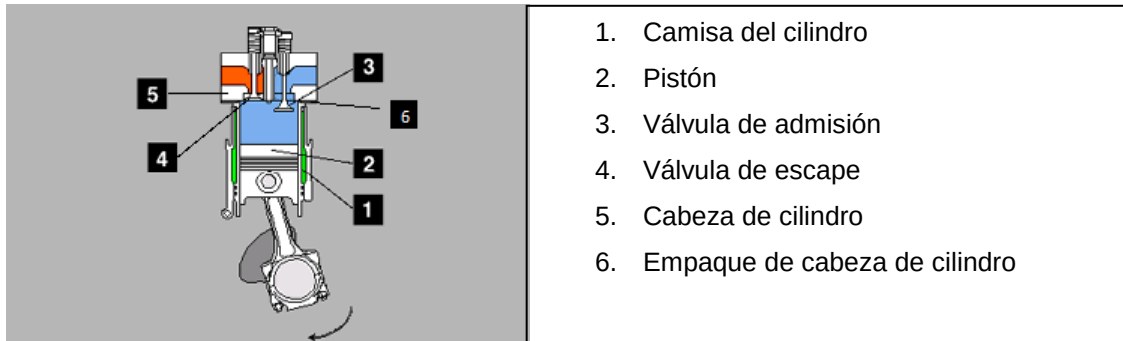
1.1.2. Cámara de combustión

La cámara de combustión está formada por:

- Camisa del cilindro
- Pistón
- Válvula de admisión
- Válvula de escape
- Cabeza de cilindro
- Empaque de cabeza de cilindros

Cuando se comprime el aire, se calienta. Cuanto más se comprime, más se calienta, si se comprime lo suficiente se producen temperaturas superiores a la temperatura de inflamación del combustible.

Figura 2. **Partes de la cámara de combustión**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 9.

1.2. Tipo de combustible

El tipo de combustible usado en el motor afecta la combustión debido a que diferentes combustibles se consumen a diferentes temperaturas y algunos se queman de forma más completa. Ver figura 3.

La cantidad de combustible también es importante porque al aumentar la cantidad de combustible aumenta la fuerza producida.

Cuando se inyecta combustible en un recinto cerrado que tiene una cantidad suficiente de aire, una pequeña cantidad de combustible provoca grandes cantidades de calor y fuerza.

Más combustible = Más fuerza

Figura 3. Combustible diésel



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 9.

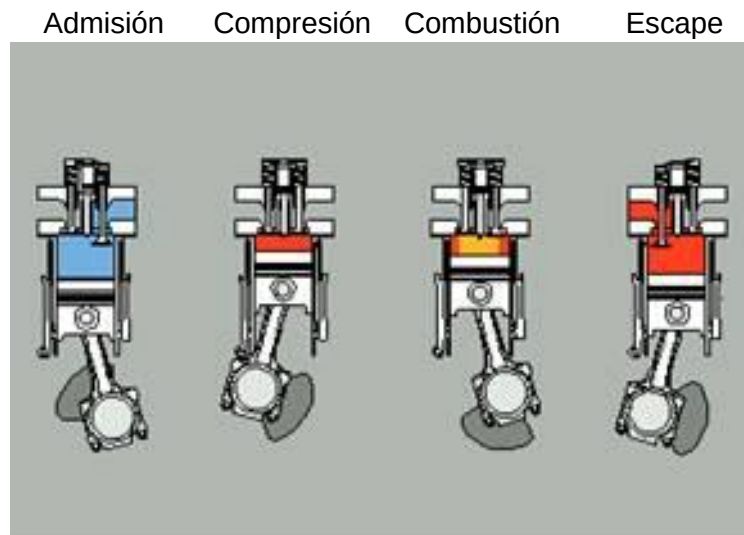
1.3. Proceso de combustión

En esta sección se presenta la descripción del proceso de combustión del motor con ciclo diésel y la cadena de transmisión de energía, dada la importancia en el documento.

1.3.1. Motores diésel

En un motor diésel, el aire se comprime dentro de la cámara de combustión hasta que esté suficientemente caliente como para inflamar el combustible. Luego, el combustible es inyectado y se produce la combustión. Ver figura 4.

Figura 4. **Ciclos de combustión**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 10.

1.3.2. Transmisión de energía

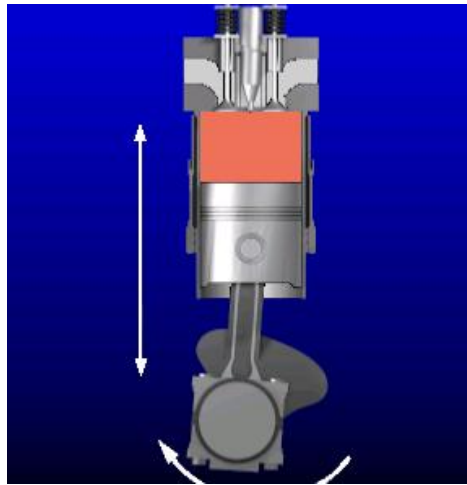
En los motores diésel, la combustión produce energía térmica que hace que los gases atrapados en la cámara de combustión se expandan, empujando el pistón hacia abajo.

A medida que el pistón se mueve hacia abajo, este mueve a otros componentes mecánicos que efectúan un trabajo.

El funcionamiento conjunto de los componentes transforma el movimiento alternativo en un movimiento rotativo. Cuando se produce la combustión, se produce un movimiento del pistón y de la biela de arriba hacia abajo llamado alternativo. La biela hace girar el cigüeñal, que convierte el movimiento alternativo en un movimiento circular llamado rotativo.

De esta manera, el motor transforma la energía térmica del combustible en energía útil. Ver figura 5.

Figura 5. **Transferencia de energía**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 11.

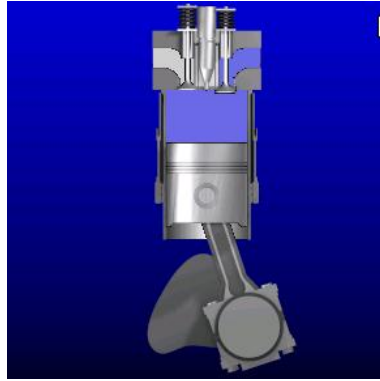
1.4. Tiempos del motor

Los tiempos del motor de combustión interna diésel se componen de cuatro etapas en su ciclo teórico, los cuales se ven afectados por avances y retrasos que modifican el ciclo.

1.4.1. Tiempo de admisión

El ciclo empieza con el tiempo de admisión. Primero, se abre la válvula de admisión, simultáneamente el pistón pasa a la posición del punto muerto inferior PMI, dejando ingresar aire en la cámara de combustión. Este tiempo dura 180 grados o media vuelta, la válvula de escape permanece cerrada. Ver figura 6.

Figura 6. **Ciclo de admisión**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 12.

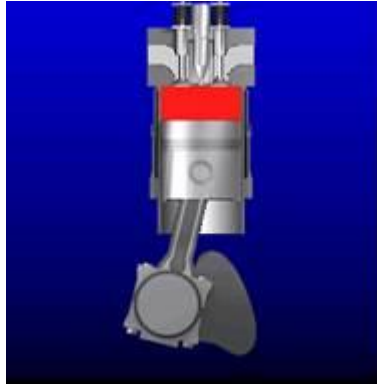
1.4.2. Tiempo de compresión

Durante este tiempo, se cierra la válvula sellando la cámara de combustión. El pistón se mueve hacia arriba hasta alcanzar el punto muerto superior (PMS), el aire atrapado se encuentra comprimido y muy caliente. Ver figura 7.

La relación de volumen comprimido se denomina relación de compresión, en los motores diésel varía entre 13:1 y 20:1. El cigüeñal ha girado 360 grados o una vuelta completa.

Relación de compresión = Volumen en el PMI / Volumen en el PMS

Figura 7. **Ciclo de compresión**



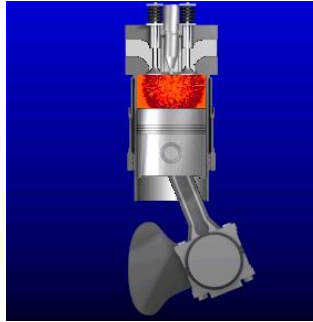
Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 12.

1.4.3. Tiempo de combustión

El combustible diésel se inyecta cerca del final de la carrera de compresión. Esto produce la combustión y da comienzo al tiempo de combustión. Ver figura 8.

Las válvulas de admisión y escape se encuentran cerradas para sellar la cámara de combustión. La fuerza de la combustión empuja al pistón hacia abajo, generando que la biela haga girar otros 180 grados el cigüeñal. Este ha girado una vuelta y media desde que comenzó el ciclo.

Figura 8. **Ciclo de fuerza**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 13.

1.4.4. Tiempo de escape

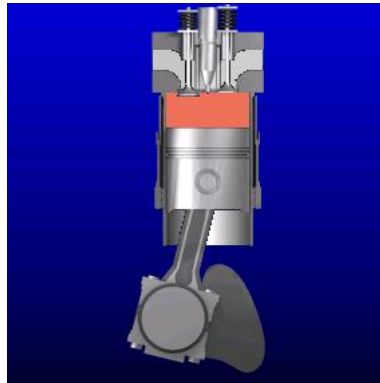
Es el tiempo final del ciclo. Durante este la válvula de escape abre a medida que el pistón se mueve hacia arriba, obligando a que los gases quemados salgan del cilindro. Ver figura 9.

En el punto muerto superior, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión y el ciclo vuelve a comenzar. La biela hace girar otros 180 grados el cigüeñal, por lo que este ha girado dos vueltas al completar el ciclo.

Es por esto, que el ciclo recibe el nombre de ciclo de cuatro tiempos. Este se repite una y otra vez mientras que el motor está en marcha, el orden en que cada cilindro llega al tiempo de combustión se llama orden de encendido del motor.

Cuatro tiempos del pistón = Dos revoluciones del cigüeñal

Figura 9. **Ciclo de escape de gases**

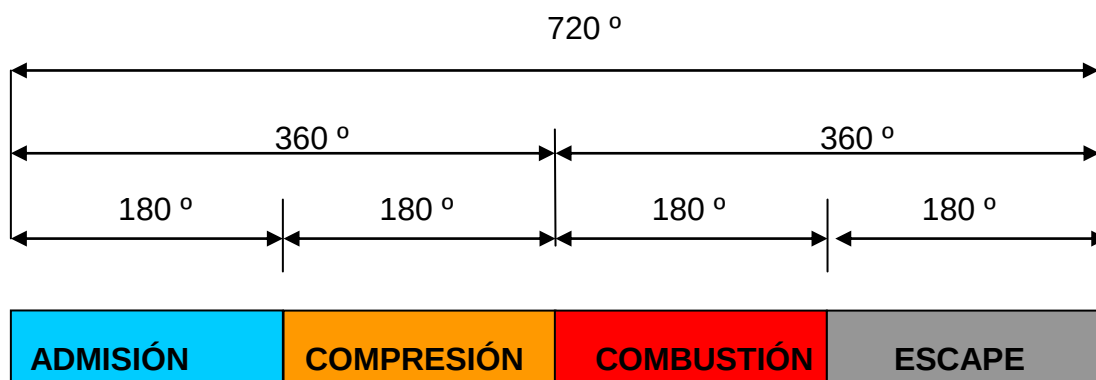


Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 13.

Para clarificar un poco el funcionamiento de un motor de cuatro tiempos, se realiza un ejemplo.

Como ya se ha dicho, cada ciclo en forma teórica dura 180 grados. Ver figura 10.

Figura 10. **Ilustración de ciclos de motor de cuatro tiempos**



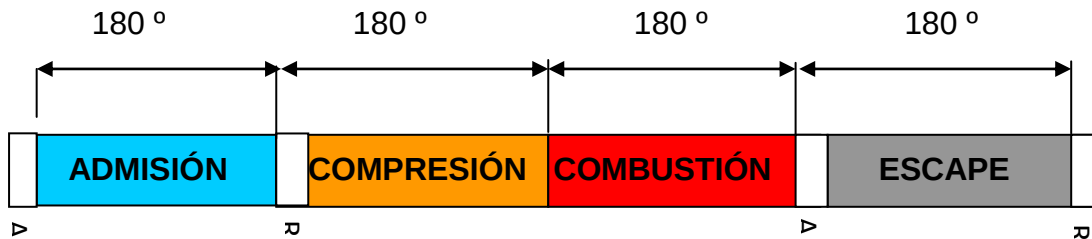
Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 14.

Pero en la práctica esto no es así, ya que dichos tiempos se ven afectados por los denominados avances y retrasos. Dentro de estos, se encuentra el Avance a la Apertura de la Admisión, Avance a la Apertura del Escape, Retraso al Cierre de la Admisión y Retraso al Cierre del Escape.

- Avance a la Apertura de la Admisión (AAA): con este avance se aprovecha el barrido de los gases de escape, que generan un vacío en el cilindro, para ingresar mezcla en forma más eficiente.
- Avance a la Apertura del Escape (AAE): se consigue disminuir importantemente la presión en el cilindro, para que cuando el pistón suba pueda hacerlo con la menor resistencia posible.
- Retraso al Cierre de la Admisión (RCA): se consigue, incluso cuando el pistón comienza a subir en la carrera de compresión, continúe el cilindro llenándose de combustible y aire, mejorando la combustión.
- Retraso al Cierre del Escape (RCE): los gases calientes no se evacuarían del todo bien, es por esto que con este retraso, aún cuando el pistón está bajando, los gases puedan continuar saliendo, consiguiendo una mejor limpieza de los gases residuales que de otra manera ocuparían el lugar de la mezcla fresca.

Por lo tanto, ahora se representa el ciclo de 4 tiempos del motor con los respectivos avances y retrasos. Ver figura 11.

Figura 11. **Ilustración de un ciclo real del motor de combustión interna**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 14.

1.5. Ventajas de los motores diésel sobre los motores gasolina

Al igual que los motores diésel, los motores de gasolina usan el ciclo de cuatro tiempos para producir la energía que efectúe el trabajo. Sin embargo, existen algunas diferencias en el proceso:

1.5.1. Ciclo de combustión por compresión

Probablemente la diferencia más evidente sea esta. Es decir, el aire comprimido a una relación tan alta produce que el aire comprimido se caliente lo suficiente como para inflamar el combustible. Ver figura 12.

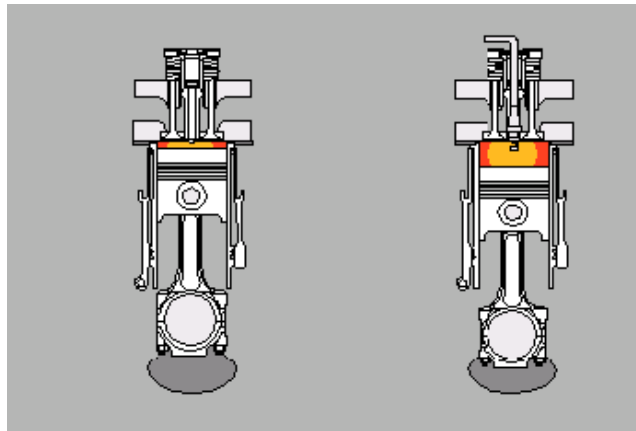
1.5.2. Diseño de cámara de combustión

- **Motor Diésel**

Este es diferente al de los motores de gasolina. En los diésel, hay muy poco espacio entre la cabeza del cilindro y el pistón en la posición de punto muerto superior, provocando una alta compresión.

Los pistones de la mayoría de los motores diésel forman la cámara de combustión en su cabeza. Ver figura 13.

Figura 12. **Diferencia entre ciclos de combustión**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 18.

Figura 13. **Cámara de combustión motor diésel**

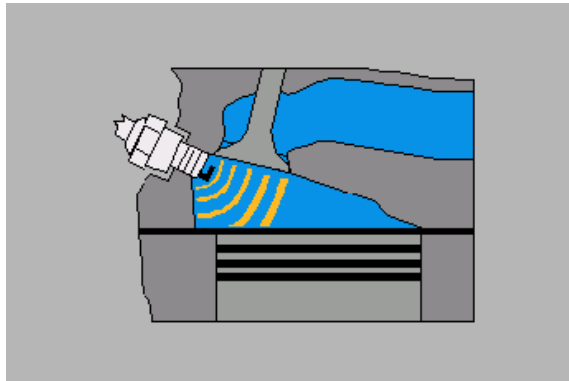


Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 18.

- Motor a gasolina

En estos la cámara de combustión está formada por el espacio entre el pistón y la culata de cilindros. Este espacio es más grande que en un motor diésel, produciendo una menor relación de compresión. Ver figura 14.

Figura 14. **Cámara de combustión motor de gasolina**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 19.

1.5.3. Cantidad de trabajo

Otra diferencia importante es la cantidad de trabajo que es capaz de producir el motor a revoluciones inferiores. Por lo general, los motores diésel operan normalmente entre 800 y 2 200 revoluciones por minuto, proporcionando mayor par motor y más potencia para efectuar el trabajo.

- Otras diferencias entre el motor diésel y uno a gasolina

Los motores diésel consumen menos combustible para una misma cantidad de trabajo producida que los motores a gasolina, son más robustos y más pesados ya que deben resistir presiones mucho mayores.

Los motores encendidos por chispa pueden funcionar con combustibles tales como: el propano, metano y etano.

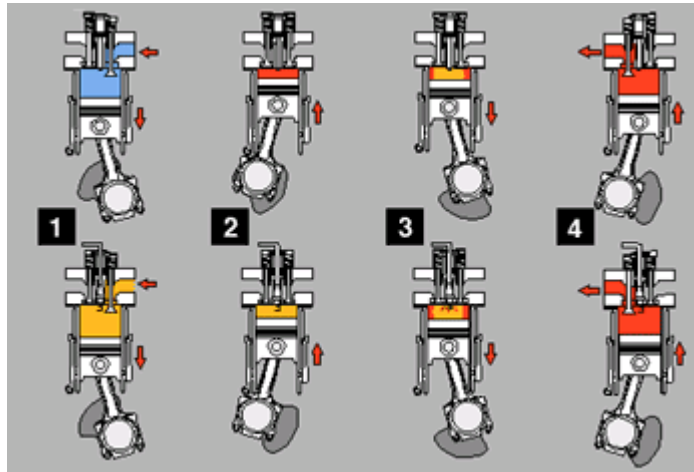
A continuación, se ilustran las diferencias en los ciclos de combustión. Admisión: en el motor diésel, el aire de admisión debe ser posenfriado luego de ser comprimido por un turbo, en el motor gasolina puede introducir aire a temperaturas ambiente. Compresión: el aire es comprimido en ambos motores, en el diésel, las presiones son mayores. Combustión: en los motores diésel el combustible se inflama al dosificarse en la cámara de combustión, debido a la alta temperatura del aire comprimido. En el motor gasolina se inflama por producto de un chispazo. Escape: en este ciclo los gases residuales de la combustión abandonan la cámara, en los motores diésel, tienen una mayor temperatura y mayor inercia debido a la cantidad energética que tiene el combustible. Ver figura 15.

1.6. Terminología y categorías

Los motores se describen haciendo uso de muchos términos y frases. Algunos describen la forma en que funciona el motor, mientras que otros describen si lo hacen de forma satisfactoria.

Existen tres categorías principales de terminología en este tema: leyes mecánicas, potencia producida y eficiencia del motor.

Figura 15. **Diferencia entre ciclos de motores diésel y gasolina**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 19.

1.6.1. Leyes mecánicas

Los términos de las leyes mecánicas describen el movimiento de los objetos y los efectos de los mismos.

Dentro de estas leyes están:

- **Fricción:** es la resistencia al movimiento entre dos superficies en contacto. Por ejemplo, existe fricción entre el pistón y la pared del cilindro. La fricción produce calor, que es uno de los principales contribuyentes al desgaste y a los daños de los componentes.
- **Inercia:** es la tendencia de un objeto en reposo a permanecer en este estado o de un objeto en movimiento a mantenerse en movimiento. El motor utiliza una fuerza para superar la inercia.

- **Fuerza:** es un empuje o tracción que inicia, detiene o cambia el movimiento de un objeto. La fuerza es producida por la combustión durante el tiempo de combustión. Cuanto mayor sea la fuerza generada, mayor será la potencia producida.
- **Presión:** la presión es una medida de la fuerza ejercida por unidad de área. Durante el ciclo de cuatro tiempos se produce mucha presión en la parte superior del pistón en los tiempos de compresión y combustión.

Hay tres formas de producir presión:

- Aumentando la temperatura
- Disminuyendo el volumen
- Limitando el flujo

Muchos sistemas y componentes de un motor de combustión interna operan a presiones específicas o las generan. El conocimiento y la medición de las presiones específicas en todo el motor pueden proporcionar mucha información acerca de su estado.

1.6.2. Potencia producida

La potencia del motor se describe según la cantidad de ciertas características:

- **Par motor:** es una fuerza de giro o torsión. El cigüeñal ejerce un par motor para hacer girar el volante, convertidores y dispositivos mecánicos.

- Par motor como capacidad de transporte de carga: el par motor es también una medida de la capacidad de transporte de carga del motor.

La fórmula para el par motor es:

$$\text{Par motor (lb/pie)} = 5\,252 * \text{Potencia HP} / \text{rpm}$$

- Aumento de par: este aumento se produce cuando se reduce la carga de un motor desde las revoluciones por minuto nominales. Este aumento de par se produce hasta lograr ciertas revoluciones por minuto, después de las cuales el par disminuye rápidamente. El máximo nivel del par alcanzado se llama par máximo. Ver figura 16.
- Potencia: es un valor nominal del motor que describe la cantidad de trabajo producido en un período o trabajo por unidad de tiempo. Véase figura 16.

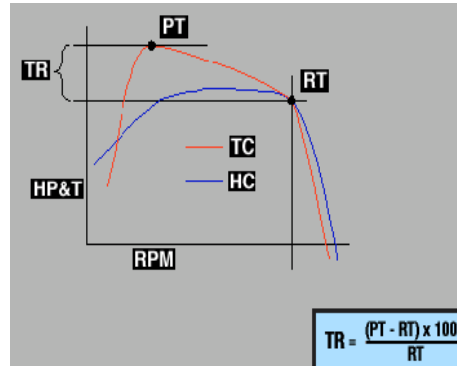
La potencia al freno es la potencia útil disponible en el volante, esta es menor que la potencia real porque se usa cierta energía para mover componentes del motor.

La fórmula para la potencia es:

$$\text{Potencia (HP)} = \text{rpm} * \text{Par motor} / 5\,252$$

Figura 16. **Gráfica característica de motor (énfasis en par o torque)**

TR= aumento de par
 HP+T= potencia y par motor
 TC= curva del par motor
 HC= curva de potencia
 PT= par motor máximo
 RT= par motor nominal



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 24.

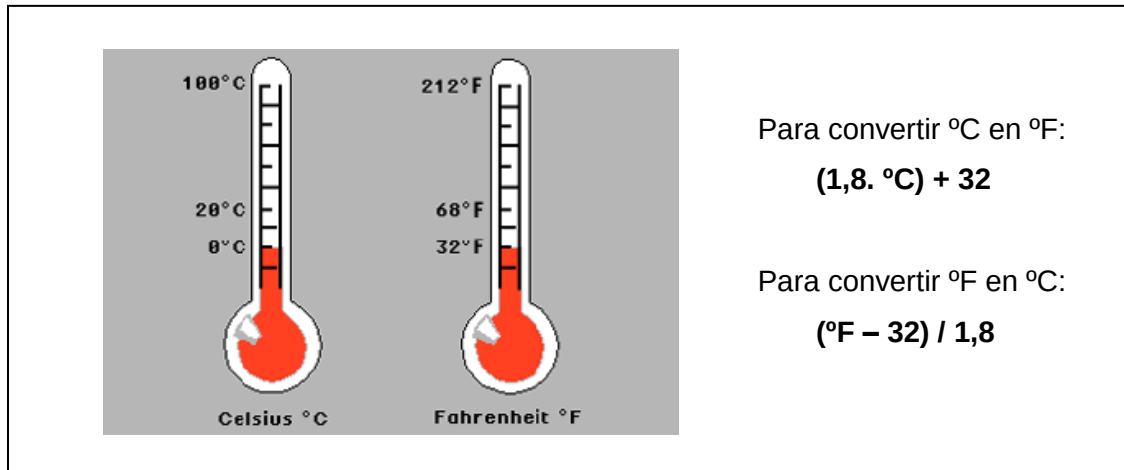
Tabla I. **Factor de conversión, unidades de potencia**

DE	A	POR
HP métricos	Kilowatts	0,7355
Kilowatts	HP métricos	1,3596
HP (británicos)	Kilowatts	0,746
Kilowatts	HP (británicos)	1,340

Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 24.

- Calor: es una forma de energía producida por la combustión del combustible. La energía térmica se convierte en energía mecánica por medio del pistón y otros componentes del motor con el fin de producir una potencia adecuada para el trabajo.
- Temperatura: es una medida de lo caliente o lo frío que está un objeto. Normalmente se mide con una escala Fahrenheit o Celsius. Ver figura 17.

Figura 17. **Ejemplificación de medición de temperatura / factor de conversión**



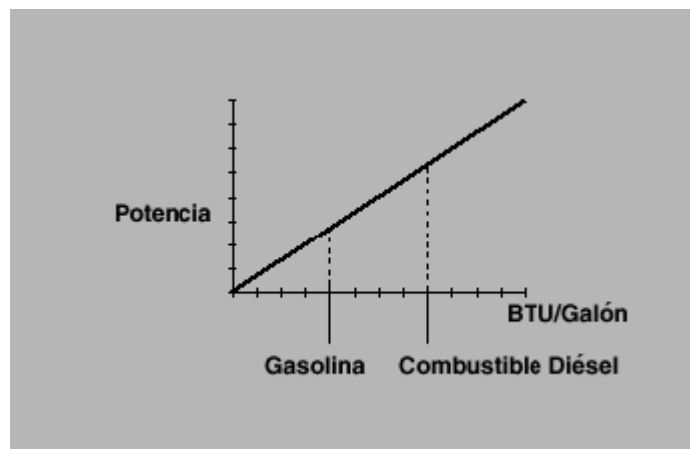
Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 25.

- Unidad térmica británica: la unidad térmica británica o BTU, se usa para medir el poder calorífico de una cantidad específica de combustible, o la cantidad de calor transferida de un objeto a otro.

Una BTU se define como la cantidad de calor necesaria para aumentar en 1 grado Fahrenheit la temperatura de una libra (1 libra = 0,4536 kilogramos) de agua destilada. Como dicha cantidad varía con la temperatura, se ha establecido tomar como condiciones de prueba la temperatura de 60 grados Fahrenheit (15,5 grados Celsius) y la presión de 30 pulgadas de mercurio (o sea 762 milímetros de mercurio).

La BTU se usa para describir el poder calorífico de un combustible. Los combustibles con altos valores de BTU generan más calor y, por lo tanto, más potencia. En general, el combustible diésel tiene un mayor valor de BTU que la gasolina. Ver figura 18.

Figura 18. **Gráfica de poder calorífico de combustibles**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 25.

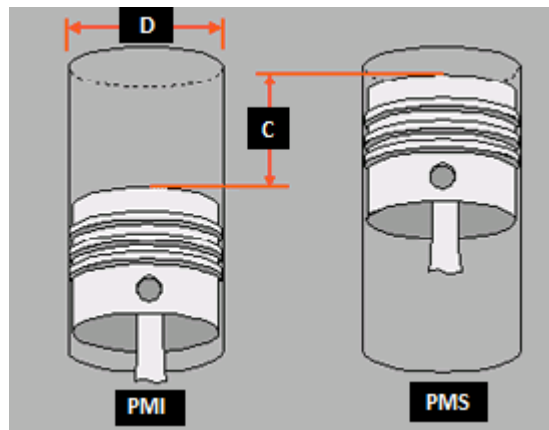
La BTU se utiliza también para describir el sistema de refrigeración. Cuantas más BTU elimina el refrigerante más eficiente será el sistema de enfriamiento.

1.6.3. Eficiencia de motor

El diseño del motor afecta el rendimiento y la eficiencia del motor. Según la cilindrada puede aumentar o disminuir su potencia. La eficiencia depende de los mecanismos que posee para mejorar el quemado del combustible.

- Calibre (D): es el diámetro interior del cilindro medido en pulgadas o milímetros. El calibre del cilindro determina el volumen de aire disponible para la combustión. Siendo todo lo demás igual, cuanto mayor sea el calibre mayor será la potencia del motor. Ver figura 19.
- Carrera (C): la carrera es la distancia que recorre el pistón desde el punto muerto superior al punto muerto inferior. La longitud de la carrera viene determinada por el diseño del cigüeñal. Una mayor carrera permite la entrada de más aire en el cilindro, lo que a su vez permite quemar más combustible, produciendo más potencia. Ver figura 19.

Figura 19. **Dimensiones / carrera de cilindro**

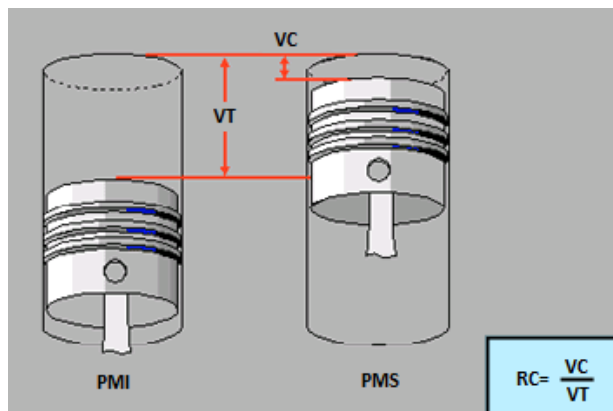


Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 26.

- Cilindrada: es el producto entre el calibre y la carrera del cilindro. Si se quiere averiguar la cilindrada total de un motor se debe multiplicar la cilindrada unitaria por el número de cilindros.

- Relación de compresión (RC): es el cociente entre el volumen total (VT) en el punto muerto inferior y el volumen de compresión (VC) en el punto muerto superior. Ver figura 20.

Figura 20. **Relación de compresión**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 26.

1.7. **Sistemas de inyección**

La cantidad de combustible que consume un motor está relacionada directamente con la cantidad de potencia y el par motor necesarios. En general, cuanto más combustible llegue a un motor, mayor será el par motor disponible en el volante.

El sistema de combustible suministra combustible limpio, en el momento indicado y en la cantidad adecuada para satisfacer la demanda de potencia.

Los componentes del sistema de combustible hacen corresponder el suministro de combustible con la demanda de potencia del motor alterando la cantidad de combustible inyectada y el momento de la inyección.

Estas funciones son manipuladas por la bomba inyectora. Existen dos grandes grupos de sistemas de combustible:

- Sistema de bomba y tuberías
- Sistema de inyección unitaria, mecánica y electrónica

1.7.1. Sistemas de bomba y tuberías

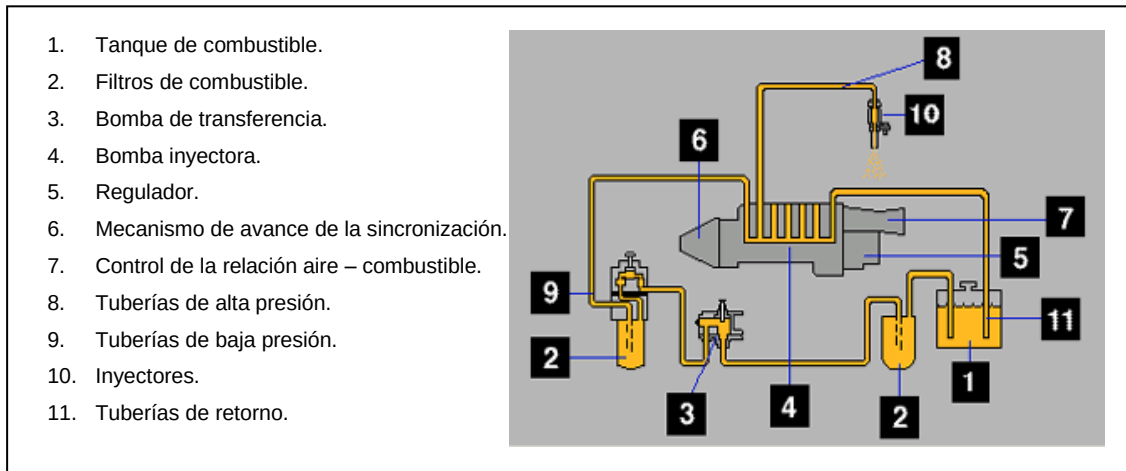
Los componentes básicos de este tipo de sistemas pueden observarse en la figura 21.

El combustible comienza a circular al girar la llave de arranque del motor. Al girar la llave se activa un solenoide que permite la circulación de combustible desde la bomba de transferencia hacia la bomba inyectora.

La bomba de transferencia extrae combustible del tanque a través de los filtros. El filtro de combustible principal elimina las partículas grandes del combustible.

Ciertos sistemas disponen también de un separador de agua, que permite que el asentamiento del agua atrapada o condensada pueda ser extraído.

Figura 21. **Esquema de sistema bomba y tuberías**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 84.

La bomba de transferencia suministra flujo de combustible a baja presión a través de las tuberías. El combustible que sale de la bomba de transferencia ingresa al filtro secundario o final, el cual elimina las partículas y contaminantes diminutos que pueden dañar o taponar los inyectores. Los filtros secundarios se hallan ubicados entre la bomba de transferencia y la bomba inyectora.

A diferencia de los filtros de aceite, los filtros de combustible no poseen válvulas de derivación, es decir, que si se tapan los filtros el combustible deja de fluir y el motor no funciona. Esto protege el motor contra el combustible sucio.

El combustible sale del filtro y pasa por un canal de combustible dentro de la carcasa de la bomba inyectora. Los elementos succionadores miden y someten el combustible a presión.

La bomba inyectora está ubicada por lo general cerca de la parte delantera del motor, debido a que es impulsada por un engranaje a partir del árbol de levas.

Las tuberías de alta presión están construidas en acero y conectan la bomba inyectora con los inyectores o boquillas.

Las boquillas disponen de válvulas que se abren cuando la presión de combustible es suficientemente alta. Cuando se abre la válvula, el combustible se atomiza y se pulveriza en la cámara de combustión. Al final de la inyección, se produce una caída rápida de presión que cierra la válvula.

La bomba inyectora dispensa más combustible del que puede usar el motor, por esto se cuenta con la tubería de retorno, la cual dirige el exceso de combustible al tanque. Además, elimina el aire del combustible, lo enfría debido a que se halla en movimiento.

Por último, todos los sistemas de combustible disponen de métodos electrónicos o manuales para cortar el suministro de combustible.

1.7.2. Sistemas de inyección unitaria

Este tipo de sistemas no utilizan una bomba de inyección tradicional, ya sea lineal o rotativa, sino que utilizan inyectores-bomba unitaria.

Los inyectores unitarios pueden dividirse según el tipo de quien los comanda y el accionamiento en:

- Unidades Inyectoras MUI¹
- Unidades inyectoras EUI¹
- Unidades inyectoras HEUI¹

Las unidades de inyección MUI, son comandadas y accionadas mecánicamente por un balancín que es movido por una tercer leva, con su propio levantaválvulas y varilla de empuje. El comando es realizado por una cremallera que posee cada inyector. La cremallera de cada inyector se halla vinculada a un eje de cremalleras que se encuentra conectado al regulador de velocidad.

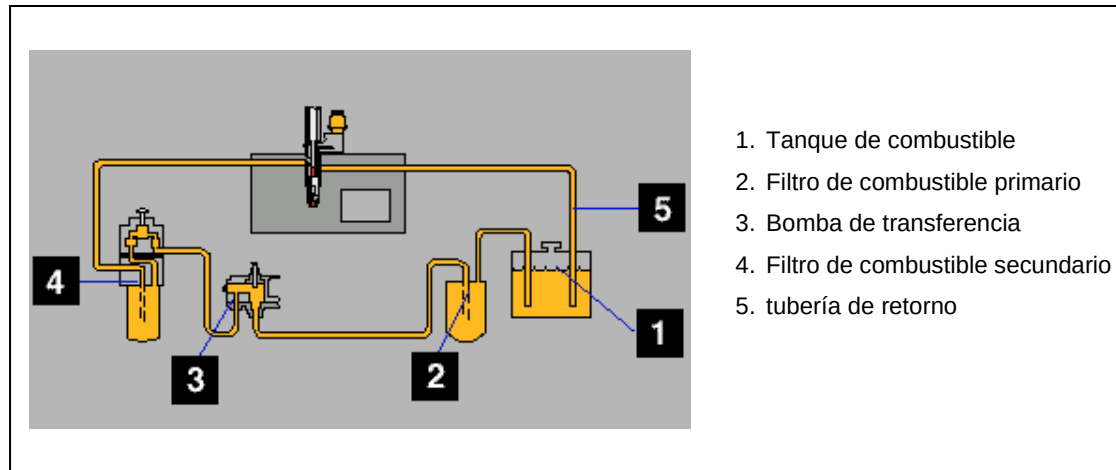
Las unidades de inyección EUI, usan algunos de los componentes del sistema tradicional, como el tanque de combustible, filtro de combustible primario, bomba de transferencia de combustible, filtro de combustible final y tubería de retorno. Ver figura 22.

En el sistema de inyección EUI la unidad de inyección es accionada por un balancín al igual que el caso anterior, pero el comando del combustible es realizado electrónicamente. Los inyectores se hallan montados en la culata.

En un sistema de inyección electrónico, el regulador mecánico, el avance de la sincronización y el control de la relación aire-combustible son remplazados por componentes electrónicos. Tal es el caso que los sistemas EUI usan un Módulo de Control Electrónico (ECM) para contener algunos de los componentes electrónicos e información de programación.

¹ Sistemas de inyección de combustible patentados por CATERPILLAR®

Figura 22. **Esquema de sistema de inyección EUI**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 86.

Por último y el más moderno es el sistema HEUI, el cual es accionado hidráulicamente por una bomba hidráulica especial y comandado al igual que en el caso anterior electrónicamente. Ver figura 23.

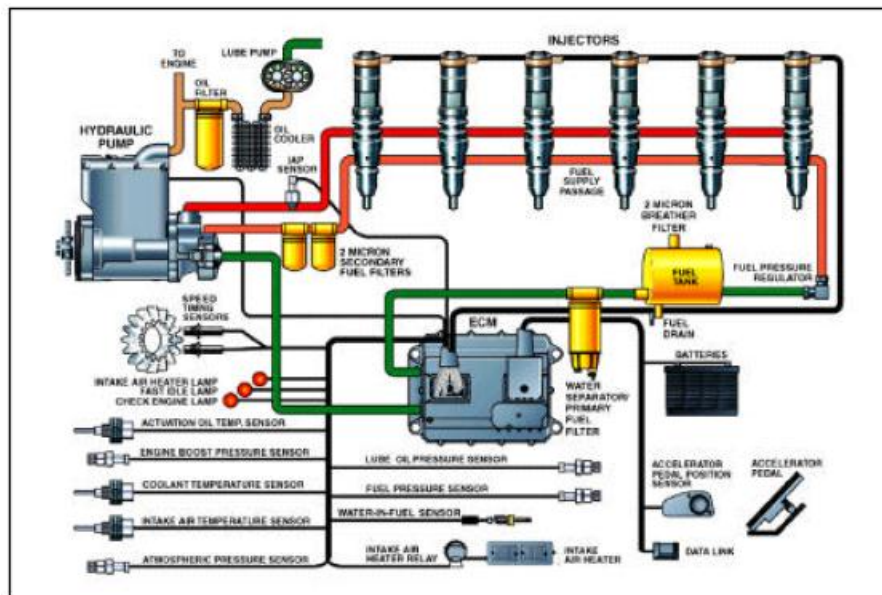
La operación del sistema HEUI es completamente diferente de cualquier otro sistema de combustible que esté actuado mecánicamente. El sistema HEUI no requiere ajustes, los cambios en el rendimiento del motor se realizan instalando diferente software en el módulo de control electrónico.

El sistema de combustible consta de cuatro componentes básicos:

- Unidad de inyección electro - hidráulica (HEUI)
- Módulo de control electrónico
- Bomba hidráulica
- Bomba de transferencia

La bomba de transferencia puede ser reparada. Los componentes internos del sistema HEUI no pueden ser reparados, es decir, no pueden ser desarmados. El desarme de estos dañará el componente.

Figura 23. Esquema de sistema de inyección HEUI



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 87.

1.8. Cámaras de combustión. Diferencia entre sistema bomba / tubería versus inyección unitaria

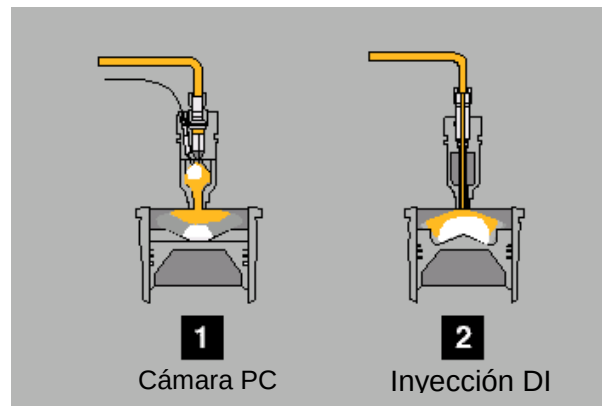
El diseño de la cámara de combustión afecta la eficiencia del combustible y el rendimiento del motor. El diseño del pistón y el método usado para inyectar combustible dentro del cilindro determinan la rapidez con que el combustible se quema por completo.

En los sistemas de bomba y tuberías, hay dos tipos de diseño de cámara de combustión. Ver figura 24.

- Cámara de precombustión o PC
- Inyección directa o DI

En un diseño de cámara de combustión directa, el combustible se inyecta directamente en el cilindro a través de la boquilla o inyector.

Figura 24. **Cámaras de combustión / sistema bomba-tubería**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 87.

En un sistema de precombustión, la boquilla inyecta el combustible en una cámara de precombustión donde se inflama. Esto obliga al resto del combustible a pasar a la cámara principal, donde tiene lugar la combustión completa. En algunos motores se usan bujías incandescentes para calentar el aire al arrancar el motor.

1.9. Sistema de inyección mecánico

Con el tiempo los fabricantes de motores han efectuado cambios de diseño importantes en el sistema de combustible. Los nuevos diseños han mejorado el rendimiento del motor y reducido las emisiones.

A continuación, se explicará un sistema mecánico de inyección de combustible que usa un regulador, una unidad de avance de la sincronización y un control de la relación de aire–combustible.

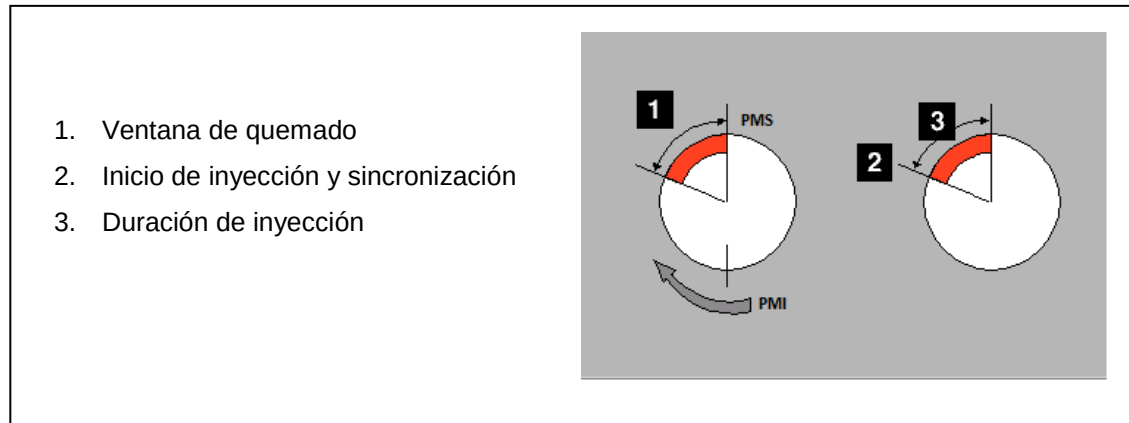
1.9.1. Momento en que se produce la inyección

En los motores diésel, el combustible se inyecta durante el tiempo de compresión, antes de que el pistón llegue al punto muerto superior. El principio básico de inyección de combustible es que se debe inyectar la cantidad apropiada de combustible en el momento oportuno para satisfacer las demandas de potencia.

1.9.2. Ventana de quemado

El combustible requiere tiempo para quemarse. Se debe inyectar la cantidad adecuada de combustible en el momento indicado del tiempo de compresión para que se queme completamente. Esto se denomina ventana de quemado y se mide en grados de giro del cigüeñal. La ventana de quemado se define por el punto inicial de la inyección o sincronización y la duración de la inyección, que también se miden en grados. Ver figura 25.

Figura 25. **Representación de ventana de quemado**



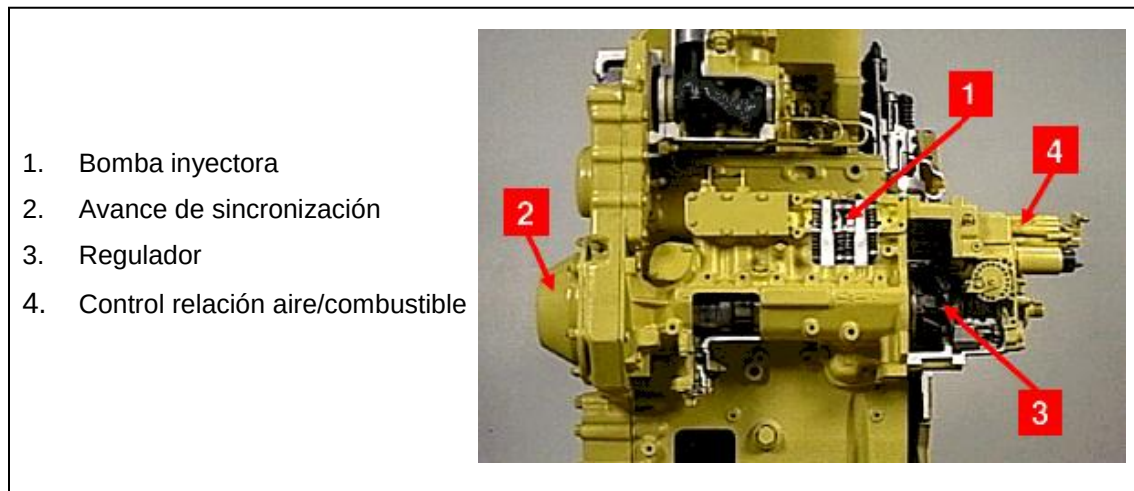
Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 88.

1.9.3. Componentes de sistemas de inyección mecánico

En un sistema de combustible mecánico, la bomba inyectora, el avance de sincronización, el regulador y el control de la relación de combustible funcionan en conjunto para controlar la inyección de combustible. Ver figura 26.

A medida que cambia la carga y la velocidad del motor, se deben inyectar cantidades variables de combustible en momentos diferentes para mantener las ventanas de quemado apropiadas. El momento en que se inyecta el combustible es controlado por una unidad de avance de sincronización, mientras que el regulador controla la cantidad de combustible suministrada al motor.

Figura 26. **Componentes de sistema de inyección mecánico**



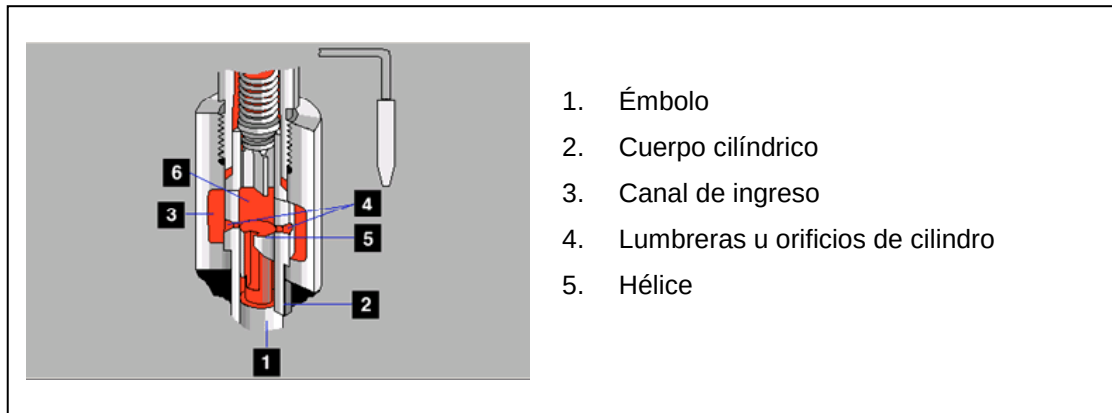
Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 89.

1.9.4. Bomba inyectora

Es el núcleo del sistema de combustible. Entender la forma en que opera es el primer paso crítico para entender la inyección de combustible. En un sistema de bombas y tuberías, las unidades inyectoras tienen un émbolo dentro de un cuerpo cilíndrico. El émbolo se mueve hacia arriba y hacia abajo, siguiendo el movimiento del árbol de levas de la bomba de combustible. Ver figura 27.

El combustible a baja presión ingresa al canal y sale del cuerpo cilíndrico por los orificios. Ver figura 27.

Figura 27. **Bomba inyectora seccionada**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 89.

El émbolo tiene una ranura o hélice maquinada, cuando esta se alinea con los orificios, el combustible pasa del orificio de entrada por la cámara de bombeo al orificio de salida. Ver figura 27.

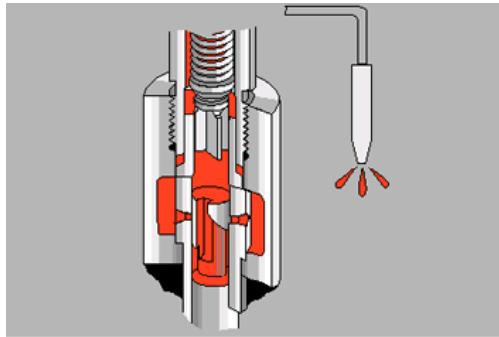
1.9.5. Inicio de la inyección de combustible

Cuando la hélice bloquea los orificios, el combustible de la cámara de bombeo queda atrapado y forzado contra la boquilla. Es en este momento que comienza la inyección. Este punto se llama sincronización de inyección y se controla cambiando la posición del árbol de levas de la bomba de combustible. Ver figura 28.

1.9.6. Duración de la inyección de combustible

La inyección se produce durante el tiempo en que las lumbreras están cerradas por la hélice. Este período se llama duración, cuanto mayor sea la duración mayor será la cantidad de combustible inyectada. Ver figura 29.

Figura 28. **Inyección de combustible**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 90.

La duración viene controlada girando el émbolo en su interior, esto cambia la cantidad de hélice que existe entre las lumbreras.

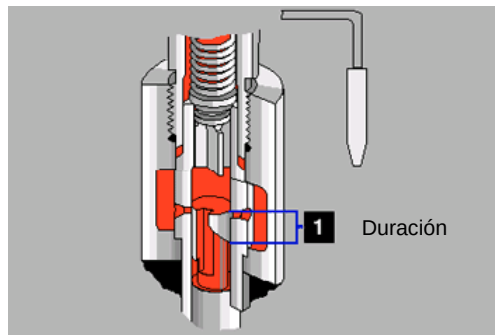
Las lumbreras se cierran antes (corte de combustible) o se dejan abiertas más tiempo (suministro de combustible).

1.9.7. Regulador y cremallera

La duración de la inyección viene controlada por el regulador y la cremallera. Todas las unidades bombeadores de combustible están conectadas al regulador por medio de la cremallera de control de combustible.

Cuando el motor requiere más combustible, sólo puede conseguirlo si aumenta la duración de la inyección. El regulador detecta la necesidad de combustible y mueve la cremallera. Ver figura 30.

Figura 29. **Duración de inyección**



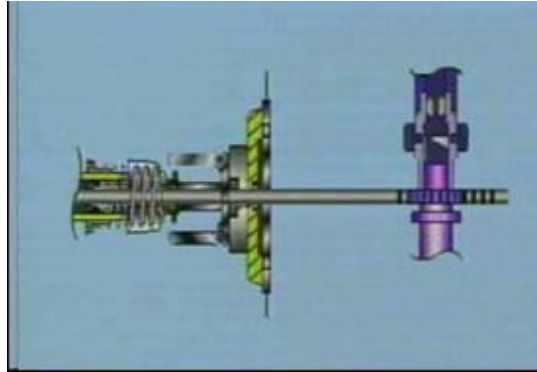
Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 90.

1.9.8. Posición de la hélice

Los émbolos pueden girar ligeramente en el interior del cuerpo cilíndrico, de modo que la hélice mantenga cerradas las lumbreras más tiempo, aumentando la duración de la inyección. Esta posición se denomina suministro de combustible. Ver figura 31.

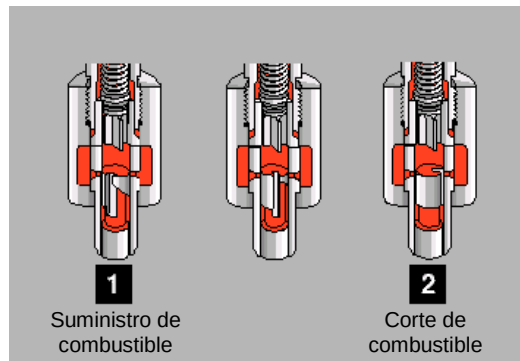
A medida que disminuye la demanda de combustible, la cremallera se mueve hacia la posición de corte de combustible y las lumbreras se abren antes. Ver figura 31.

Figura 30. **Mecanismo regulador – cremallera**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 91.

Figura 31. **Movimiento descendente de hélice**

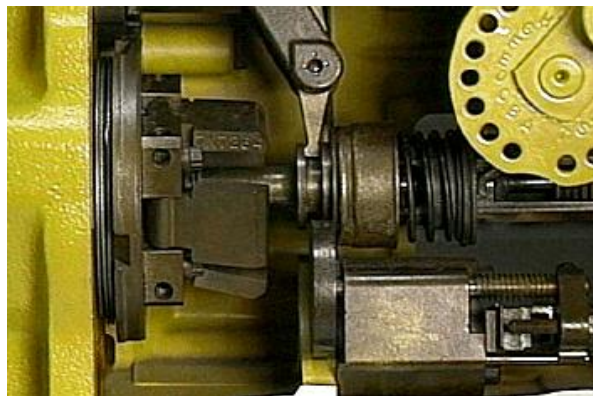


Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 91.

1.9.9. Funcionamiento del regulador mecánico

Los reguladores usan un sistema de pesas y resortes para mover la cremallera de control. Los resortes siempre tratan de mover la cremallera a una posición de entrega de combustible, mientras que las pesas tratan de mover la cremallera hacia la posición de corte de combustible. Cuando las fuerzas se equilibran, el motor opera a revoluciones estables. Ver figura 32.

Figura 32. **Mecanismo de regulación, motor Caterpillar**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 92.

El suministro de combustible afecta directamente la velocidad del motor y la potencia producida. El mayor suministro de combustible aumenta la potencia del motor.

Los reguladores regulan el suministro de combustible para controlar la velocidad del motor entre un ajuste de bajas revoluciones y un ajuste de altas revoluciones, llamado velocidad baja en vacío y alta en vacío respectivamente.

1.9.10. Avance de sincronización

A medida que cambian la carga y la velocidad del motor, se debe inyectar combustible en momentos diferentes para mantener el tiempo apropiado para la combustión. A medida que aumenta la velocidad del motor, el combustible debe inyectarse antes, esto es el avance de la sincronización. A medida que disminuye la velocidad del motor, el combustible debe inyectarse más adelante. Ver figura 33.

Figura 33. **Mecanismo de avance de sincronización**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 92.

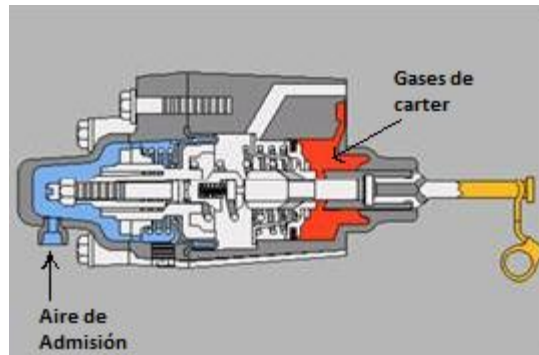
La unidad de avance de sincronización avanza o retrasa la inyección de combustible alterando el giro del árbol de levas de la bomba de combustible.

La sincronización de la inyección puede avanzarse o retrasarse, la sincronización de avance significa que el combustible se inyecta antes del punto muerto superior, mientras que la de retraso significa que el combustible se inyecta más adelante del punto muerto superior, en la carrera del pistón.

1.9.11. Control de relación aire – combustible

El sistema de combustible no puede operar aislado de otros sistemas del motor. En particular, el sistema de admisión de aire es crítico, es decir, que el combustible no se quema completamente a menos que haya suficiente aire.

Figura 34. Control de relación de aire



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 93.

El control de la relación de combustible asegura que haya la cantidad apropiada de combustible inyectada para la cantidad de aire presente en el cilindro. Este sistema detecta la presión de refuerzo y anula la acción del regulador para impedir que se inyecte un exceso de combustible, lo que mejora las emisiones y la eficiencia de combustible.

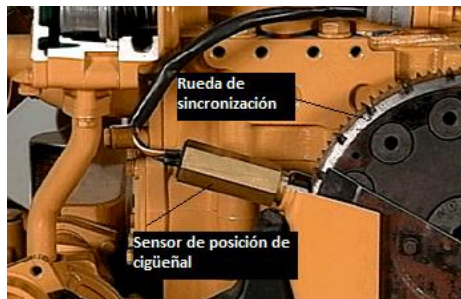
El control de aire – combustible se haya montado en el regulador de combustible de la bomba de inyección, esta puede variar dependiendo el modelo del motor.

1.10. Sistemas de inyección electrónicos

En este tipo de sistemas el regulador mecánico, el avance de la sincronización y el control de la relación aire-combustible son remplazados por el módulo de control electrónico y varios solenoides y sensores.

En lugar de un mecanismo de avance de sincronización, hay una rueda de sincronización y un sensor que vigila electrónicamente la velocidad del motor, además brinda información de la posición del cilindro N° 1. Ver figura 35.

Figura 35. Sensor de posición de cigüeñal



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 93.

Todas las funciones realizadas por las unidades mecánicas se controlan electrónicamente, dando una mayor precisión y confiabilidad.

El módulo de control electrónico detecta la velocidad y la carga del motor y ajusta automáticamente la sincronización y la duración de la inyección.

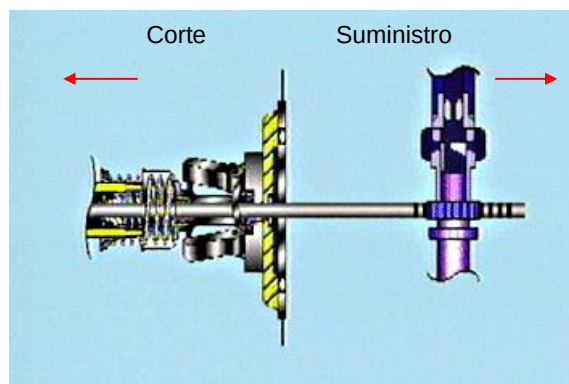
Las ventajas de esto Sistemas son:

- Mayores presiones de inyección
- Rociado uniforme
- Mejor atomización
- Mejor combustión
- Mayor eficiencia del combustible
- Menores emisiones

1.11. Condiciones de operación

Hasta el momento se ha tratado sobre los diversos componentes de la bomba inyectora y la forma en que funcionan la unidad de avance de sincronización y el regulador para ajustar la ventana de quemado.

Figura 36. **Acción de mecanismo de combustible**



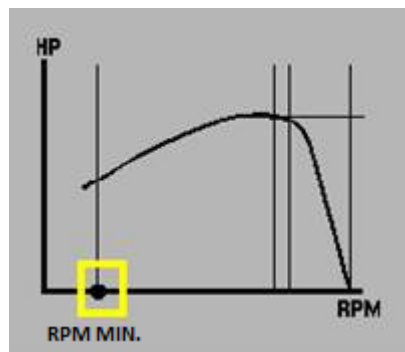
Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 94.

Durante la operación real, el motor normalmente funciona bajo carga. El regulador determina cuáles son las revoluciones correctas del motor para la carga aplicada y mueve la varilla a la posición de suministro o corte de combustible para establecer las revoluciones por minuto adecuadas. Ver figura 36. El mecanismo de avance de sincronización detecta el aumento o la disminución de las revoluciones y varía la sincronización de la inyección para empezar la ventana de quemado en la posición correcta.

1.11.1. Velocidad baja en vacío

Es la mínima velocidad a la que se permite que funcione el motor sin carga. Las bombas inyectoras están diseñadas de modo que suministren cantidades mínimas de combustible al motor. Ver figura 37.

Figura 37. Gráfica HP *versus* RPM: velocidad baja en vacío

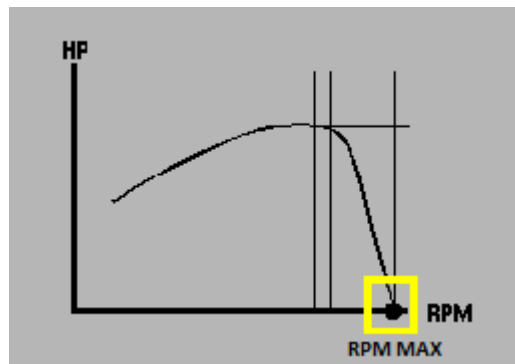


Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 94.

1.11.2. Velocidad alta en vacío

La velocidad alta en vacío son las revoluciones por minuto máximas que se permite que gire el motor sin carga. Ver figura 38.

Figura 38. **Gráfica HP versus RPM: velocidad alta en vacío**



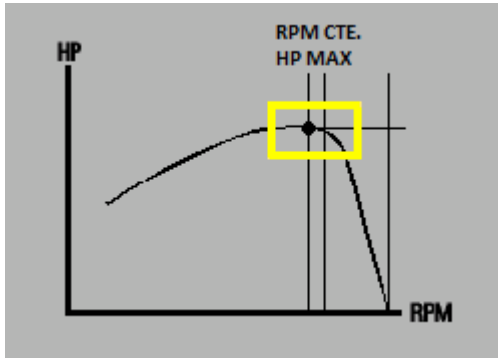
Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 95.

1.11.3. Velocidad nominal

Todos los motores diésel tienen una clasificación llamada plena carga a la velocidad nominal. Estas son las revoluciones por minuto a las que el motor suministra una potencia nominal a plena carga. Ver figura 39.

Las pesas y los resortes del regulador se hallan en equilibrio, cuando el motor funciona bajo carga, a manera de proporcionar unas revoluciones por minuto constantes.

Figura 39. **Gráfica HP versus RPM: velocidad nominal**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 95.

1.11.4. Exceso de velocidad

A veces los motores son operados de tal forma que las revoluciones por minuto son superiores a las altas en vacío. El regulador corta el suministro de combustible pero el motor sigue excediendo la velocidad máxima. Ver figura 40.

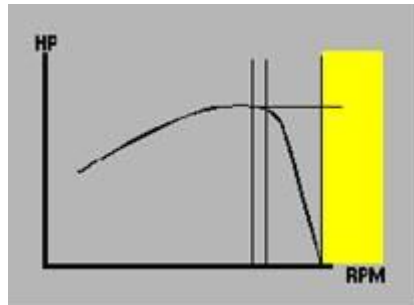
Esto se llama velocidad excesiva y normalmente es consecuencia de un error del operador.

1.11.5. Sobrecarga de motor

En ocasiones los motores están muy cargados y aun cuando el regulador mueva la cremallera hasta la posición de suministro completo de combustible, las revoluciones por minuto del motor no aumentan. Esta operación se denomina sobrecarga del motor. Ver figura 41.

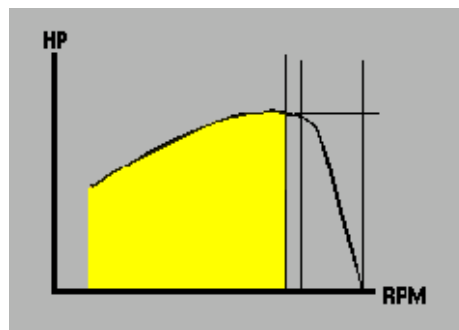
En estas circunstancias, el regulador no puede igualar los requisitos de potencia, ya que no se dispone de más combustible.

Figura 40. **Gráfica HP versus RPM: sobre velocidad**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 95.

Figura 41. **Gráfica HP versus RPM: sobrecarga de motor**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 96.

1.12. Fundamentos del combustible diésel

El combustible produce potencia en un motor diésel cuando se atomiza y se mezcla con aire en la cámara de combustión. La presión causada por el anillo del pistón al subir en el cilindro produce un aumento rápido de temperatura. Cuando se inyecta combustible, se inflama la mezcla y se desprende la energía del combustible.

Un combustible perfecto se quemaría completamente, sin dejar residuos o humos, sin embargo, no existen combustibles perfectos.

La calidad del combustible afecta el rendimiento y mantenimiento de cualquier motor. Es importante entender las propiedades básicas del combustible para juzgar la calidad del mismo.

Estas propiedades tienen un impacto en la operación de un motor:

1.12.1. Peso específico

El peso específico del combustible es el peso de un volumen fijo de combustible comparado con el peso del mismo volumen de agua, a una misma temperatura.

Cuanto mayor sea el peso específico, más pesado será el combustible y más energía o potencia por volumen para la utilización del motor.

1.12.2. Escala API

El peso específico puede medirse en la escala de American Petroleum Institute (API). Ver tabla II.

La escala es inversa al peso específico, cuanto mayor sea el número API más ligero será el combustible. El combustible con un número API bajo proporciona más potencia. Caterpillar recomienda combustibles de 35 grados API como mínimo. El queroseno puede tener una medida de 40–44 grados API.

Tabla II. **Pesos específicos y densidades del combustible**

Pesos Específicos y Densidades del Combustible		
Peso específico		Densidad
Grados API a 15°C (60°F)	Peso Específico a 15°C (60°F)	Libras por Galón
35	.8498	7.076
36	.8448	7.034
37	.8398	6.993
38	.8348	6.951
39	.8299	6.910

Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 97.

1.12.3. Viscosidad

Es una medida de la resistencia a fluir de un líquido. Una viscosidad alta significa que el combustible es espeso y no fluye fácilmente. Por lo contrario, una viscosidad muy baja fluye rápidamente, pero no ofrece propiedades lubricantes.

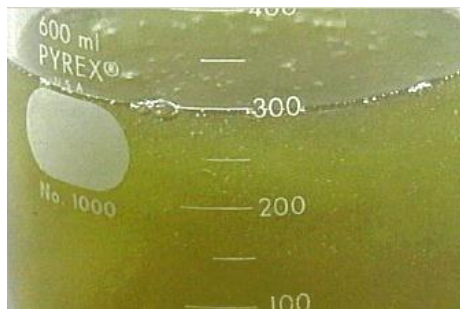
1.12.4. Punto de enturbiamiento

Es aquella temperatura a la que aparece una nube o niebla en el combustible.

Este aspecto es causado por el descenso de temperatura por debajo del punto de fusión de las ceras o parafinas que se producen naturalmente en los productos derivados del petróleo.

El punto de enturbiamiento debe ser inferior a la temperatura mínima exterior o ambiental para impedir el taponamiento de los filtros. Este valor viene determinado por la refinería. Ver figura 42.

Figura 42. **Figura de diésel enturbiado**



Fuente: Caterpillar. Manual de entrenamiento FINNING. p. 97.

1.12.5. Azufre

Es un elemento natural en todos los petróleos crudos. Las concentraciones de azufre por encima del 0,5% pueden reducir considerablemente la duración del motor a menos que se tomen las medidas apropiadas.

1.12.6. Ácido sulfúrico

Cuando se quema el combustible con azufre en la cámara de combustión, se forman óxidos de azufre que reaccionan con el vapor de agua para formar ácido sulfúrico.

Si se condensan estos vapores ácidos, atacan químicamente las superficies de metal de las guías de válvulas, camisas de cilindros y pueden afectar cojinetes.

Para limitar la formación de ácido sulfúrico:

- Mantener la temperatura del motor a más de 80 grados Celsius, evitando condensación.
- Usar un aceite con NBT suficiente para contrarrestar la formación de ácido.

1.12.7. Índice de cetano

Es una medida de la calidad de inflamación del combustible que afecta el arranque y la aceleración del motor.

Cuanto mayor sea el número de cetano, mayor será la rapidez con que se inflama. El cetano se clasifica usando un índice, Caterpillar recomienda:

- Cetano 35 para sistemas de combustible con cámara de precombustión
- Cetano 40 para sistemas de inyección directa

El número o índice de cetano guarda relación con el tiempo que transcurre entre la inyección del carburante y el comienzo de su combustión, denominado intervalo de encendido. Una combustión de calidad ocurre cuando se produce una ignición rápida seguida de un quemado total y uniforme del carburante.

Cuanto más elevado es el número de cetano, menor es el retraso de la ignición y mejor es la calidad de combustión. Por el contrario, aquellos carburantes con un bajo número de cetano requieren mayor tiempo para que ocurra la ignición y después queman muy rápidamente, produciendo altos índices de elevación de presión.

Si el número de cetano es demasiado bajo, la combustión es inadecuada y da lugar a ruido excesivo, aumento de las emisiones, reducción en el rendimiento del vehículo y aumento en desgaste de piezas del motor. Humo y ruido excesivos son problemas comunes en los vehículos diésel, especialmente bajo condiciones de arranque en frío.

En definitiva, es un indicativo de la eficiencia de la reacción que se lleva a cabo en los motores de combustión interna.

Por lo tanto, si el combustible tiene bajo índice de cetano, la inflamación del motor inicia antes.

1.12.8. Contaminación de agua

Los contaminantes son elementos extraños que pueden introducirse en el combustible y causar problemas. El agua puede convertirse en un contaminante:

- Si se introduce en el combustible durante el envío
- Si se produce condensación

1.12.9. Contaminación de sedimentos

Dentro de estos están:

- Óxidos
- Incrustaciones
- Escorias de soldadura
- Polvo

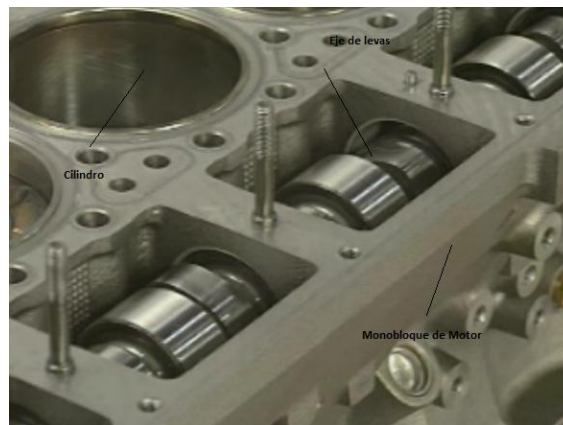
Y otros residuos que se introducen en los tanques.

2. SISTEMA DE INYECCIÓN PRESIÓN TIEMPO (PT)

2.1. Eje de levas

El árbol de levas es colocado en una posición superior en el bloque del motor, esto permite minimizar la distancia entre los seguidores de levas y los balancines. Esto proporciona un tren de válvulas e inyectores con un mejor tiempo de respuesta para un máximo desempeño y economía de combustible del motor. Ver figura 43.

Figura 43. Posición elevada de eje de levas



Fuente: Cummins. Manual Motor ISM. p. 2-2.

En el motor Cummins® ISM® se logró implementar la inyección de doble pulso a tiempo completo, debido al diseño del perfil del árbol de levas. Ver figura 44.

Con las mejoras realizadas en el módulo de control electrónico con mayor capacidad de software y un perfil de árbol de levas rediseñado, el motor es capaz de inyectar a tiempo completo con doble pulso.

Figura 44. **Árbol de levas, motor Cummins ISM**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 8.

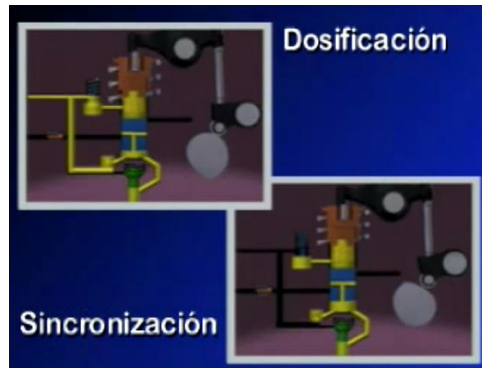
2.1.1. Sistema de pulso doble

El árbol de levas de pulso doble proporciona control de combustible mejorado. La dosificación de combustible se realiza conforme el seguidor de levas se desplaza bajando la rampa del lóbulo y la sincronización de combustible es controlada conforme el seguidor de levas se desplaza subiendo la rampa. Ver figura 45.

2.2. Sistema de admisión

Admisión es la introducción de aire hacia el interior del motor, el cual inicia el proceso de combustión. Este sistema está compuesto por varios componentes de construcción sencilla, pero de gran importancia para mejorar la eficiencia del motor.

Figura 45. **Esquema de sistema de pulso doble**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 9.

2.2.1. Descripción general

El sistema de admisión comprende una serie de componentes los cuales son importantes para mejorar la eficiencia de motores con inyección electrónica. El tipo de sistema de admisión es de tipo aspiración forzada, el cual utilizan un turbocompresor potente y eficiente. Es por ello, que se incluirá en esta sección el sistema de escape, aunque sean sistemas independientes.

2.2.2. Componentes

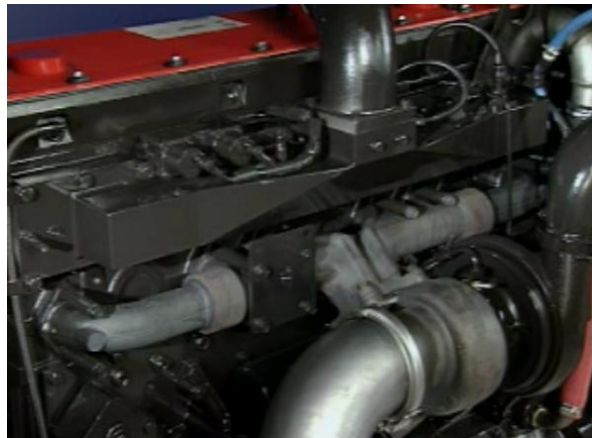
A continuación se describen los componentes de los sistemas de admisión y escape, que forman al motor Cummins ISM, que a su vez comprende un camino lógico dentro del flujo de aire y gases para el motor.

2.2.2.1. Múltiple de admisión

El múltiple de admisión es una fundición en aluminio, montado en el lado de escape de la carcasa de balancines. La función de este es dirigir el flujo de aire de admisión a los cilindros. Ver figura 46.

Generalmente, los motores de tipo automotriz pesado moderno, utilizan una cabeza de cilindros de una sola pieza con una distribución de válvulas de forma de diamante, con cuatro válvulas por cilindro y puertos mejorados.

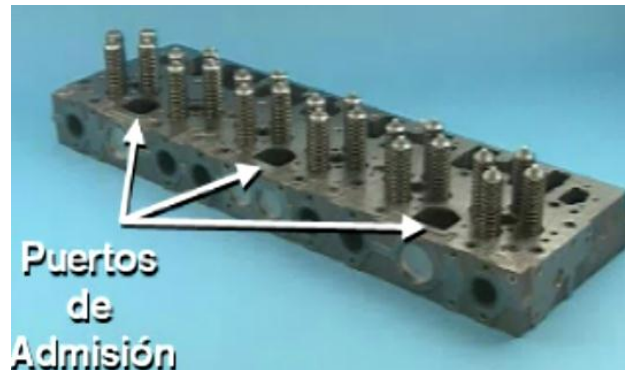
Figura 46. **Múltiple de admisión**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 11.

Existen tres puertos de Admisión a la cabeza (figura 47). Cada uno de los puertos suministra aire a dos cilindros (figura 48).

Figura 47. **Cabeza de cilindros de una pieza**



Fuente: Cummins. Manual Motor ISM. p. 2-3.

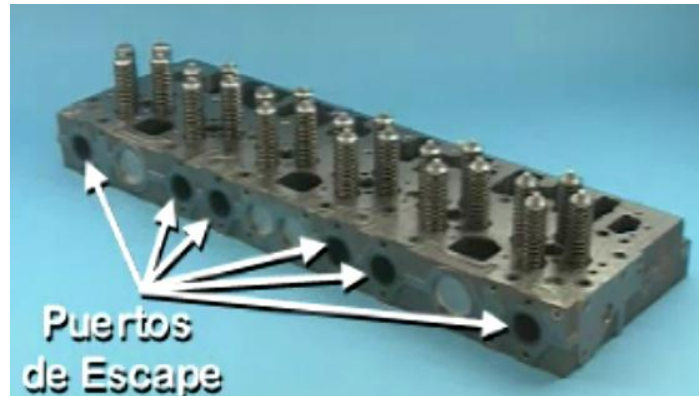
Los puertos de escape están ubicados lateralmente (figura 49) a la cabeza, existe un puerto de escape por cilindro.

Figura 48. **Suministro de aire de admisión**



Fuente: Cummins. Manual Motor ISM. p. 2-3.

Figura 49. **Disposición de puertos de escape en culata**



Fuente: Cummins. Manual Motor ISM. p. 2-4.

El arreglo en forma de diamante, coloca las válvulas cerca de los puertos de entrada y salida para máxima eficiencia en la introducción y expulsión de gases (figura 50).

Figura 50. **Arreglo de válvulas**



Fuente: Cummins. Manual Motor ISM. p. 2-4.

2.2.2.2. Múltiple de escape

El múltiple de escape, es un diseño de gases pulsantes, en este, los cilindros 1, 2 y 3 se conectan al turbocompresor a través de un pasaje, mientras que los cilindro 4, 5 y 6 se conectan por pasaje separado (figura 51).

Esto aísla el flujo de los gases del conjunto frontal y trasero de escape de cilindros, esto mejora la eficiencia del turbocompresor al eliminar la transferencia de gases de escape entre la parte frontal y trasera del motor.

En la base del montaje del turbocompresor este contiene una brida la cual mantiene separado los dos flujos de gases de escape (figura 52).

Figura 51. **Múltiple de escape diseño de gases pulsantes**



Fuente: Cummins. Manual Motor ISM. p. 11-5.

Figura 52. **Brida de montaje de turbocompresor**



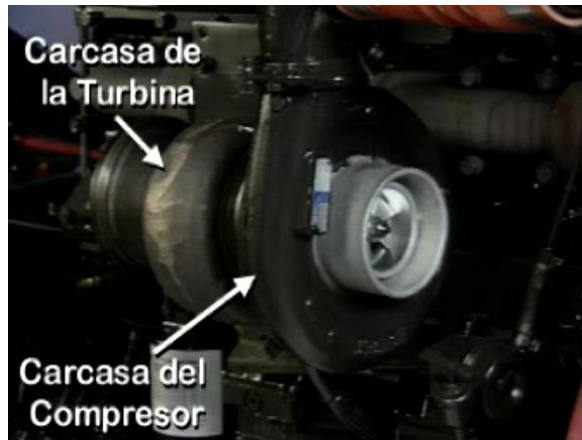
Fuente: Cummins. Manual Motor ISM. p. 11-5.

2.2.2.3. Turbocompresor

Los turbocompresores instalados en motores modernos electrónicos, poseen una serie de características que mejoran la durabilidad y aumenta el rendimiento de combustible por su alta eficiencia.

La gran carcasa del compresor de tolerancia reducida y una carcasa de turbina de vértice centrado. Mejoran la eficiencia del componente, debido a su capacidad de convertir la energía cinética de los gases de escape a movimiento mecánico. Ver figura 53.

Figura 53. **Fotografía de turbocargador Holset**



Fuente: Cummins. Manual Motor ISM. p. 11-3.

A continuación, se describen las mejoras del turbocompresor:

- Compuerta de desahogo

La compuerta de desahogo se utiliza para mejorar el desempeño del turbocompresor en velocidades bajas del motor y para el control de presión del múltiple de admisión en velocidades altas del motor.

El término compuerta de desahogo viene del hecho de que en este tipo de turbocompresor, una parte de gas de escape es desviada alrededor de la turbina y la energía de escape es desahogada. Es decir, que la energía de escape no es usada por el impulsor del compresor del turbocompresor para bombear aire de admisión hacia el motor.

La compuerta de desahogo es una válvula normalmente cerrada en el turbocompresor, permite que una cantidad controlada de gas de escape se derive del impulsor de la turbina.

Abriendo o cerrando esta válvula de compuerta de desahogo, varía la presión del múltiple de admisión al turbocompresor o la presión de aire de admisión dentro del rango deseado. Ver figuras 54 y 55.

En un motor con turbocompresor sin puerta de desahogo, la presión del múltiple de admisión es proporcional a la velocidad del motor, según puede observarse en la gráfica. Ver figura 56.

Figura 54. **Turbocompresor con compuerta de desahogo cerrada**

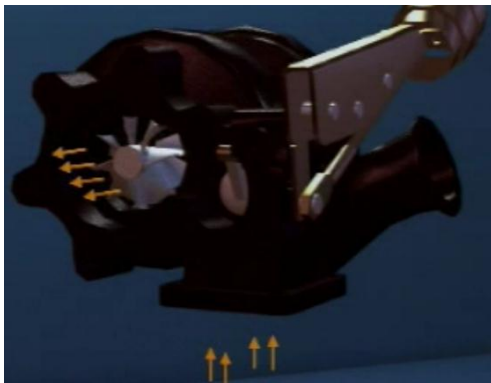
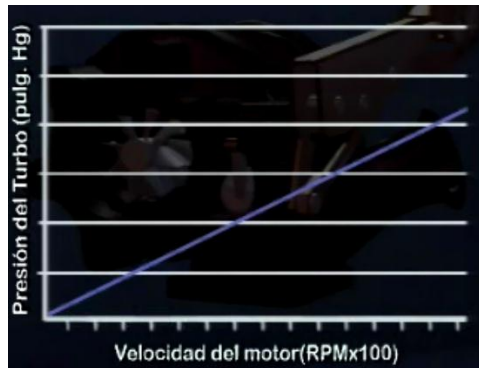


Figura 55. **Turbocompresor con compuerta de desahogo abierta**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 16.

Figura 56. **Gráfica de presión turbo *versus* velocidad del motor**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 17.

Si se desea incrementar el flujo de aire de admisión en velocidades inferiores del motor o en potencia de torque pico, se podrá utilizar un turbocompresor de mayor capacidad, sin embargo, este turbocompresor resulta en más presión de admisión de la que requiere el motor y en presiones y temperaturas excesivas de los cilindros a velocidad nominal. Ver figura 57.

Utilizando un turbocompresor que produzca la presión de múltiple de admisión adicional a la deseada a velocidad de torque pico y que recorte la presión o descargue el gas de escape a torque pico a velocidad nominal, se obtiene la velocidad para cargar el múltiple de admisión en rango entero de operación del motor. Ver figura 58.

Figura 57. **Gráfica del incremento de presión del turbocompresor de mayor capacidad**

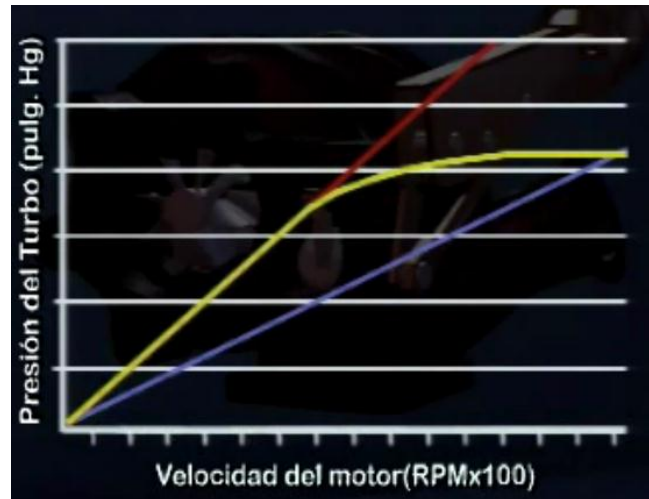


Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 17.

El objetivo de un turbocompresor con compuerta de desahogo es mantener constante la potencia a velocidad nominal, a su vez proporciona mejor aceleración, respuesta más rápida a velocidades inferiores del motor y la presión de múltiple de admisión adicional que se necesita en torque pico. Ver figura 59.

Un actuador en la base del montaje del turbocompresor, controla la posición de la válvula de desahogo. Dependiendo de la presión del múltiple de admisión que recibe.

Figura 58. **Efecto de válvula de desahogo**



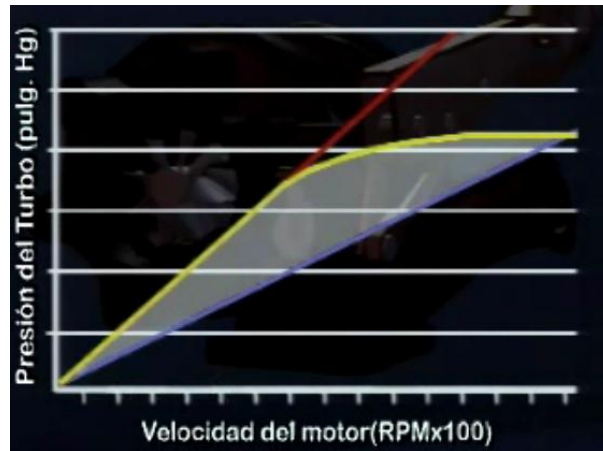
Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 18.

El actuador de la puerta de desahogo, es un depósito con una varilla. Un extremo de la varilla está conectado a un diafragma, dentro del depósito y el otro extremo está conectado a la válvula de compuerta de desahogo (figura 61).

Un resorte interno en el depósito aplica la fuerza para cerrar la válvula.

Desde el múltiple de admisión al turbocompresor, se aplica una carga que trata de abrir la válvula, a esta fuerza se le opone la del resorte interno en el depósito.

Figura 59. **Comportamiento de turbocompresor con válvula de desahogo**



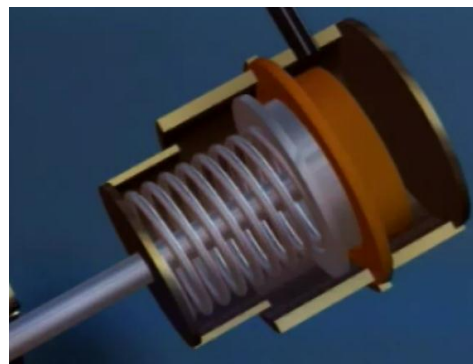
Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 19.

Figura 60. **Montaje de válvula de desahogo**



Fuente: Cummins. Manual Motor ISM. p. 11-5.

Figura 61. **Actuador de válvula de desahogo seccionada**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 20

La posición de la compuerta de la válvula de desahogo es determinada por el balance de la presión del múltiple de admisión y el resorte. Cuando la presión de admisión del turbocompresor es mayor a la presión que opone el resorte, la compuerta de desahogo abre para permitir que el gas de escape evada el impulsor de la turbina del turbocompresor. Cuando la presión disminuye el resorte cierra la válvula.

Puesto que el turbocompresor utiliza un puerto de entrada doble, la compuerta de desahogo solo deriva gases de escape de los tres cilindros traseros fuera de la turbina.

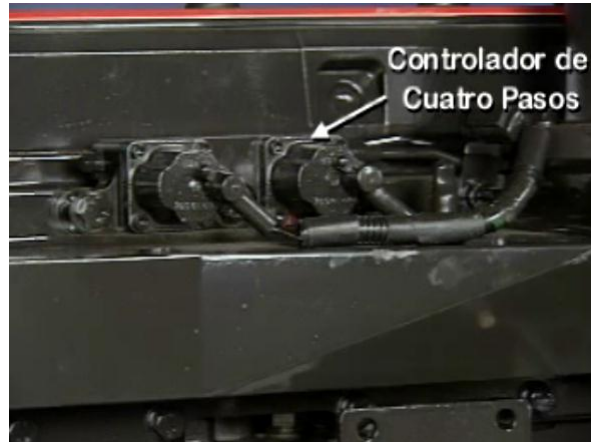
- Control de cuatro pasos de puerta de desahogo

El control de cuatro pasos de la compuerta de desahogo, controla la presión del múltiple de admisión suministrada al actuador en cuatro pasos distintos. Este control de cuatro pasos proporciona control mejorado de la presión del múltiple de admisión. Ver figura 62.

Una tabla almacenada en el módulo de control electrónico, determina el paso de la compuerta de desahogo deseado, para la velocidad del motor y la dosificación de combustible requerida.

El módulo de control electrónico envía señales a los dos solenoides de la compuerta de desahogo, para colocar el control de la compuerta de desahogo en la posición deseada, esto proporciona un mejor equilibrio en el flujo de aire para la velocidad y dosificación de combustible actuales del motor.

Figura 62. **Solenoides de sistema de cuatro pasos. Ubicación superior sobre múltiple de admisión**



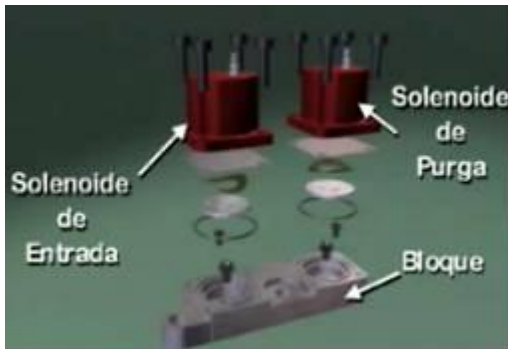
Fuente: Cummins. Manual Motor ISM. p. 10-33.

- Componentes de válvulas de cuatro pasos

El control de cuatro pasos de la compuerta de desahogo consiste de un bloque de control de presión, solenoide de entrada y solenoide de purga. Ver figura 63.

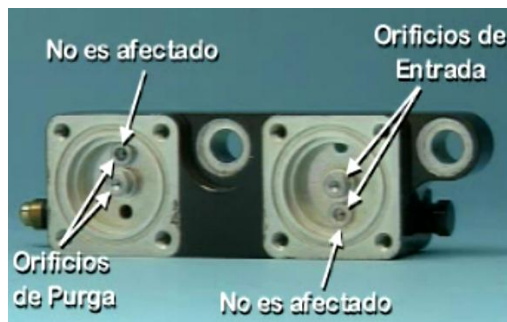
En el bloque de control, se encuentran dos orificios de entrada y dos orificios de purga, cada uno de estos orificios están precisamente dimensionados para permitir la cantidad deseada de flujo. Uno de los orificios de entrada no es afectado por la posición del solenoide, este orificio proporciona una vía de flujo para que la presión del múltiple de admisión entre hacia la válvula de control en todo momento. Uno de los orificios de purga tampoco es afectado por la posición del solenoide, este orificio de purga permite purgar algo de aire de la válvula de control en todo momento. Ver figura 64.

Figura 63. **Partes del control de cuatro pasos**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 22.

Figura 64. **Referencia de orificios de entrada y purga**



Fuente: Cummins. Manual Motor ISM. p. 10-31.

A continuación se describe la operación de la válvula de cuatro pasos de la válvula de desahogo.

- Paso de control número 1

Con el solenoide de entrada energizado y el solenoide de purga desenergizado, el aire de admisión de la válvula de control fluye a través de ambos orificios de entrada, una pequeña cantidad de aire se desahoga en la atmósfera a través del orificio de purga abierto. La mayoría del flujo de aire es dirigido al actuador de la compuerta de desahogo. Esta posición del actuador proporciona el máximo flujo de aire dentro del bloque de control y descarga la mínima cantidad de aire a la atmósfera, ya que la presión de aire de admisión para abrir la válvula de la compuerta de desahogo. Esta posición del control de la válvula de desahogo, proporciona la presión más baja de alimentación en el múltiple de admisión de los cuatro pasos. Ver figura 65.

Figura 65. **Control de desahogo paso 1**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 24.

- Paso de control número 2

En este paso, los dos solenoides se encuentran desenergizados. Con los solenoides en esta posición el aire de admisión fluye a través del orificio de entrada, abierto dentro del pasaje común. Parte de este flujo de aire pasa a través del orificio de purga abierto. El orificio de purga abierto, permite la entrada de aire al bloque de control, del cual puede salir a través del orificio de purga abierto. El resto de flujo de aire en la válvula de control es dirigido al control de la compuerta de desahogo, esta posición del control proporciona el mínimo aire dentro del bloque de control y descarga la mínima cantidad de aire a la atmósfera. En este paso de control existe mayor presión en el múltiple de admisión comparado con el paso 1. Ver figura 66.

Figura 66. **Control de desahogo paso 2**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 24.

- Paso de control número 3

Con el tercer paso de control, los dos solenoides se encuentran energizados. Con los solenoides en esta posición el aire fluye a través de ambos orificios de entrada dentro del pasaje común, parte de este flujo de aire pasa a través de los orificios de purga abiertos. El resto del flujo de aire es dirigido al actuador de la válvula de desahogo. En esta posición se permite el máximo flujo de aire dentro de la válvula de control y la máxima cantidad de flujo de aire es desahogada a la atmósfera. En este paso de control del múltiple de admisión, existe mayor presión comparada con el paso dos. Ver figura 67.

Figura 67. **Control de desahogo paso 3**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 25.

- Paso de control número 4

El cuarto paso de control de la compuerta de desahogo requiere la presión de múltiple de admisión más alta para abrir la válvula de la compuerta de desahogo. En este paso el solenoide de entrada es desenergizado y el solenoide de purga es energizado.

Con los solenoides en esta posición, el flujo a través del orificio de entrada sale del bloque de control a través de ambos orificios de purga, entra más flujo de aire al orificio de entrada abierto del que puede purgarse a través de los dos orificios de purga abiertos. El aire restante que no se descarga a la atmósfera es dirigido al actuador de la compuerta de desahogo, en esta posición se permite el mínimo flujo de aire dentro de la válvula de control y la máxima cantidad de flujo de aire es descargada a la atmósfera.

En esta posición la mínima presión de múltiple de admisión es dirigida al actuador de la compuerta de desahogo. Esta posición del control resulta en la máxima presión de múltiple de admisión disponible. Ver figura 68.

Se presenta un resumen de la posición de cuatro pasos de la válvula de control. Ver tabla III.

La alteración del control de cuatro pasos, no incrementará la potencia del motor y puede reducir la economía de combustible, además la presión de múltiple de admisión excesiva, puede resultar en daño al motor.

Figura 68. **Control de desahogo paso 4**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 26.

El módulo de control electrónico usa un algoritmo basado en la velocidad del motor, para determinar el paso deseado. Este algoritmo está diseñado para evitar que el módulo de control electrónico cicle frecuentemente entre pasos.

Tabla III. **Resumen control de desahogo. Válvula de cuatro pasos**

PASO	SOLENOIDE DE ENTRADA	SOLENOIDE DE PURGA	RESULTADO
1	ENERGIZADO	DESENERGIZADO	Máxima entrada de aire, Mínimo de aire venteado. Máxima presión a compuerta de desahogo. Mínima presión de turbo.
2	DESENERGIZADO	DESENERGIZADO	Mínima entrada de aire. Mínimo aire venteado. 1 paso más de presión de turbo.
3	ENERGIZADO	ENERGIZADO	Máxima entrada de aire. Máximo de aire venteado. 2 pasos más de presión del turbo.
4	DESENERGIZADO	ENERGIZADO	Mínimo aire de entrada. Máximo aire venteado. Mínima presión a la compuerta de desahogo. Máxima presión del turbo.

Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 27.

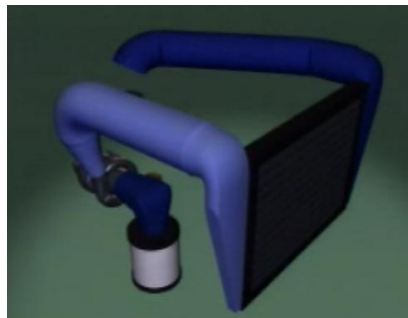
2.2.3. Flujo de admisión de gases

El flujo hacia el interior del motor, comienza a medida que el aire de admisión es aspirado a través del filtro en el lado de compresor del turbocompresor por el impulsor del compresor. El aire presurizado del turbocompresor se dirige al enfriador de carga de aire ubicado en el frente del radiador de refrigerante del vehículo.

El aire frontal y el del ventilador ocasionan que el aire ambiente fluya alrededor de los tubos que llevan el aire de admisión. Este flujo de aire ambiente más frío baja la temperatura del aire de admisión. Después de pasar por el enfriador de aire, el aire de admisión más frío se dirige al múltiple de admisión.

El uso de un enfriador de carga de aire, proporciona temperatura de aire de admisión más baja, incrementa la potencia del motor y reduce las emisiones de gases. Ver figura 69.

Figura 69. Ilustración de carga de aire postenfriada



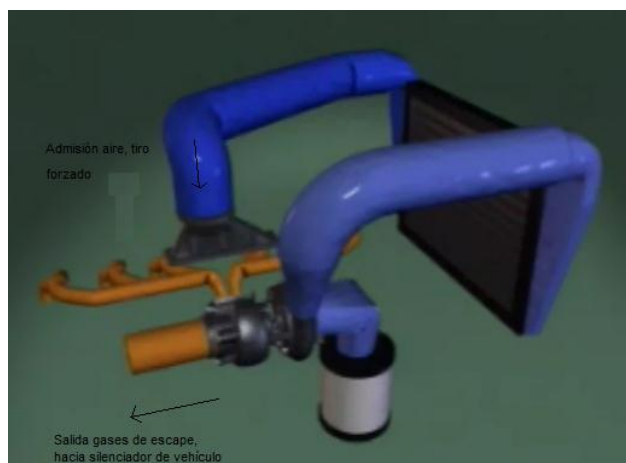
Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 33.

Del múltiple de admisión, el aire fluye a cada uno de los cilindros, cuando una válvula de admisión abre, el aire fluye dentro de la cámara de combustión, después cuando esta cierra, el movimiento ascendente del pistón comprime el aire en el cilindro, casi en la parte superior al finalizar la carrera de compresión, el combustible es inyectado, que con el aire comprimido genera la combustión.

Al complementar la combustión el pistón inicia su carrera hacia arriba, forzando los gases fuera del cilindro, a través de las válvulas de escape abiertas.

El gas entra en el múltiple de escape y luego al lado de turbina del turbocompresor. La energía del gas al pasar por el impulsor de la turbina ocasiona que esta gire. Ya que el impulsor de la turbina gira, el impulsor del compresor por estar conectado en un mismo eje común. El giro del impulsor de la turbina ocasiona que el impulsor del compresor gire.

Figura 70. **Ilustración de descarga de gases de escape**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 24.

A medida que el impulsor del compresor gira, aspira aire de admisión fresco hacia el interior del sistema. Ver figura 70.

Del turbocompresor, el gas de escape fluye hacia fuera, a través del sistema de escape del vehículo. Ver figura 70.

2.3. Sistema de combustible

En esta sección se presenta el sistema de inyección de combustible presión-tiempo, describiendo inicialmente los componentes, para luego desarrollar el flujo de combustible a través de estos, finalizando en la dosificación de combustible dentro el cilindro.

2.3.1. Descripción general

Este sistema es uno de los más avanzados de la actualidad utilizado en motores de combustión interna, tiene componentes electrónicos para controlar con precisión las funciones de dosificación de combustible y sincronización de inyección. Este sistema basado en algoritmos computacionales que sustituyen acciones mecánicas que en determinados puntos críticos pierden eficiencia. Como resultado puede observarse mejora en el desempeño del motor, optimiza la economía de combustible y reduce las emisiones de gases de escape.

2.3.2. Componentes

A continuación se describen los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos del sistema de inyección de combustible presión-tiempo desarrollado por Cummins.

2.3.2.1. Módulo de control electrónico (ECM)

El módulo de control electrónico, es uno de los componentes principales. Es encargado de procesar la señal de sensores e interruptores para cumplir su fin primordial, la de proporcionar dosificación y sincronización precisa.

Este es refrigerado por una tubería interna, por el cual circula combustible alrededor de la placa electrónica. La energía disipada en forma de calor emitida por el módulo de control electrónico, es transferida hacia el combustible, evitando que este se sobrecaliente y cause daños en el componente. Ver figura 71.

Figura 71. **Esquema de refrigeración de ECM**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 35.

Posee aisladores de calor, que evitan transferencias de calor y vibración del motor hacia el módulo de control electrónico.

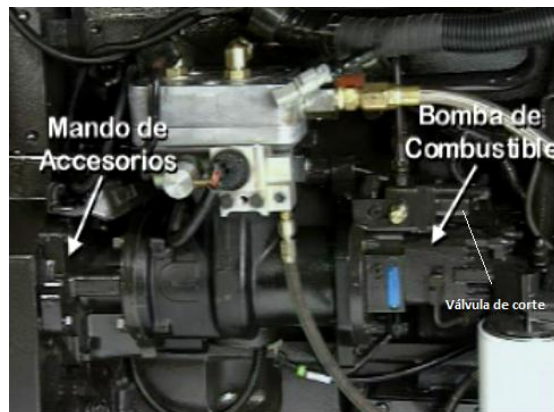
2.3.2.2. Bomba de combustible o transferencia

La bomba de combustible de desplazamiento positivo, accionado por engranes, es impulsado por el mando de accesorios (figura 72).

La bomba incorpora un regulador de presión de combustible, el cual es encargado de mantener constante la presión en aproximadamente 150 libras sobre pulgada cuadrada. Esto proporciona una presión relativamente constante a los inyectores y tubos a través de cavidades dentro de la cabeza de cilindros.

El flujo excedente de combustible del regulador de presión, es regresado al lado de entrada de la bomba de combustible.

Figura 72. **Acople de mando de accesorios. Motor Cummins® ISM**



Fuente: Cummins. Manual Motor ISM. p. 5-3.

2.3.2.3. Ensamble de bomba de combustible

El ensamble de bomba de combustible, está acoplado en la toma de mando que suministra tracción al compresor y posteriormente a la bomba de engranes ubicado en la parte trasera. Ver figura 72.

- Filtro de combustible

Este tipo de motores necesita un filtro separador de combustible, debido a que cantidades significativas de agua en el combustible, pueden causar daños en inyectores, mermando la lubricación y facilitando la oxidación de componentes internos, finamente pulidos.

Se requiere filtros de alta capacidad, que filtra progresivamente desechos, ofreciendo mejor protección que el medio tradicional.

Con eficiencia del 98,7% al remover partículas de 10 micras o más, con casi dos veces mayor capacidad de retención de suciedad, comparado con un medio de filtración típico. Ver figura 73.

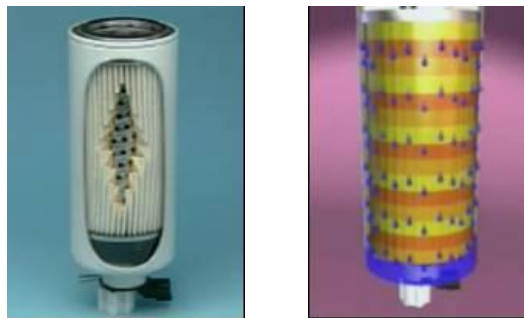
Las ventajas ofrecidas por estos filtros son:

- Filtración más fina, lo cual reduce el ingreso de contaminantes que dañan las boquillas de los inyectores.

- Mejora en la remoción de agua. La contaminación de agua en el combustible puede darse por condensación de vapor en los tanques de combustible del camión y de almacenamiento de dispensadores de combustible y contaminación directa del distribuidor. El filtro remueve hasta un 85% de agua en el combustible. Ver figura 73.
- Mejor contención de impurezas. Este ofrece un mayor volumen para retener contaminantes, el cual únicamente era logrado al combinarse con una filtración secundaria.
- Prolonga la vida de servicio, ya que ofrece una menor restricción al flujo del combustible y debido a mejor contención de impurezas.

Este filtro está diseñado para ofrecer una mejor protección al sistema de combustible, utiliza un papel de celulosa el cual contiene cinco capas, que proporcionan mejores propiedades que los filtros normales de celulosa.

Figura 73. **Filtro / separador de combustible marca Fleetguard**



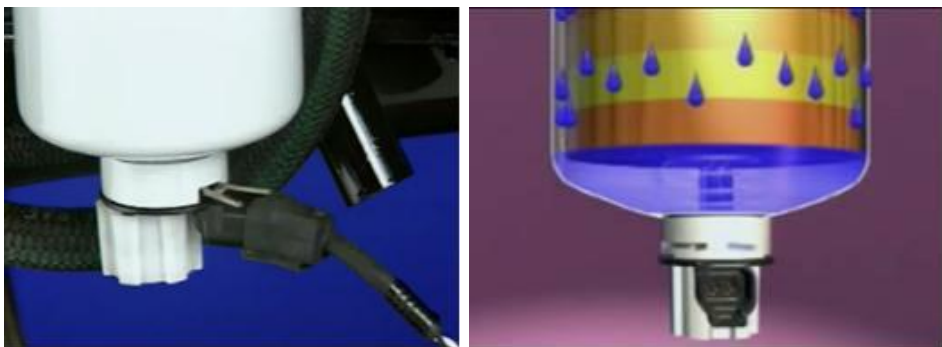
Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 42.

- Sensor de agua en combustible (WIF)

El sensor de agua en el combustible, WIF (Water In Filter) por sus siglas en inglés, instalado dentro de la parte inferior del filtro (figura 74), detecta cuando el nivel de agua dentro del filtro alcanza los contactos del sensor. Cuando el agua en el filtro alcanza este nivel, se crea una trayectoria de flujo eléctrico a través de los contactos, esta señal indica al módulo de control electrónico un nivel alto de agua en el filtro, luego el módulo de control electrónico ilumina la lámpara de mantenimiento para alertar al operador, que debe drenar el filtro, esto proporciona retroalimentación en tiempo real al operador para drenar el filtro de combustible.

La importancia de evitar el contacto del agua en el sistema de combustible, es debido a que el diésel cumple la función de lubricante, especialmente en inyectores, por tratarse de tolerancias muy pequeñas entre componentes y ser superficies altamente pulidas, crea una pronta oxidación que puede causar fundición entre los componentes.

Figura 74. **Sensor WIF. Ubicado en parte inferior del filtro**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 44.

- Válvula de corte

La válvula de corte está instalada en la salida de la bomba de transferencias. Simplemente es una electroválvula on/off, que es accionada por el módulo de control electrónico, cuando la válvula es desenergizada detiene el flujo de combustible a la bomba, cuando la válvula es energizada por la señal del módulo de control electrónico, el solenoide abre el pasaje a la bomba de combustible (figura 72). También cumple la función de interrumpir la marcha del motor cuando se activa el modo de prevención, debido a una señal del módulo, proporcionada por una señal que pone en peligro la integridad del motor.

- Soporte de filtro de combustible

Este componente generalmente está atornillado a un costado del motor, su función es servir de soporte para la instalación del filtro y es el encargado de introducir combustible proveniente del tanque y posterior al filtrado proporcionar salida hacia la bomba de transferencia.

2.3.3. Flujo de combustible en sistema

A continuación se presentará el flujo de combustible desde la extracción en el tanque hasta el momento final de la inyección.

2.3.3.1. Paso 1: extracción y filtración de combustible

El combustible es extraído desde el tanque de combustible hasta el filtro, por medio de la succión que produce la bomba de transferencia.

El filtro remueve agua y desechos del combustible, antes de ser enviado a la bomba de combustible. Ver figura 75.

2.3.3.2. Paso 2: bomba de combustible

La bomba de combustible, es una bomba de desplazamiento positivo de tipo de engranes, el combustible es llevado a la entrada de la bomba de combustible por los engranes giratorios.

Figura 75. **Filtración de combustible**



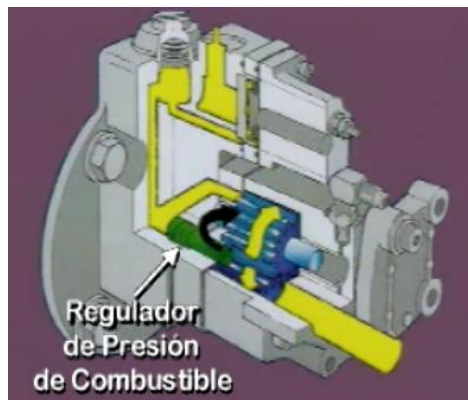
Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 51.

Los engranes presurizan el combustible y lo dirigen a través de pasajes internos, pasando por un regulador de presión de combustible. Ver figura 76.

2.3.3.3. Paso 3: regulación de presión de combustible

El regulador de presión, está ubicado en la bomba de combustible y está ajustado a aproximadamente 150 libras sobre pulgada cuadrada. Ver figura 77.

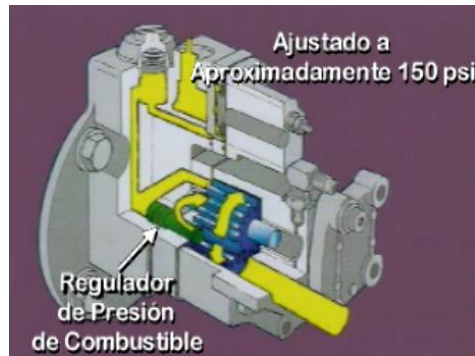
Figura 76. Sección de bomba de transferencia



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 52.

Este logra controlar la presión por medio de un pistón perforado, con un resorte de retorno, el combustible fluye a través de un agujero taladrado en medio del pistón. Cuando este llega a su punto máximo de restricción del flujo de combustible, un resorte es cedido, lo cual deriva un ducto, en el cual, el combustible excesivo, se deriva para mantener la presión deseada en el sistema a la entrada principal de la bomba de combustible.

Figura 77. **Regulación de presión de combustible**



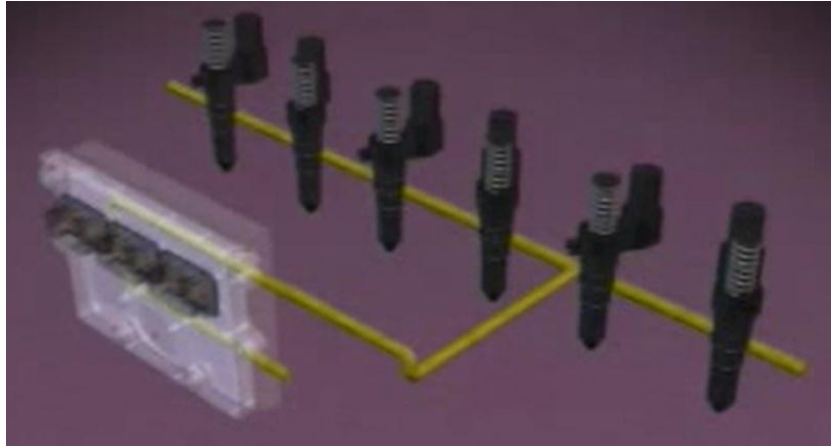
Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 53.

2.3.3.4. Paso 4: ductos de combustible

De la bomba de combustible, se dirige el combustible por una tubería detrás del módulo de control electrónico, el combustible que viaja detrás de la placa, enfría los circuitos electrónicos y reduce la acumulación de calor excesivo en el módulo de control electrónico.

De la placa de enfriamiento, el combustible fluye a través de la línea de suministro a la cabeza de cilindros (culata), una cavidad dentro de la cabeza de cilindros suministra combustible a cada uno de los inyectores. Ver figura 78.

Figura 78. **Esquema de suministro de combustible a inyectores**

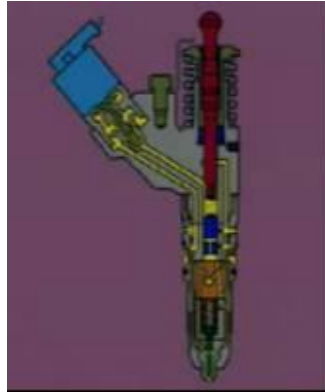


Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 58.

2.3.3.5. Paso 5: inyector

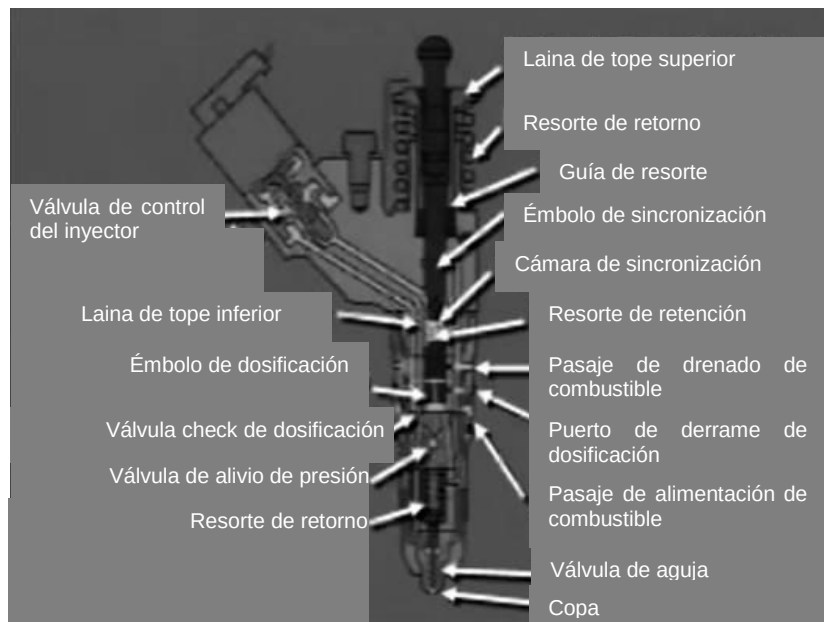
El diseño del inyector de este tipo de motores, proporciona mayor flujo de combustible, para satisfacer las demandas de potencia más altas y emisiones más bajas del motor. Ver figura 79.

Figura 79. **Sección de inyector electrónico**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 59.

Figura 80. **Partes del inyector electrónico**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 60.

- Partes del inyector

Este inyector se divide en las siguientes partes (figura 80):

- Laina de tope superior
- Válvula de control del inyector
- Guía de resorte
- Cámara de sincronización
- Resorte de retención
- Émbolo de dosificación
- Válvula de alivio de presión
- Subensamble de tobera cerrada (Copa, aguja y resorte de retorno)
- Válvula cheque de dosificación
- Puerto de derrame de dosificación
- Pasaje de drenado de combustible
- Pasaje de suministro de combustible
- Émbolo de sincronización
- Laina de tope inferior
- Resorte de retorno
- Ensamble de tope superior

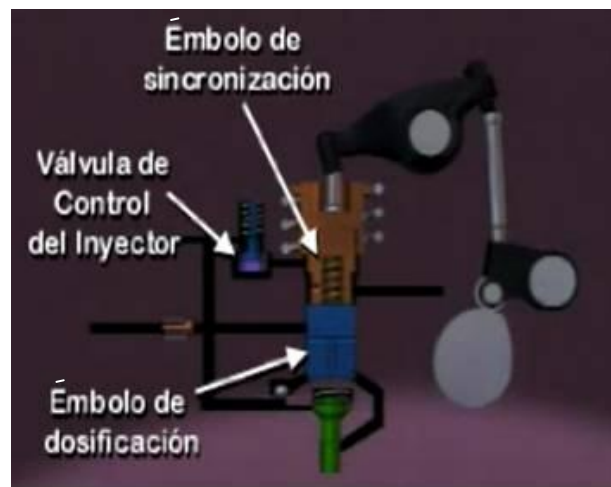
2.3.3.6. Paso 6: inyección de doble pulso de tiempo completo

Al inicio de la dosificación, el émbolo de dosificación y el émbolo de sincronización, están en los límites más bajos de sus carreras. La válvula de control del inyector está cerrada. Ver figura 81.

A medida que el árbol de levas gira, el resorte de retorno del émbolo de sincronización, fuerza al émbolo de sincronización hacia arriba.

El combustible fluye pasando el balín cheque de dosificación y hacia el interior de la cámara de dosificación (figura 82). Este flujo continúa mientras el émbolo de sincronización se mueve hacia arriba y la válvula de control del inyector está cerrada.

Figura 81. **Esquema de inyección. Inicio de dosificación**



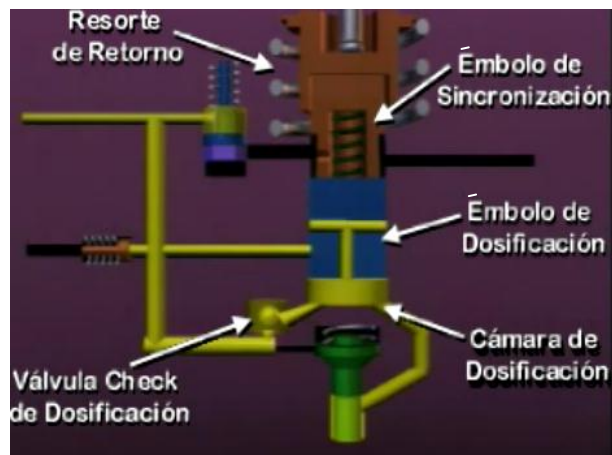
Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 62.

La presión de suministro actuando sobre la parte inferior del émbolo de dosificación, fuerza a mantener contacto con el émbolo de sincronización.

El módulo de control electrónico determina el fin de esta primera cantidad de dosificación, señalándole a la válvula de control del inyector que abra.

Luego, el combustible a la presión de suministro, fluye dentro de la cámara de sincronización, deteniendo el recorrido del émbolo de dosificación. Durante este tiempo, el resorte inclinado asegura que el émbolo de dosificación permanezca estacionario y no se desplace hacia arriba, a medida que el émbolo de sincronización se mueve (figura 83).

Figura 82. **Llenado de cámara de dosificación**



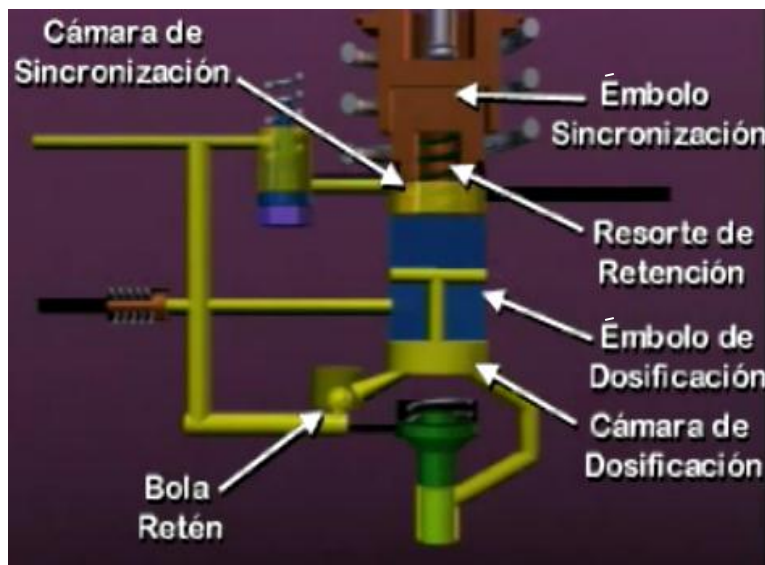
Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 63.

Esta misma fuerza contra el émbolo de dosificación, resulta en suficiente presión de combustible debajo del émbolo, para mantener asentado el balón cheque de dosificación.

Luego, en aproximadamente 150 grados del cigüeñal antes de la inyección, el solenoide cierra nuevamente. La presión de combustible es dirigida nuevamente a la cámara de dosificación, esto permite que una cantidad adicional de combustible entre a la cámara de dosificación (figura 84).

La reducción del retardo entre el tiempo en el que el combustible es dosificado dentro del inyector y cuando es inyectado dentro del cilindro, permite mejor control del combustible dosificado dentro del inyector y mejora la respuesta del acelerador.

Figura 83. **Llenado de cámara de sincronización**

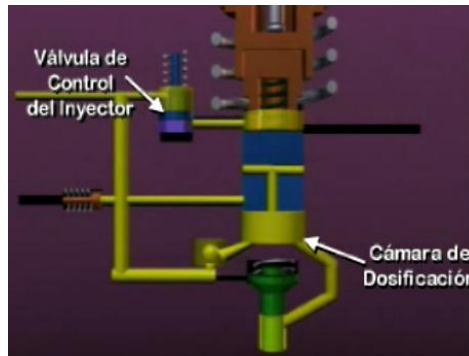


Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 64.

Posteriormente una cantidad de combustible, precisamente dosificada es atrapada dentro de la cámara de dosificación, esto determina la cantidad de combustible que será inyectado.

Controlando cuando se abre la válvula, el módulo de control electrónico determina cuánto combustible es dosificado dentro la cámara de dosificación.

Figura 84. **Segundo llenado de cámara de dosificación**

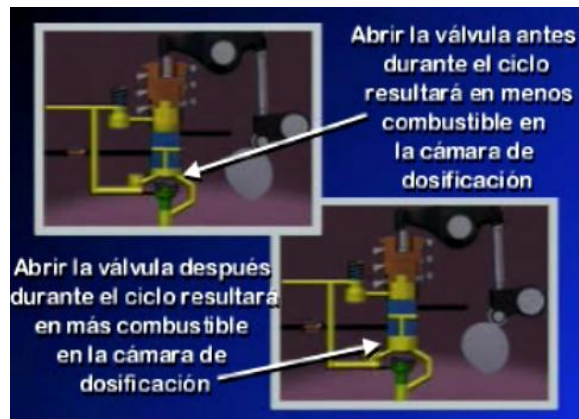


Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 65.

Abriendo la válvula más pronto en el ciclo, resulta menos combustible en la cámara de dosificación y abriendo la válvula más tarde, permite más combustible en la recámara. Ver figura 85.

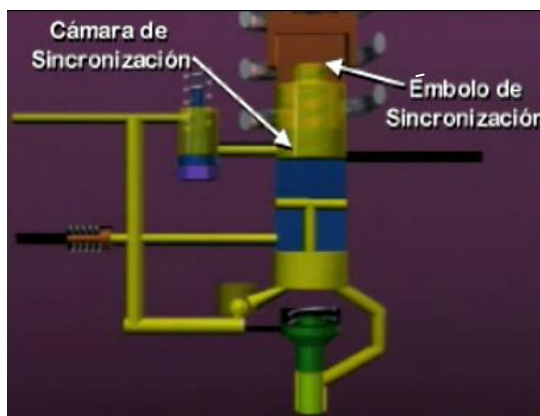
El émbolo de sincronización continúa moviéndose hacia arriba hasta finalizar su carrera, a medida que el émbolo se mueve hacia arriba, la cámara de sincronización se llena con combustible. Ver figura 86.

Figura 85. **Apertura de válvula de dosificación**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 65.

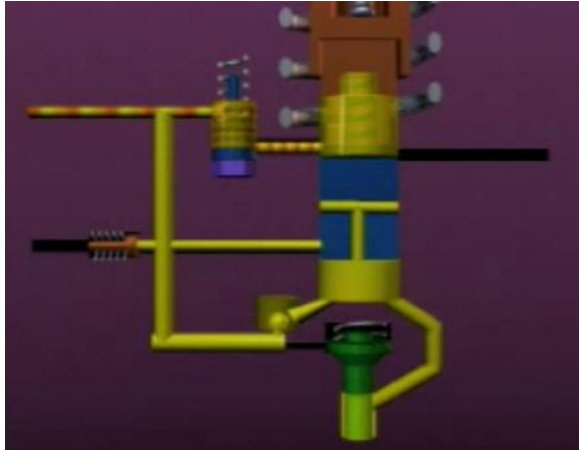
Figura 86. **Fin de carrera, émbolo de sincronización**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 66.

Al iniciar el émbolo su recorrido hacia abajo, la válvula de control del inyector permanece abierta, esto permite que el combustible fluya de la cámara de sincronización a través de la válvula de control del inyector al pasaje de suministro. Ver figura 87.

Figura 87. **Suministro de cámara de sincronización**

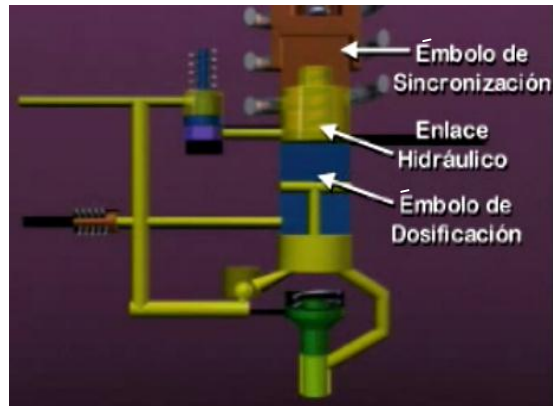


Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 66.

En el momento apropiado el módulo de control electrónico cierra la válvula de control del inyector, atrapando combustible en la cámara de sincronización. Este combustible atrapado actúa como un enlace hidráulico sólido, entre el émbolo de sincronización y el émbolo de dosificación. Ver figura 88.

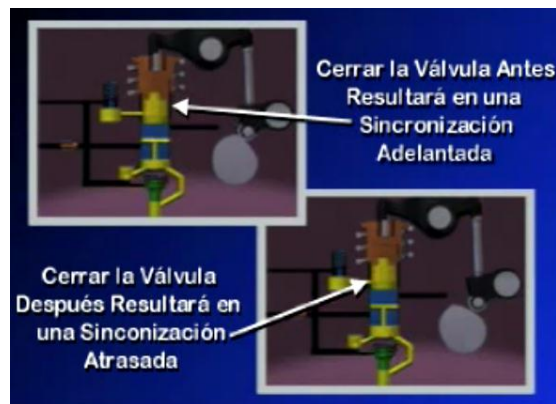
El módulo de control electrónico controla la sincronización de inyección, cuando envía una señal a la válvula de control para que cierre (figura 89 superior). Cerrando la válvula más pronto resulta en sincronización adelantada y cerrando la válvula más tarde en el ciclo, resulta en sincronización retrasada (figura 89 inferior).

Figura 88. **Enlace hidráulico en inyector**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 67.

Figura 89. **Sincronización de inyector**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 68.

Como resultado del enlace hidráulico, el émbolo de dosificación es forzado a moverse hacia abajo junto con el émbolo de sincronización.

Como el combustible está atrapado (figura 90 izquierda), la fuerza hacia abajo en el émbolo de sincronización es transferida hacia el émbolo de dosificación, este movimiento del émbolo de dosificación incrementa la presión en la cámara de dosificación (figura 90 derecha).

Cuando la presión en la cámara de dosificación llega a aproximadamente 5 000 libras sobre pulgada cuadrada, la válvula de aguja comienza a ser forzada hacia arriba contra la presión del resorte de retorno de la válvula de aguja, el movimiento continuo del émbolo de sincronización y del émbolo de dosificación resulta en una presión de combustible incrementándose constantemente. Como resultado de esta presión creciente, el combustible es forzado a pasar la válvula de aguja a través de los orificios de aspersión y dentro de la cámara de combustión. Ver figura 91.

Figura 90. **Incremento de presión dentro de inyector**

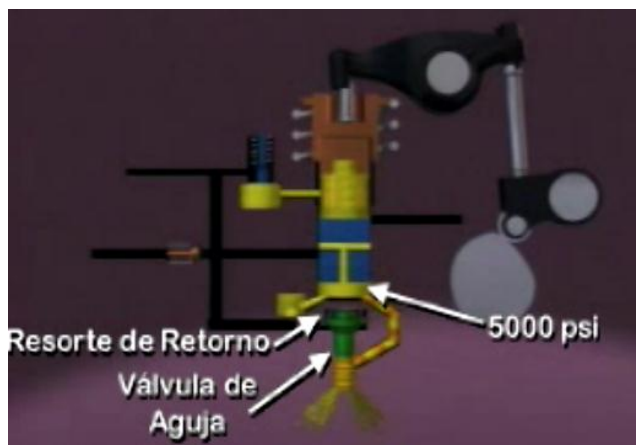


Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 69.

La inyección continúa hasta que el pasaje de derrame del émbolo de dosificación, pasa al puerto de derrame de dosificación (figura 92 derecha).

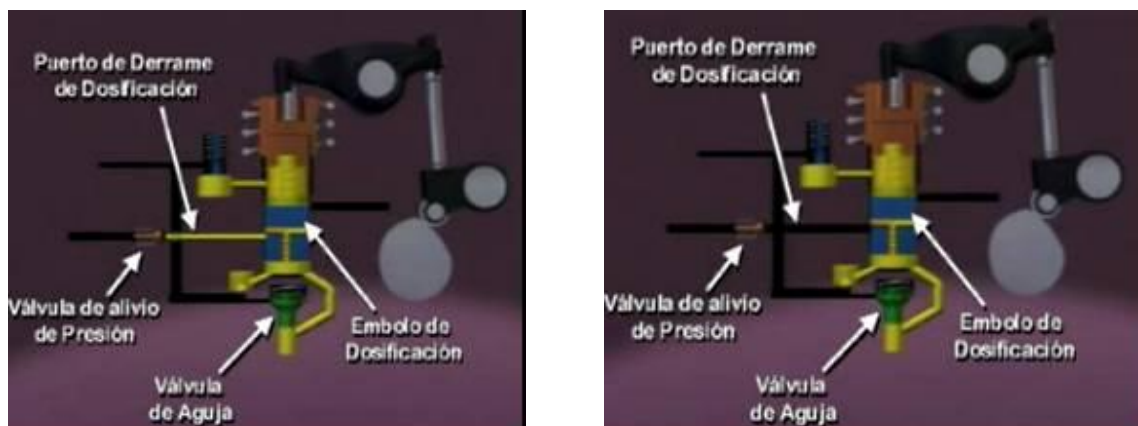
La presión en cámara de dosificación cae rápidamente, permitiendo que la válvula de aguja cierre abruptamente (figura 92 izquierda). Esta acción resulta en un final de inyección positiva, esto evita goteo y resulta en combustión más limpia.

Figura 91. **Inyección de combustible**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 70.

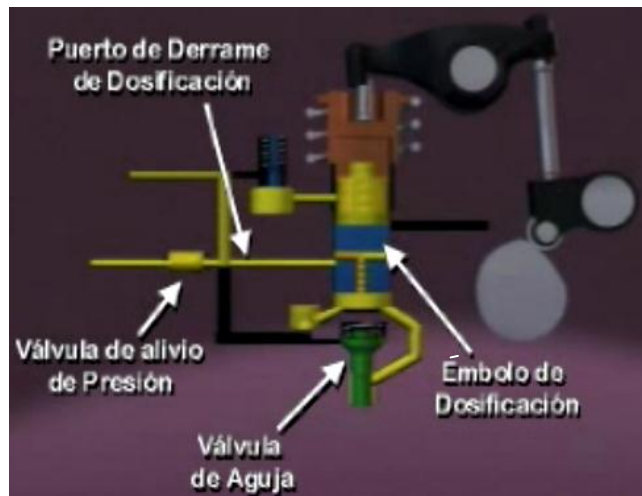
Figura 92. **Inyección continua de combustible**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 70.

El combustible a alta presión en la cámara de dosificación ocasiona que la válvula de alivio de presión se dispare. Esto reduce los picos de alta presión que ocurre al derrame de dosificación. Ver figura 93.

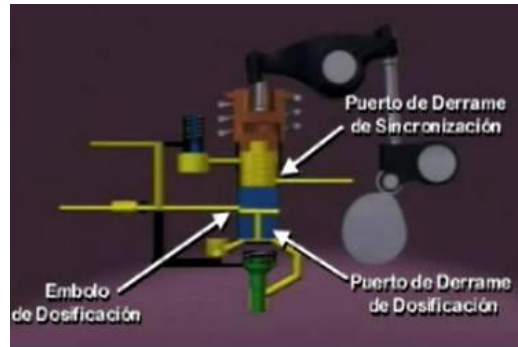
Figura 93. **Accionamiento de válvula de alivio**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 71.

El pasaje de la válvula de alivio se conecta a la línea de drenado de combustible. Inmediatamente después que el puerto de derrame de dosificación abre, la arista superior del émbolo de dosificación pasa el puerto de derrame de sincronización. Esto permite que el combustible en la cámara de sincronización sea derramado dentro del drenado de combustible, a medida que el émbolo de sincronización completa su carrera hacia abajo, esto completa el ciclo de inyección. Ver figura 94.

Figura 94. **Derrame de combustible, final de inyección**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISM. p. 72.

Variando la cantidad del tiempo en que la válvula de control del inyector permanece abierta y permanece cerrada, el módulo de control electrónico es capaz de tener control preciso de los valores independientes de dosificación y sincronización de cada inyector.

2.3.3.7. Paso 7: drenado de combustible

El combustible de cámara de sincronización y de la válvula de alivio de presión, salen del inyector y fluyen a través del riel interno de retorno de combustible dentro de la cabeza de cilindros. Este combustible regresa al tanque a través de la línea de retorno.

2.4. Sistema electrónico

Los sistemas computarizados de control del motor se desarrollaron originalmente para ayudar a los vehículos a satisfacer las regulaciones de emisiones específicas para el gobierno.

2.4.1. Descripción general

Un sistema de control de inyección electrónico de combustible, es un conjunto de elementos avanzados que puede ser integrado en muchas aplicaciones que consiste en sensores, interruptores, conductores, conexiones, módulo de control electrónico (ECM), que contempla la parte de análisis de la aplicación y es gobernado como hardware y software y uno de los componentes más importantes de la aplicación que son los inyectores.

Los sistemas electrónicos iniciaron su participación a mediados de los 80 pero no fue a finales de la década cuando los motores totalmente electrónicos aparecieron. Dentro sus principales ventajas respecto a motores con inyección convencional, se puede mencionar:

- Optimización de economía de combustible
- Reducción de mantenimiento
- Rapidez en diagnósticos del motor
- Protección de motor
- Gobernabilidad del motor mejorado
- Mejor arranque en frío
- Control de gases de escape
- Reducción de niveles de emisión de gases nocivos

2.4.2. Componentes del sistema electrónico

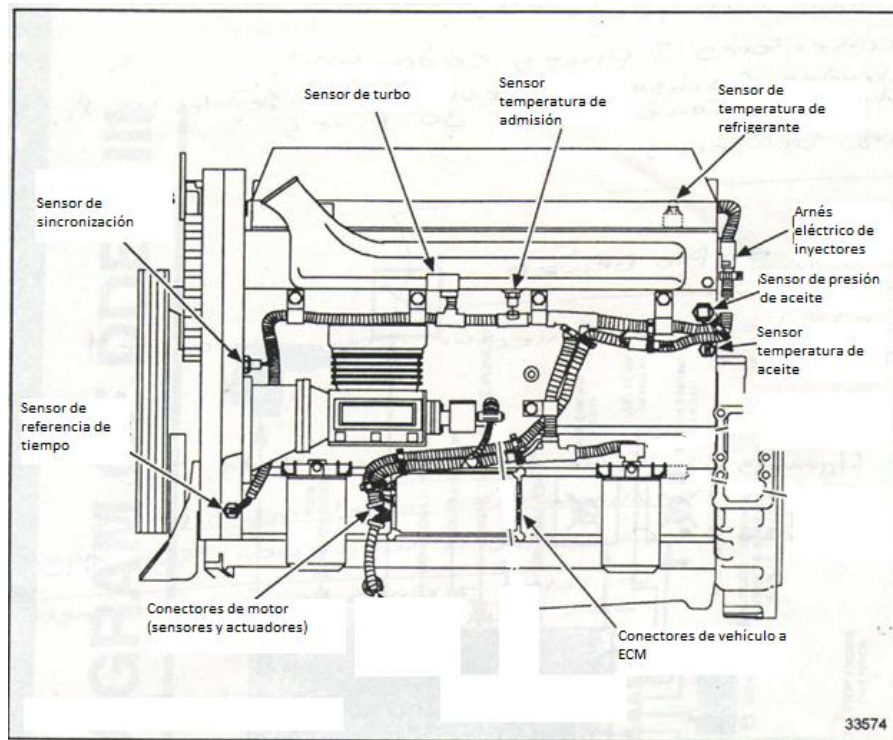
Dentro esta sección se incluyen los sensores de la versión básica del motor con inyección electrónica diésel. El modelo presentado es de un motor Detroit Diésel serie 60, DDEC III, que su sistema electrónico es similar al motor Cummins ISM.

2.4.2.1. Sensores

Los sensores de información, reúnen datos (tales como la masa del aire de admisión o su temperatura, temperatura de refrigerante, posición de acelerador, contenido de oxígeno en el gas de escape (figura 95) y transmiten estos datos en forma de señales eléctricas, al módulo de control electrónico (ECM).

El módulo de control electrónico compara estos datos con su programación, la cual comunica lo que estos datos deben ser bajo las condiciones de funcionamiento actuales del motor. Si los datos no se emparejan con la programación, el módulo de control electrónico envía señales a los actuadores de salida (inyectores de combustible), los cuales corrigen la operación del motor para que se empareje con la programación.

Figura 95. **Ubicación de sensores. Motor Detroit diésel serie 60**



Fuente: Detroit Diésel. Curso: Conocimientos básicos sistema DDEC. p. 7.

- Sensor de presión y temperatura de aceite

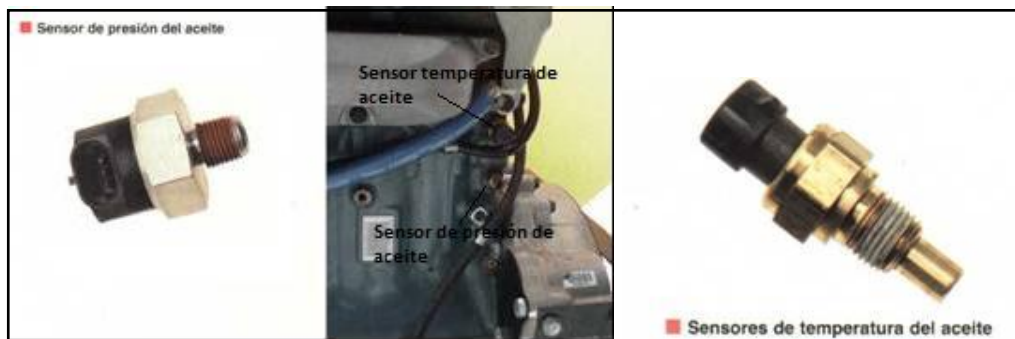
El sensor de presión de aceite es de tipo piezo-resistivo, monitorea constantemente la presión de aceite dentro del sistema de lubricación. Dependiendo las condiciones de velocidad del motor así será la presión. Ver figura 96.

Dependiendo del fabricante del motor la presión puede variar de 15 libras sobre pulgada cuadrada en ralentí (500 a 700 revoluciones por minuto) hasta 45 libras sobre pulgada cuadrada a velocidad de gobernación (1 800 o 2 200 revoluciones por minuto).

Este sensor también es utilizado para la protección del motor, si la presión disminuye el módulo puede parar el funcionamiento de este.

El sensor de temperatura de aceite es de tipo termistor, ajusta la velocidad de marcha en vacío y la sincronización de inyección a sus niveles óptimos para mejorar los arranques en frío y reducir la emisión de humo blanco.

Figura 96. **Sensor de presión y temperatura de aceite**



Fuente: Detroit Diésel. Curso: Conocimientos básicos sistema DDEC. p. 8.

También existe una variante de este sensor en algunos motores, que es una combinación de un sensor piezo-eléctrico y termistor, el cual monitorea la presión y temperatura del aceite, en un solo punto del motor.

El sensor de temperatura de aceite lubricante tiene también la misma función. Proteger al motor, en este caso la utilización de la temperatura del aceite, es necesario por la alta potencia que desarrolla el motor, el aumento de la temperatura puede disminuir la viscosidad del aceite, lo cual produciría desgastes catastróficos.

- Sensor de temperatura de refrigerante.

Este sensor es de resistencia variable, utilizado para protección del motor. Ubicado en la cámara de refrigerante en el lado de fuego de los motores (lado escape). Ver figura 97.

Este sensor térmico, registra la temperatura del refrigerante, cuando la señal excede aproximadamente un rango de 210 a 220 grados Fahrenheit, emite señal al módulo de control electrónico que el motor está sufriendo un sobrecalentamiento. El módulo puede tomar dos acciones: reducir la potencia del motor y bloquear el acelerador para no sobre exceder las revoluciones o reducir la velocidad para estacionarse y apagar el motor.

- Sensor de nivel de refrigerante

Es un sensor capacitivo, reacciona ante el nivel de refrigerante que al aproximarse a la superficie del fluido, determina su capacidad eléctrica. La distancia de conexión respecto a un determinado material es tanto mayor cuanto más elevada sea su constante dieléctrica. Ver figura 98.

El sensor está formado por un oscilador cuya capacitancia la forma un electrodo interno (parte del propio sensor) y otro externo (constituido por una pieza conectada a masa). El electrodo externo es el refrigerante a sensar, previamente conectado a masa; entonces la capacidad eléctrica en cuestión variará en función de la distancia que hay entre el sensor y el líquido.

Figura 97. **Sensor de temperatura de refrigerante**



Fuente: Detroit Diésel. Curso: Conocimientos básicos sistema DDEC. p. 9.

Figura 98. **Sensor de nivel de refrigerante**



Fuente: Detroit Diésel. Curso: Conocimientos básicos sistema DDEC. p. 10.

Si el nivel del refrigerante es alto y está dentro del límite superior, el sensor estará cerrado (posición Off) y habrá señal al módulo de control electrónico. Cuando el nivel de refrigerante desciende por cualquier anomalía (consumo o fuga) bajo el nivel inferior, el sensor abre el circuito y el módulo de control electrónico bloquea el motor, este no arranca si la señal del refrigerante es baja.

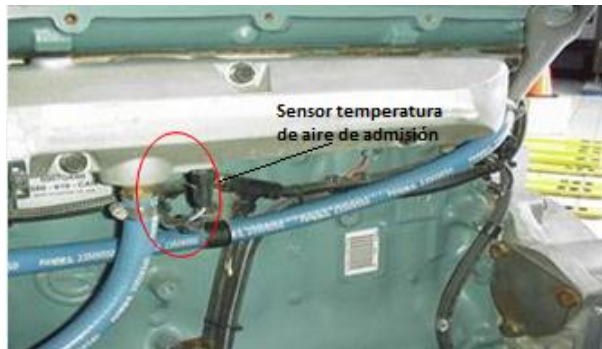
- Sensor de temperatura de aire de admisión

Este sensor se encuentra ubicado en el múltiple de admisión y controla la temperatura a la cual ingresa el aire comprimido al motor, luego del postenfriador. Ver figura 99. El módulo de control electrónico ajusta la sincronización de combustible del motor para reducir la emisión de humo, mejorar la combustión, mejorar los arranques en frío y proteger el motor.

- Sensor de presión de aire de admisión

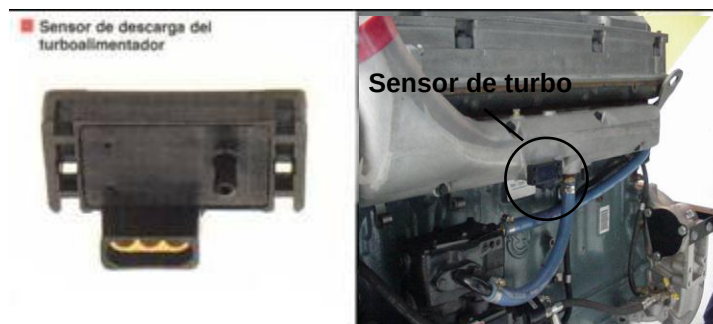
Este sensor monitorea la presión de la descarga del turbocompresor (Comúnmente llamado sensor de turbo), ubicado en el cuerpo del múltiple de admisión, proporciona señal al módulo de control electrónico para controlar la emisión de humo durante la aceleración del vehículo. Ver figura 100. El módulo de control electrónico evalúa la lectura obtenida del sensor, el cual es comparado con el algoritmo programado en su software, lo que proporciona una acción inmediata hacia la dosificación de los inyectores, permitiendo regular la relación aire-combustible. Tomando en consideración la lectura del sensor de presión de aire ambiente.

Figura 99. **Sensor de temperatura de admisión**



Fuente: Detroit Diésel. Curso: Conocimientos básicos sistema DDEC. p. 11.

Figura 100. **Sensor de turbo**



Fuente: Detroit Diésel. Curso: Conocimientos básicos sistema DDEC. p. 12.

- **Sensor de presión de aire ambiente**

El sensor de presión ambiente, atmosférica o barométrica, es un sensor ubicado en el lado de admisión, generalmente cercano al módulo de control electrónico. Ver figura 101.

Es un dispositivo que monitorea constantemente la presión barométrica, el cual sirve para calcular el combustible a dosificar según las tablas del software a diferentes altitudes sobre el nivel del mar. Conocido el efecto sufrido por motores de decaimiento de potencia debido a la altitud sobre el nivel del mar a la cual se encuentre.

También es utilizado para protección del turbocompresor en elevaciones altas, ya que por la densidad del aire puede producirse un efecto de sobrecarga de masa y provocar fractura en el eje del turbocompresor.

Figura 101. **Sensor de presión atmosférica**



Fuente: Detroit Diésel. Curso: Conocimientos básicos sistema DDEC. p. 14.

- Sensor de posición de motor

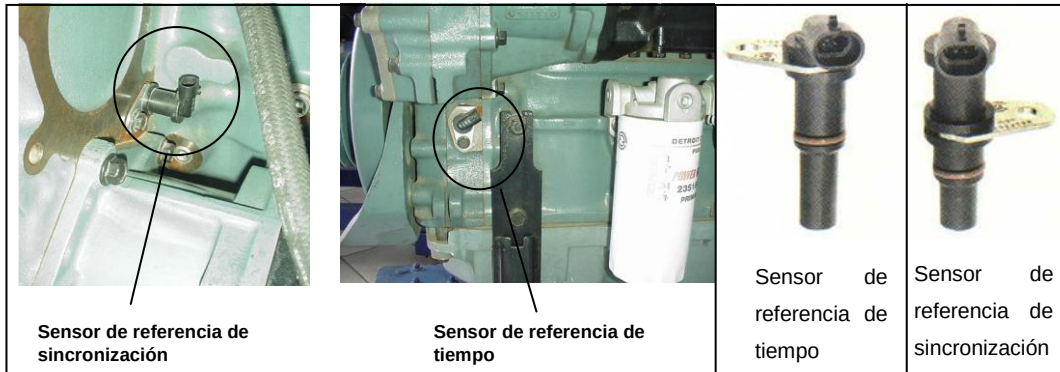
Este sensor es de tipo de inducción magnética, que genera corriente alterna (A.C.). La frecuencia varía dependiendo la velocidad de la rueda dentada que va acoplada directamente al cigüeñal del motor. Ver figura 103.

Este sensor controla directamente la sincronización de la inyección del motor. Ver figura 102. Un sensor se encarga de proporcionar una señal por cilindro y otro sensor proporciona 36 señales por revolución. Al trabajar en conjunto, estos sensores proporcionan al módulo de control electrónico señal para indicar cual cilindro se encuentra en punto muerto superior listo para ciclo de fuerza. El monitoreo preciso de la posición de cada pistón permite la sincronización óptima de inyección del combustible, dando como resultado un excelente consumo de combustible y un rendimiento óptimo con bajo nivel de emisiones de gases al tener una combustión más completa.

Los sensores SRS y TRS instalados en la caja frontal de engranajes de tiempo, posicionan su cara inferior sobre los dientes del engranaje toro y la rueda de tiempo. Ver figura 103.

Existe una variante en los motores donde sólo existe un sensor de referencia de tiempo. En versiones posteriores de Detroit S60 y Cummins®.

Figura 102. **Sensor de referencia de sincronización y sensor de referencia de tiempo**



Fuente: Detroit Diésel. Curso: Conocimientos básicos sistema DDEC. p. 15.

Figura 103. **Engranaje toro y rueda de tiempo motor Detroit diésel serie 60 DDEC III/IV**



Fuente: Detroit Diésel. Curso: Conocimientos básicos sistema DDEC. p. 17.

3. SISTEMA DE INYECCIÓN ALTA PRESIÓN – TIEMPO PRESIÓN (HDI-TP)

3.1. Descripción general

La nueva familia de motores de alta potencia para servicio automotriz, presenta un sistema completamente nuevo que involucra tecnología de sincronización tiempo presión, el cual describe el tiempo de control del combustible. El tiempo es la variable de control y la presión de suministro a los actuadores se mantiene constante. A continuación se presentan y describen los componentes del sistema.

3.2. Componentes

En esta sección se describen los elementos que componen al sistema de inyección alta presión – tiempo – presión, desarrollada por Cummins, para motores de alta potencia, con caballajes que van desde 450 a 600.

3.2.1. Módulo de sistema de combustible integrado

Este módulo contiene la mayoría de los componentes del sistema de inyección, por lo que a continuación se describen cada uno de los componentes que lo integran. Ver figura 104.

3.2.1.1. Válvula cheque de entrada

Es el principal punto de acceso de la línea de combustible. Esta válvula cheque impide que el combustible retorne por el puerto de entrada, hacia el tanque. Ver figura 105.

Figura 104. **Módulo de combustible**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 5.

Figura 105. **Cheque de suministro**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 6.

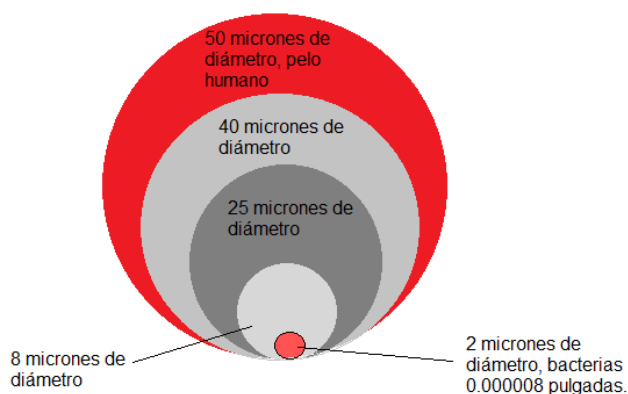
3.2.1.2. Filtro de combustible

La filtración requerida para este sistema es exigente, por lo que demanda que el filtro de combustible sea una combinación de medio filtrante con un separador de agua. Ya que este es uno de los principales enemigos de sistema de combustible, debido a las minúsculas tolerancias entre componentes y el acabado de cada uno de estos. También el combustible cumple función como medio lubricante para piezas en movimiento, por lo que no puede existir contaminación por agua.

- Medio de filtración

El medio filtrante cumple con la retención de partículas de hasta 10 micrones (figura 106), obteniendo esta eficiencia debido a un medio de cinco capas que cumplen la función de filtrado.

Figura 106. Referencia de filtrado



Fuente: Catálogo de venta, filtros FLETGUARD®. p. 2.

- Sensor de agua en combustible (WIF)

El filtro es encargado de separar el agua del combustible, obtenido por condensación en tanques o contaminación en el abastecimiento. Esta es recolectada en el fondo del filtro. Cuando el sensor del filtro (WIF) se sumerge en agua, envía una señal al módulo de control electrónico, este a su vez alerta al operador de que hay agua en el filtro de combustible iluminando la lámpara de mantenimiento.

- Drenado de agua

Al iluminarse la lámpara de mantenimiento el conductor o técnico deberá drenar este por medio de una válvula ubicada en la parte inferior del filtro. Es comúnmente confundida la opción del sensor y es pertinente mencionar que este sólo se encarga de informar que hay un nivel crítico de agua en el filtro de combustible y que debe evacuarse manualmente.

3.2.1.3. Bomba de engranes

La transferencia de combustible desde el tanque de almacenamiento hacia el sistema interno de sincronización y dosificación de combustible e inyectores, es realizado por medio de una bomba de engranajes, que es acoplada e impulsada directamente al eje de levas de inyectores, en un engranaje tallado en este. Ver figura 107.

Este arreglo de engranes impulsa la bomba de engranes a 1,12 veces la velocidad del cigüeñal.

3.2.1.4. Actuadores de dosificación y sincronización

En el cuerpo de inyección, existen cuatro actuadores montados externamente, accionados electromagnéticamente (figura 108). Estos son encargados de controlar el flujo de combustible a los inyectores, la cantidad de combustible es controlada por el tiempo de activación o tiempo que el actuador esté abierto. El flujo de combustible para los cuatro actuadores proviene de un riel de combustible común en el módulo de inyección.

Figura 107. **Bomba de engranes y acople en árbol de levas de inyectores**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 10.

Los actuadores trabajan en pares para regular el flujo de combustible. Los dos actuadores frontales, controlan el combustible para los inyectores de los cilindros 1, 2 y 3 y los dos actuadores traseros controlan el combustible para los inyectores de los cilindros 4, 5 y 6.

Figura 108. **Actuadores de dosificación y sincronización**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 12.

3.2.1.5. Amortiguadores de combustible de pulsación

En el cuerpo del sistema de inyección están instalados tres amortiguadores de combustible de pulsación. El primer amortiguador está ubicado en la bomba de engranajes, este amortiguador reduce los picos de presión de combustible provocados por los dientes en la bomba de engranes (figura 109). Esto proporciona un suministro de combustible más estable para el sistema.

Figura 109. **Amortiguador de pulsación de combustible**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 13.

Los otros dos amortiguadores de pulsación, están instalados junto a los actuadores (figura 110). Estos amortiguadores reducen los picos de combustible que resultan de la apertura y cierre rápido de los actuadores. Al estabilizar la presión en el riel común que suministra a los cuatro actuadores se permite que el módulo de control electrónico controle precisamente el combustible hacia las cámaras de dosificación y sincronización.

3.2.1.6. Válvula de corte de combustible

La válvula de corte de combustible de estilo de reactivación rápida interrumpe el flujo de combustible al riel de actuadores cuando está desactivada. Esta válvula es capaz de interrumpir el flujo de combustible en caso de sobre velocidad del motor, paro u otros problemas que haya detectado el módulo de control electrónico.

Figura 110. **Amortiguador de bomba de engranes**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 14.

Figura 111. **Válvula de corte de combustible**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 15.

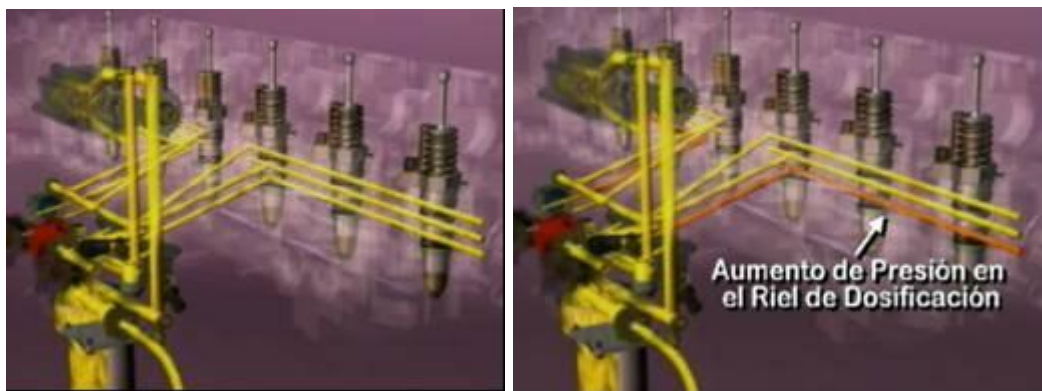
Esta válvula normalmente cerrada recibe una señal del módulo de control electrónico y abre cuando el interruptor de la llave de arranque se gira a la posición ON.

3.2.1.7. Venteo de combustible

Cuando el motor se apaga el contenido en el módulo de combustible absorbe calor de los componentes circundantes del motor. Conforme la temperatura del combustible se incrementa, el combustible se expande y se incrementa la presión en los rieles de suministro de dosificación en el módulo de combustible. Si se permitiera la acumulación de esta presión, resultaría en arranque difícil con el motor caliente. Un pasaje entre el riel de suministro de dosificación y el pasaje de drenado en el módulo de combustible, junto con una válvula cheque montado en cada actuador de dosificación, proporciona purga del combustible para reducir esta presión. Ver figura 112.

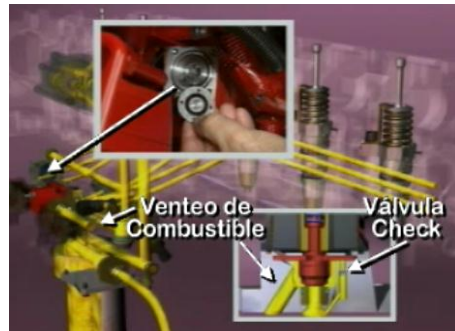
Se instala un orificio con un diámetro de 9 milésima de pulgada, para limitar el flujo de combustible en el agujero de drenado durante la operación normal del motor. Ver figura 113.

Figura 112. **Acumulación de presión en rieles de combustible**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 17.

Figura 113. **Venteo de combustible**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 18.

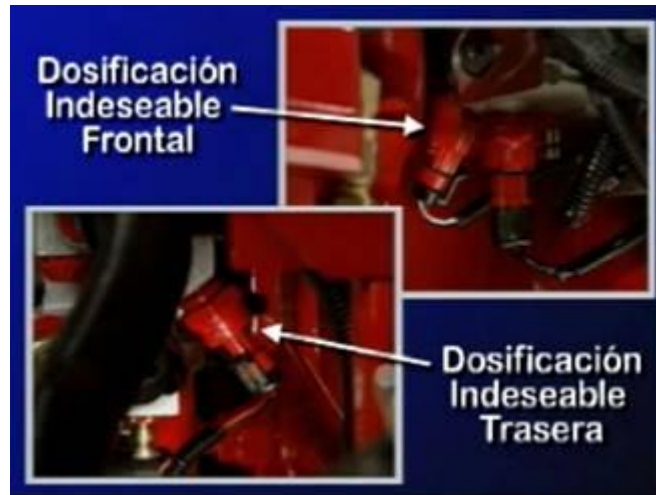
3.2.1.8. Sensor de presión de combustible

Este sensor está instalado en la parte inferior de la carcasa del módulo de combustible, cercano al filtro de combustible. Las señales de este sensor son utilizadas por el módulo de control electrónico para monitorear la presión de combustible. Ver figura 114.

Un sensor de presiones indeseables está instalado en los pasajes de salida de dosificación del módulo de combustible.

El módulo de control electrónico utiliza la señal de estos sensores para detectar niveles de dosificación de combustible no deseado a los inyectores.

Figura 114. **Sensor de presión de combustible**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 20.

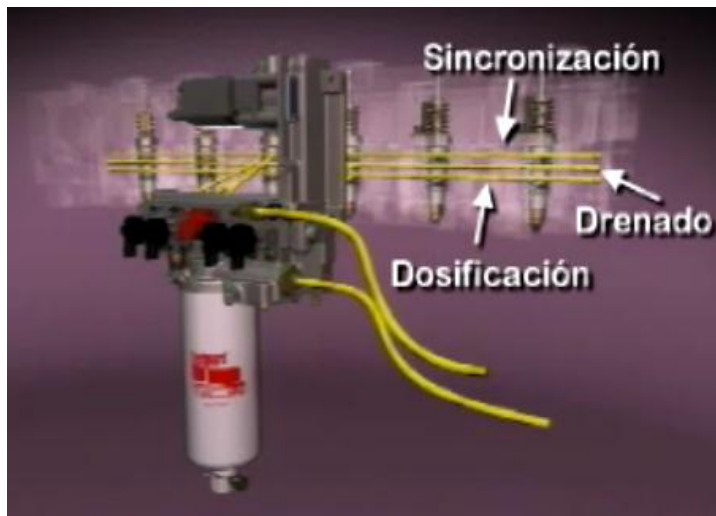
3.2.1.9. Galerías de combustible

La cabeza de cilindros (culata) contiene galerías de combustible de: sincronización, dosificación y drenado, para dirigir el combustible a los inyectores y desde estos hacia el tanque de combustible. Ver figura 115.

3.2.1.10. Inyectores hidromecánicos

Los inyectores utilizados en motores de alta potencia son de tipo hidromecánicos por su tipo de operación. Ver figura 116.

Figura 115. **Galerías de combustible**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 22.

Figura 116. **Inyector hidromecánico**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 24.

Los inyectores de boquilla abierta (figura 117), usan una boquilla para eliminar vías de fuga encontradas en otros inyectores del mismo tipo. En operación, el inyector trabaja a aproximadamente 28 000 libras sobre pulgada cuadrada de presión de combustible, sin embargo, el inyector está diseñado para resistir 35 000 libras sobre pulgada cuadrada. Estas presiones de inyección más altas mejoran el control de emisiones y economía de combustible.

Figura 117. **Esquema de boquilla de inyector hidromecánico**

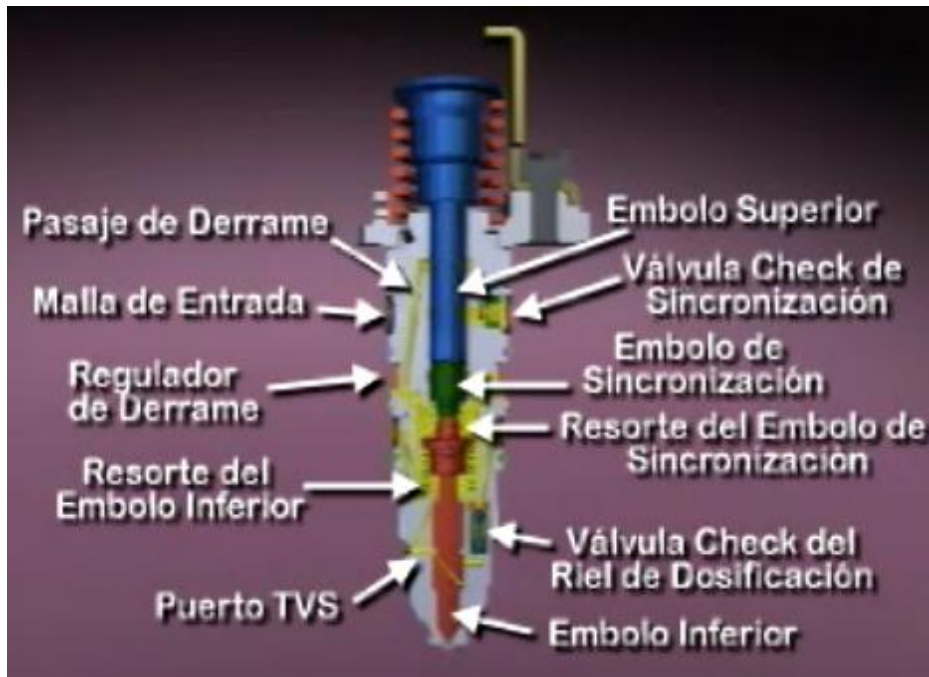


Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 24.

- Partes del inyector

El inyector hidromecánico se compone de los siguientes componentes (figura 118):

Figura 118. **Sección de inyector hidromecánico desglosado**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 25.

- Émbolo de inyector

Los émbolos del inyector son recubiertos de nitruro de titanio, reducen el desgaste y mejoran la resistencia al rozamiento del émbolo dentro del inyector. Ver figura 119.

Figura 119. **Émbolo de inyector hidromecánico**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 26.

- Aros sellos de separación

Los aro-sellos (O-rings) ubicados cuatro en el cuerpo del inyector, separan los pasajes de combustible de sincronización, dosificación y drenado. Estos también mantienen la separación del aceite con el combustible. Ver figura 120.

3.3. Flujo de combustible

A continuación se describirá cada uno de los pasos del flujo de combustible a través del sistema. El motivo de esta sección es explicar el funcionamiento del sistema.

Figura 120. **Sellos de separación del inyector**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 27.

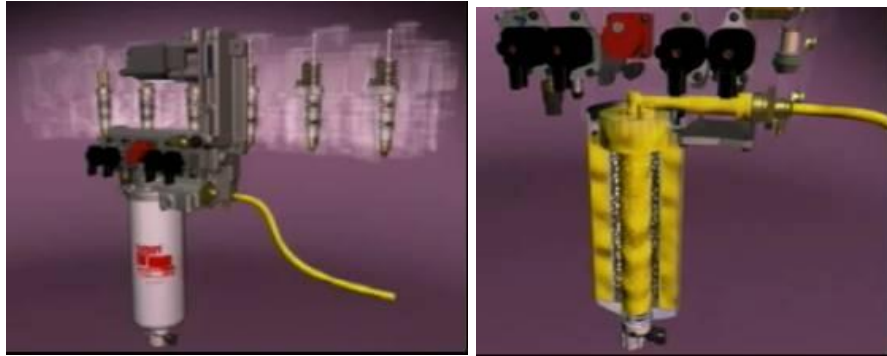
3.3.1. Paso 1: extracción – filtración de combustible

El camino del combustible inicia con la extracción del combustible desde los tanques de almacenamiento. La bomba de engranes se encarga de proporcionar la succión necesaria para trasladar el fluido desde los tanques hacia la base del filtro. Ver figura 121 imagen izquierda.

El combustible fluye hacia el filtro de combinación, con separador de agua. Es necesario utilizar un medio filtrante de 10 micras con una eficiencia del 98%.

Después que son removidas las partículas y el agua, el combustible filtrado es enviado a la sección de la bomba de engranes, a través de canales dentro del módulo de combustible. Ver figura 121 imagen derecha.

Figura 121. **Succión de combustible hacia el elemento filtrante**

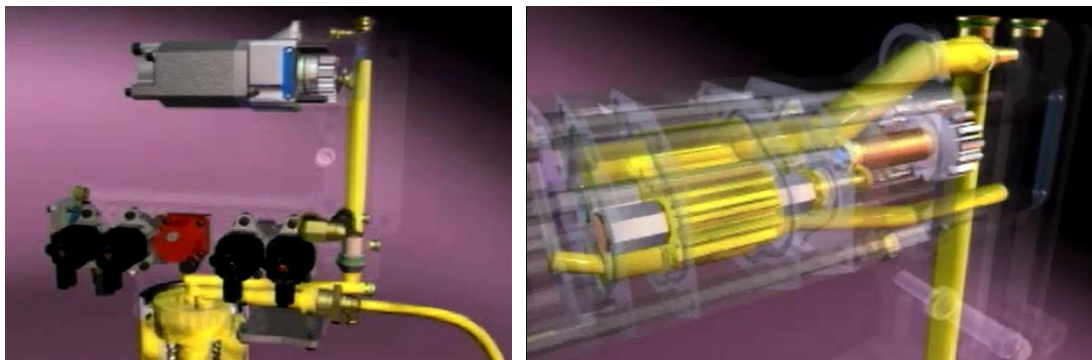


Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 28.

3.3.2. **Paso 2: bomba de combustible**

La bomba de combustible es impulsada por el engrane del árbol de levas de inyectores. Esta bomba presuriza el combustible por medio de una reducción de volumen.

Figura 122. **Esquema de bomba de engranes**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 30.

3.3.3. Paso 3: regulación de presión

La regulación de presión de 321 libras sobre pulgada cuadrada, instalado en el módulo de combustible, es una válvula de seguridad, para evitar daños en caso de que se pegue la válvula de corte de combustibles o de otro bloqueo de la línea de combustible posterior a la bomba de engranes. Ver figura 123.

El combustible que fluye a través del regulador de alta presión es descargado de nuevo a la línea de drenado de módulo de combustible y regresa al tanque de combustible.

El combustible fluye a través de pasajes internos en el módulo de combustible y luego a través de un cedazo de 36 micras. Ver figura 124.

Figura 123. **Primera etapa de regulación de combustible**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 31.

Del cedazo fluye a la válvula de corte de combustible.

Figura 124. **Ilustración de cedazo interno de filtración**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 31.

3.3.4. Paso 4: válvula de corte de combustible

Cuando el interruptor de llave se encuentra en posición de marcha o encendido, el módulo de control electrónico envía una señal para abrir la válvula. Ver figura 125.

Figura 125. **Válvula de corte de combustible**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 32.

3.3.5. Paso 5: regulación de combustible excesivo

El regulador de 249 libras sobre pulgada cuadrada del sistema de combustible, permite que el combustible excesivo, fluya fuera del riel del actuador para limitar la presión. El flujo de combustible excesivo, viaja al lado de la entrada de la bomba de engranes de combustible. Ver figura 127.

Figura 126. Paso de combustible por actuadores



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 35.

Figura 127. **Segunda etapa de regulación**

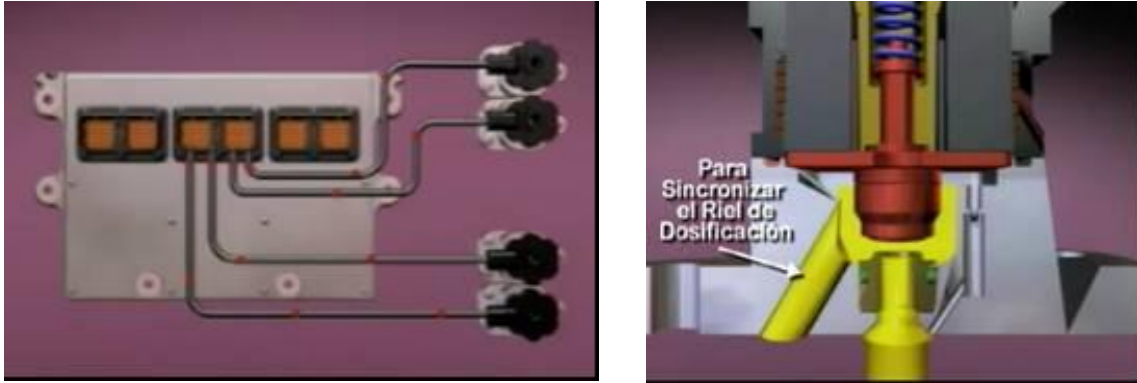


Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 36.

3.3.6. Paso 6: funcionamiento de actuadores de dosificación y sincronización

El módulo de control electrónico envía señales a los actuadores para controlar el flujo de combustible a los inyectores. Cada uno de los actuadores es un dispositivo ON/OFF normalmente cerrado. Los actuadores abren cuando reciben señal del módulo de control electrónico. La apertura del actuador permite que el combustible fluya al respectivo riel de sincronización o dosificación. Ver figura 128.

Figura 128. **Apertura de actuador en función de señal del ECM**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 38.

3.3.7. Paso 7: entrada de sensor de presiones indeseable

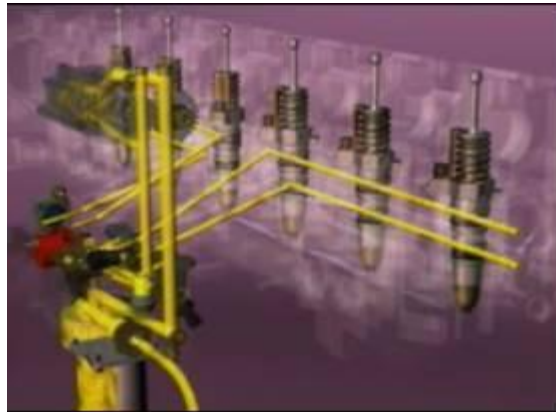
La entrada de las señales de presiones indeseables, se utiliza para impedir que el módulo de control electrónico determine la presión de dosificación de combustible. Si uno de los solenoides falla en la posición de abierto, el riel de suministro recibirá demasiada presión.

La presión excesiva en el riel incrementa la cantidad de combustible dosificado dentro de la copa del inyector. Si el módulo de control electrónico determina que este valor es muy alto, la válvula de corte de combustible es desenergizada para interrumpir el suministro de combustible al motor.

3.3.8. Paso 8: pasajes de dosificación y sincronización

Los pasajes de los actuadores de dosificación y sincronización se conectan a pasajes internos dentro de la cabeza de cilindros. Estos pasajes, suministran combustible al banco de inyectores frontal y trasero. Ver figura 129.

Figura 129. **Pasajes o ductos internos de combustible**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 39.

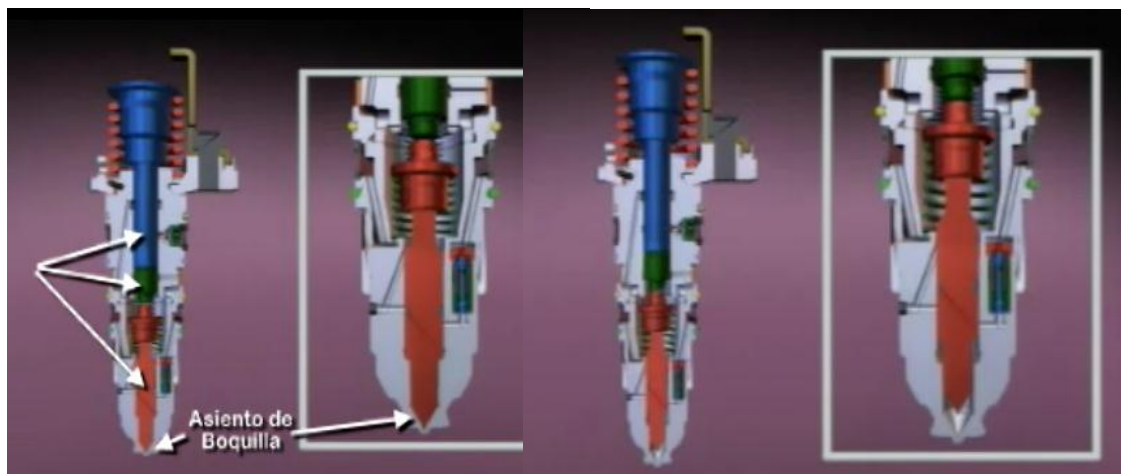
3.3.9. Paso 9: operación del inyector y flujo de combustible

Se presenta la operación y flujo de combustible del inyector:

La operación del inyector inicia con el émbolo del inyector sostenido mecánicamente contra el asiento de la boquilla hasta el final de la carrera de escape. Ver figura 130.

El balancín del inyector, está sobre el círculo base exterior del árbol de levas. En este punto los tres émbolos están en la parte inferior de su recorrido. Después de que la válvula de escape cierra, el balancín del inyector comienza a moverse fuera del círculo base hacia su exterior, el émbolo superior comienza a moverse hacia arriba, bajo la fuerza del resorte. El émbolo de sincronización, permanece en contacto con el émbolo superior y el émbolo inferior permanece en contacto con el émbolo de sincronización, gracias a sus respectivos resortes.

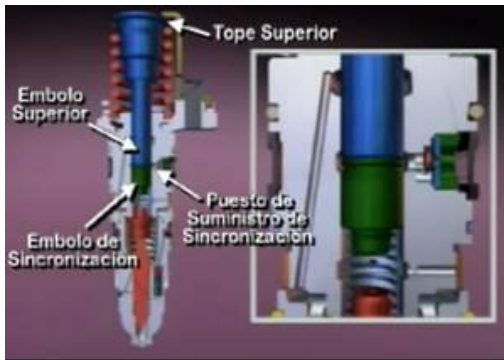
Figura 130. **Movimiento inferior de tres émbolos**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 40.

Conforme el émbolo inferior continúa moviéndose hacia arriba, el puerto de dosificación se abre (figura 131). Poco después de que el puerto de dosificación se abre, el émbolo de dosificación contacta el tope del inyector.

Figura 131. **Apertura de puerto de dosificación**



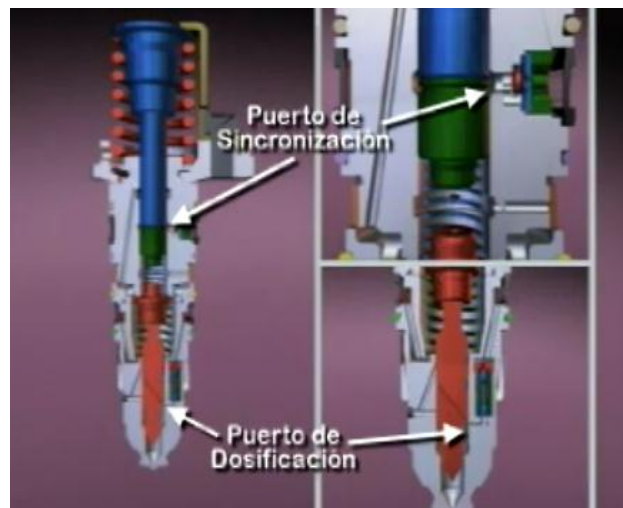
Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 41.

Los émbolos de sincronización y el émbolo superior continúan moviéndose hacia arriba, justo antes de que la guía del resorte contacte el tope superior, se abre el puerto de alimentación de sincronización.

Con los émbolos en esta posición, los puertos de sincronización y dosificación se abren (figura 132), sin embargo, ningún combustible fluye dentro del inyector hasta que el módulo de control electrónico envía una señal para que los actuadores de sincronización y dosificación abran.

Los actuadores de sincronización y dosificación abren entonces en tiempo y duración adecuados para suministrar la cantidad de combustible necesaria de combustible a través de las válvulas cheque de dosificación y sincronización dentro de cada cámara. Ver figura 133.

Figura 132. **Apertura simultánea de puertos de dosificación y sincronización**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 42.

Figura 133. **Apertura de actuadores**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 43.

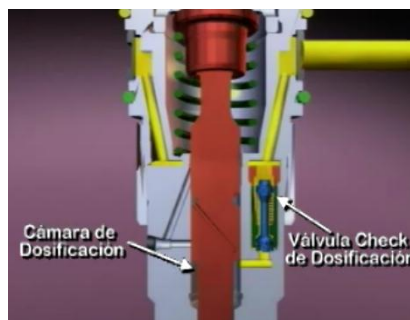
Variando la cantidad de tiempo en que los actuadores de sincronización y dosificación están abiertos, el módulo de control electrónico controla la cantidad de combustible dosificado dentro las cámaras de sincronización y dosificación en el inyector.

Incrementando la cantidad de tiempo en que el actuador de dosificación está abierto se incrementa la cantidad de combustible a dosificar dentro de la cámara del cilindro. Ver figura 134.

Permitiendo que el actuador de dosificación abra por un período de tiempo más corto permite que se dosifique menos combustible dentro del inyector.

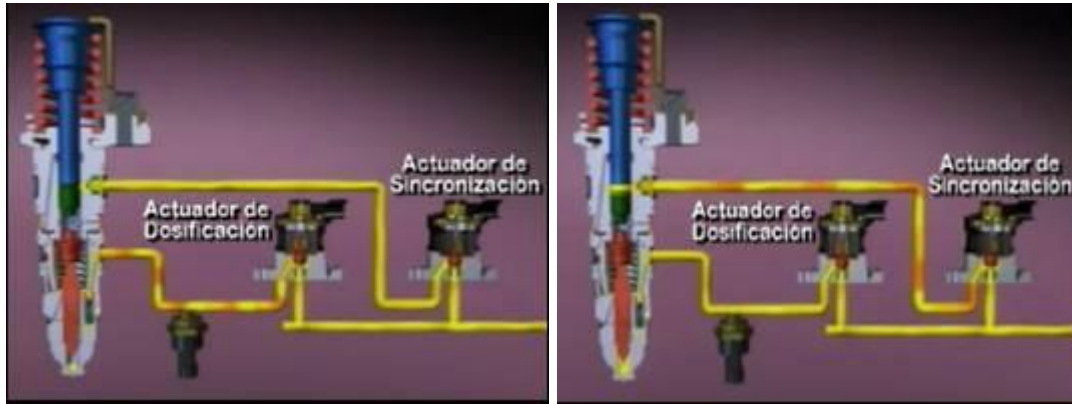
Conforme el combustible entra a la cámara de sincronización, la presión de combustible viaja entre el émbolo de sincronización y el émbolo superior, a través de una ranura en la parte superior del émbolo de sincronización. La presión de combustible fuerza entonces al émbolo de sincronización hacia abajo contra la presión de resorte. Ver figura 135, imagen izquierda.

Figura 134. **Ampliación de cámara de dosificación**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 44.

Figura 135. **Acción de émbolo de sincronización y émbolo superior**

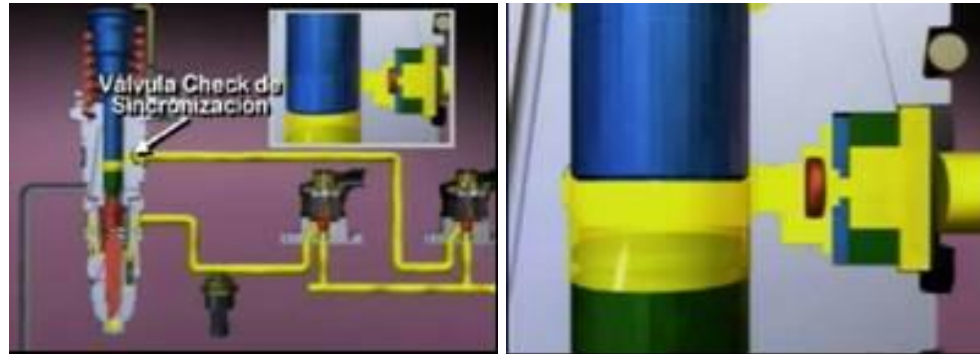


Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 45.

Conforme el émbolo superior inicia su recorrido hacia abajo y cierra el puerto de alimentación de sincronización, contacta la columna de combustible en la cámara de sincronización (figura 135, imagen derecha). Este combustible atrapado, actúa como un candado hidráulico entre el émbolo superior y de sincronización. Ambos émbolos se mueven juntos hacia abajo. La válvula cheque de sincronización, impide que el combustible fluya hacia afuera de la cámara de sincronización. Ver figura 136.

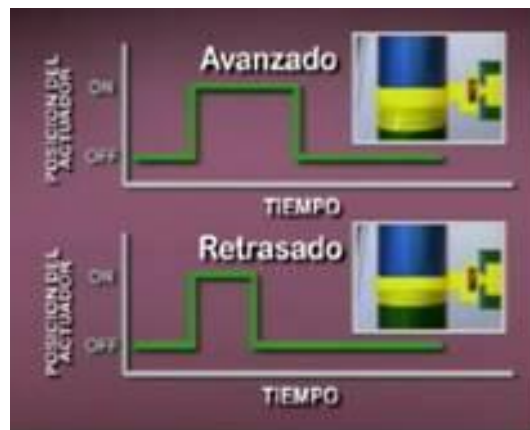
La cantidad de combustible en la cámara de sincronización determina la posición inicial del émbolo de sincronización. Con más combustible en esta cámara, conforme el émbolo superior inicie su recorrido descendente, el émbolo de sincronización comienza su recorrido desde una posición más baja, Esto adelanta la sincronización. Ver figura 137.

Figura 136. **Candado hidráulico y funcionamiento de válvula cheque**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 46.

Figura 137. **Modificación de sincronización**



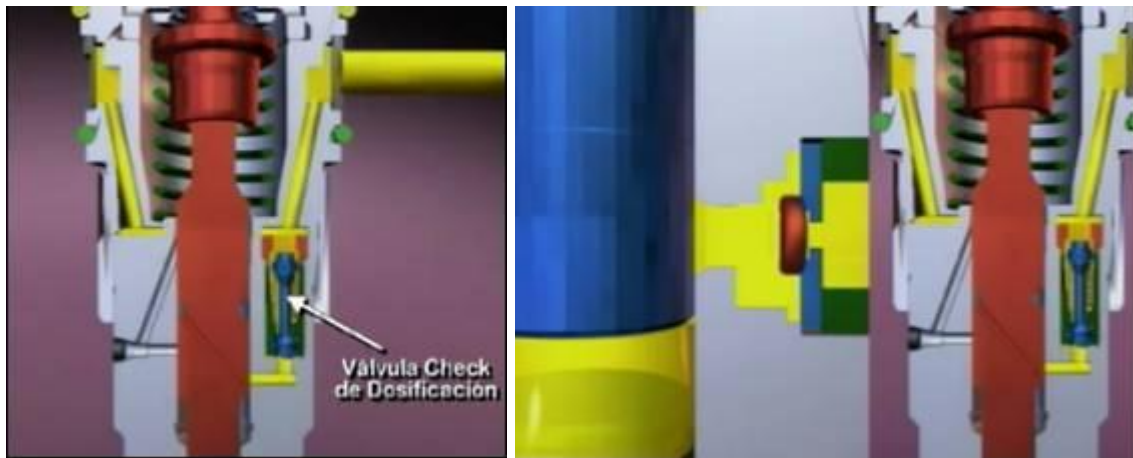
Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 46.

Un período de tiempo más corto de activación del actuador de sincronización permite menos combustible dentro de la cámara de sincronización, esto ocasiona que el émbolo de sincronización comience su recorrido desde una posición más alta, lo que hace que la sincronización se retrase.

Cuando el émbolo de sincronización contacta al émbolo inferior, los tres émbolos viajan juntos hacia abajo. La válvula cheque de dosificación impide que el combustible fluya de regreso fuera de la cámara de dosificación. Ver figura 138.

Las válvulas cheque, detienen el inicio del retorno del combustible fuera del inyector, sin embargo, los émbolos se mueven pasando los puertos de entrada antes de la inyección para recortar la vía de retorno de las válvulas cheque.

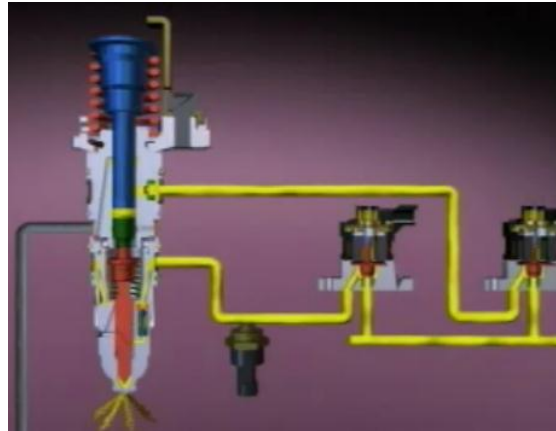
Figura 138. **Acción de válvulas cheque**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 47.

Cuando el émbolo inferior alcanza al combustible en la cámara de dosificación, la presión en la cámara se eleva, resultando en el combustible inyectado dentro del cilindro. Ver figura 139.

Figura 139. **Inyección de combustible**

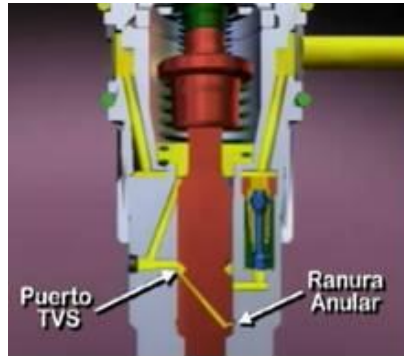


Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 48.

La inyección continúa hasta que la ranura anular en la perforación del agujero inferior se alinea con el puerto de derrame de volumen atrapado (TVS), esto permite que la pequeña cantidad de combustible restante atrapado dentro de la cámara de dosificación fluya fuera del inyector a la línea de drenado, proporcionando un final brusco para la inyección y liberando presión de combustible en la cámara de dosificación. Ver figura 140.

A su vez, el puerto de derrame de dosificación abre, conforme el émbolo superior continúa moviéndose hacia abajo, el combustible de sincronización se dirige a la línea de drenado del inyector.

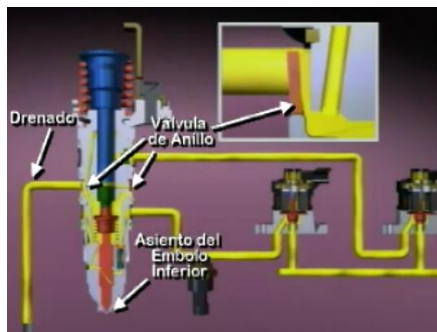
Figura 140. **Alineación de TVS**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 49.

La válvula de anillo en el inyector se flexiona para regular el flujo de derrame de sincronización. Esta deflexión elíptica de la válvula, evita que la presión caiga muy rápidamente, para mantener el émbolo inferior forzado sobre su asiento. Ver figura 141.

Figura 141. **Acción de válvula elíptica**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 49.

Conforme el balancín del inyector alcanza otra vez el círculo base exterior del árbol de levas, el émbolo de sincronización está otra vez en contacto con ambos, el émbolo superior e inferior. La fuerza hacia abajo del balancín ocasiona un aplastamiento mecánico para empujar el combustible fuera de las cámaras de dosificación y sincronización.

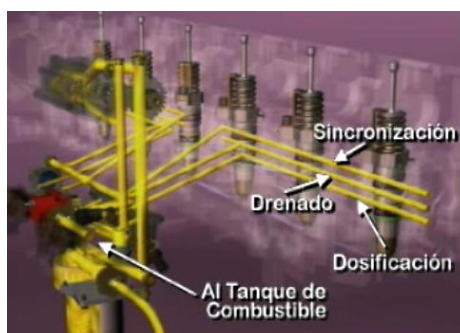
3.3.10. Paso 10: drenado de combustible

El combustible drenado del inyector, fluye a través de ductos internos en la cabeza de cilindros al módulo de combustible. Una conexión cerca de la parte trasera del módulo de combustible, permite que el combustible regrese al tanque, a través de la línea de retorno. Ver figura 142.

Este es enviado al tanque, debido a la interacción cinética del fluido, la cual debe ser liberada al ambiente.

El combustible debe mantener una temperatura promedio de 200 grados Fahrenheit para hacer más eficiente la combustión.

Figura 142. **Drenado de combustible**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 51.

3.4. Sistema de control electrónico

En esta sección se incluye la descripción de los sensores y actuadores electrónicos del sistema de inyección de alta presión – tiempo presión, del motor Cummins ISX.

3.4.1. Descripción general

El sistema de control del motor con sistema de inyección a alta presión, es un sistema de control de combustible operado electrónicamente que proporciona también muchas características al operador, vehículo y equipo.

Las funciones principales del sistema de control incluyen:

- Control de dosificación de combustible y sincronización.
- Limitación de rango de motor entre los puntos de ajuste de ralentí bajo y alto.
- Reducción de gases de escape.
- Optimización de desempeño del motor.

El sistema de control de este tipo de motores reciben varias entradas de muchos dispositivos, a continuación se presentan las diversas entradas.

3.4.2. Componentes

Los componentes presentados para el sistema de inyección de alta presión – tiempo presión de Cummins, son sensores de combinación. La mayoría de sensores proporcionan información de presión y temperatura de un componente. Estos sensores fueron diseñados para ocupar menor espacio y menor cantidad de unidades en un motor.

3.4.2.1. Sensores

Los sensores de información, reúnen datos (tales como la masa del aire de admisión o su temperatura, temperatura de refrigerante, posición de acelerador, contenido de oxígeno en el gas de escape y transmiten estos datos en forma de señales eléctricas, al módulo de control electrónico (ECM).

- Sensor de combinación presión/temperatura de aceite

El sensor de presión y temperatura de aceite está ubicado en una galería principal de aceite en el lado de la bomba de combustible, justo al centro del bloque.

- Sensor de presión de combustible

El sensor de presión de combustible monitorea constantemente el funcionamiento de los reguladores del módulo de combustible y de la bomba, debido a una falla en el sistema de regulación y caudal de la bomba, puede retardar el ingreso del combustible a las cámaras de dosificación y sincronización, lo que resultaría en una mala combustión y pérdida de fuerza del motor.

Este sensor está ubicado cercano a la bomba de combustible. Ver figura 143.

Figura 143. **Sensor de presión de combustible**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 65.

- Sensor de presiones indeseables

Estos sensores son llamados también sensores de presión delanteros y traseros de presión de dosificación y sincronización, estos sensores proporcionan entrada para el sistema de protección del motor. Ver figura 144.

- Sensor de temperatura de refrigerante

Colocado en la carcasa del termostato, en el lado de escape del motor, la entrada de este proporciona información para la activación del ventilador, sistema de protección por sobrecalentamiento, relacionado a pérdida refrigerante, obstrucción del termostato y mal funcionamiento del ventilador.

Figura 144. **Sensor de presiones indeseables**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 66.

- Sensor de nivel de refrigerante

Este sensor es instalado por el fabricante del vehículo, colocado en la parte superior del depósito auxiliar del radiador. Ver figura 145.

Figura 145. **Sensor de nivel de refrigerante**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 67.

- Sensor de combinación presión/temperatura de múltiple de admisión

Este sensor se encuentra ubicado en el múltiple de admisión y controla la temperatura y presión a la cual ingresa el aire comprimido al motor, luego del postenfriador. El módulo de control electrónico ajusta la sincronización de combustible del motor para reducir la emisión de humo, mejorar la combustión, mejorar los arranques en frío y proteger el motor.

Figura 146. **Sensor combinado presión temperatura de múltiple de admisión**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 68.

- Sensor de presión de aire atmosférico

Es un dispositivo que monitorea constantemente la presión barométrica, el cual sirve para calcular el combustible a dosificar según las tablas del software a diferentes altitudes sobre el nivel del mar. Conocido el efecto sufrido por motores de decaimiento de potencia debido a la altitud sobre el nivel del mar a la cual se encuentre.

Figura 147. **Sensor de presión ambiente**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 69.

- **Sensores de efecto Hall**

Estos sensores utilizan un campo magnético y circuitos electrónicos internos, para determinar velocidad y posición. Cada uno de estos sensores consta de suministro de 5 voltios de señal y retorno. Ver figura 148.

Figura 148. **Sensor de efecto Hall**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 72.

- Sensor de posición de cigüeñal

Esta señal es utilizada por el módulo de control electrónico, para determinar con precisión la posición del cigüeñal y la velocidad angular (revoluciones por minuto) del motor. Ver figura 149.

- Sensor de posición de árbol de levas

Este sensor de efecto Hall, es encargado de indicar la posición del árbol de levas de inyectores, desde un lóbulo con forma especial. Ver figura 150.

Figura 149. **Sensor de posición de cigüeñal**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 74.

Esta señal es utilizada por el módulo de control electrónico para determinar con precisión la ubicación del árbol de levas de inyectores.

Figura 150. **Sensor de posición de árbol de levas**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 75.

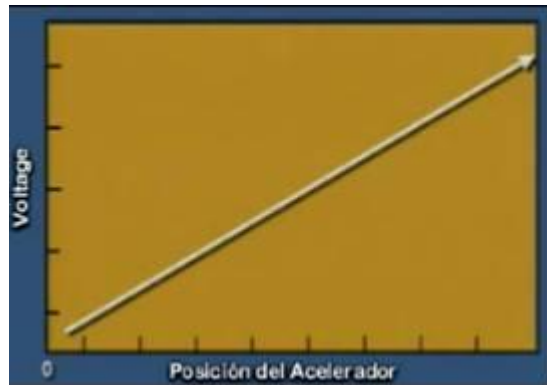
- **Sensor de velocidad**

El sensor de velocidad del vehículo, colocado en el eje de salida de la transmisión, es un dispositivo magnético que contiene dos bobinas de alambre y que produce una señal de corriente alterna. Se ubica al final de la transmisión, en la salida de la flecha del yugo.

- **Sensor de posición de pedal**

El sensor de posición del pedal del acelerador, consiste de un potenciómetro. Este dispositivo proporciona una señal de voltaje de corriente directamente proporcional al desplazamiento angular del pedal (figura 151). el módulo de control electrónico ve esta señal de voltaje como una posición del acelerador.

Figura 151. **Gráfica de posición de acelerador *versus* voltaje**



Fuente: Cummins. Curso de certificación Motor ISX. p. 77.

- Interruptor de validación de ralentí

Este interruptor puede ser interno con el circuito del potenciómetro o externo. Este proporciona señal de validación independiente al movimiento del potenciómetro, que el acelerador está o no en posición de ralentí.

Este esquema permite que el módulo de control electrónico detecte problemas potenciales en el ensamble de acelerador.

- Sensor de agua en combustible (WIF)

El sensor WIF está instalado en la parte inferior del filtro de combustible.

3.4.2.2. Módulo de control electrónico (ECM)

El módulo de control electrónico o ECM, es el centro de procesamiento de información del sistema. Procesa todas las entradas y envía órdenes al sistema de combustible, vehículo y dispositivos de control del motor.

El módulo de control electrónico contiene el código de software para operar el motor y puede ser energizado por un sistema de 12 o 24 voltios.

Este dispositivo está montado en una placa de enfriamiento, las aletas de enfriamiento de la placa están colocadas dentro del múltiple de admisión, el flujo de aire de admisión disipa el calor de los componentes electrónicos de la tarjeta de circuitos integrados.

El módulo electrónico, proporciona la capacidad de comunicarse por medio de herramientas de diagnóstico y contiene memoria para el almacenamiento de datos.

El módulo de control electrónico se comunica con herramientas de servicio y algunos otros controles del vehículo, tales como, transmisión, sistemas de frenos, sistemas de control de tracción a través de un enlace de datos SAE J1939 y J1708.

El módulo de control electrónico contiene elementos de memoria, microprocesadores y circuitos de control de salida para accionar los diversos dispositivos y accesorios de control.

- Descripción de funcionamiento

El módulo de control electrónico monitorea constantemente los principales factores que afectan la eficiencia de combustión. Tales como, temperatura del refrigerante, temperaturas del múltiple de admisión, presión del múltiple de admisión y presión de aire ambiente.

El módulo de control electrónico montado al motor, determina la sincronización de inyección deseada y la cantidad de combustible adecuada para las condiciones actuales del motor.

El módulo de control electrónico determina la salida de potencia de cilindros individuales por la forma en que la velocidad del motor se incrementa debido a un evento de combustión.

El módulo electrónico promedia esta salida de potencia instantánea de un cilindro sencillo durante un número de encendidos del cilindro.

El módulo decide entonces que tipo de ajustes debe hacer a la dosificación de combustible en cada cilindro para balancear la potencia en forma equitativa entre los cilindros.

El módulo de control electrónico utiliza la respuesta del motor a sus ajustes para afinar aún más los ajustes en dosificación de combustible en lo que es llamado adaptación.

El balanceo de cilindros funciona a tiempo completo en el módulo de control electrónico. El algoritmo de balanceo proporciona ralentí uniforme, así como capacidades de diagnóstico excelentes.

La respuesta del motor es muy buena y táctil, debido a la capacidad del módulo electrónico de ajustar rápidamente la sincronización y dosificación de combustible.

3.4.2.3. Señales de salidas y actuadores

Los dispositivos de entrada, son todos aquellos que le brindan información al módulo o señal de activación de algún componente específico, entre ellos:

- Sensores.
- Interruptores (freno de motor, activación manual de ventilador, control crucero, modo de diagnóstico).

Los dispositivos de salida del sistema eléctrico conectados al arnés del motor incluyen:

- Actuadores de dosificación de combustible
- Actuadores de sincronización de combustible
- Actuadores de control de cuatro pasos de la compuerta de desahogo
- Ventilador (fan clutch)
- Frenos del motor (vea sección 5)
- Enlace de datos J1939
- Lámparas de dosificación o señales de notificación

4. SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE GASES (EGR)

4.1. Descripción general

El sistema de recirculación de gases, aparece bajo la necesidad de reducir los gases nocivos de escape, según las Normas Norteamericanas de la Agencia Estatal Ambiental (EPA). Este sistema, si bien es cierto ya había sido utilizado en vehículos livianos desde la década de los ochenta, en sistemas de vehículos pesados de transporte aparece hasta el 2004, cuando las emisiones se regularon aún más.

Los diseños más recientes de motor han incorporado cambios al motor base y han optimizado los sistemas de admisión de aire, combustible y control electrónico. Con la adición de la nueva tecnología de recirculación del gas de escape, las emisiones totales de escape están siendo reducidas aun más.

Estos cambios resultan también en desempeño mejorado de arranque en frío, torque de accionamiento del embrague y respuesta transitoria.

Esta sección incluirá un repaso de la combustión diésel básico ya que se relaciona con las emisiones de escape. Los componentes del sistema de recirculación del gas de escape serán introducidos y se discutirá la operación de cada componente. Finalmente, también se examinarán los efectos de recirculación del gas de escape en los componentes del motor.

4.2. Razones para utilizar sistemas de recirculación de gases de escape (EGR)

Los motivos para implementar sistemas de recirculación de gases de escape (EGR) en motores se debe a los siguientes fenómenos:

- Mientras el porcentaje de gases de escape aumenta en la cámara de combustión, el porcentaje de oxígeno en la cámara decrece.
- Durante el proceso de combustión, el gas de escape es una carga muerta, cuando el combustible combustiona, un remanente de esa energía durante el proceso de combustión ingresa para recalentar los gases, reduciendo el pico de fuerza durante el ciclo.
- Debido a que los gases de escape dentro la cámara de combustión tienen una temperatura menor, actúa como un refrigerante en la combustión. La temperatura de ignición más baja del sistema de recirculación de gases de escape (EGR), hace más efectiva la combustión. Por esta razón el sistema de recirculación de gases de escape (EGR) es posenfriado antes de ingresar a la admisión de los cilindros.

4.3. Componentes de sistema de recirculación de gases de escape (EGR)

A continuación se presentan los componentes que comúnmente forman parte de un sistema de recirculación de gases de escape. Las partes presentadas son de motores Cummins ISM e ISB/ISC

4.3.1. Turbocompresor de geometría variable

El turbocompresor de geometría variable es un componente diseñado para la mejora del manejo del sistema de recirculación de gases de escape (EGR), creando una presión de reserva e incrementa la potencia del motor a bajas revoluciones de operación. Este componente básicamente tiene dos propósitos en la operación:

- Cuando el sistema de recirculación de gases de escape (EGR) está encendido, la geometría variable cambia la presión del múltiple de escape para aumentar la cantidad de flujo de la recirculación de gases.
- Cuando el sistema de recirculación de gases de escape (EGR) está desactivado, la geometría variable crea una reserva de carga de aire para proporcionar una respuesta más rápida en la aceleración y mejorar la combustión.

Los turbocompresores con compuerta de desahogo, envían una porción del gas de escape alrededor de la rueda de la turbina del turbocompresor y la energía de escape es desaprovechada, es decir, la energía de escape no es usada por la rueda del compresor del turbocompresor para bombear aire de admisión hacia el motor. Ver figura 152.

Se usa un turbocompresor con compuerta de descarga, para mejor desempeño en baja velocidad del motor y control de sobrepresión en alta velocidad del motor.

Figura 152. **Operación de compuerta de desahogo en turbo VG**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 17.

La función principal del turbocompresor de geometría variable es acumular sobrepresión rápidamente para mejorar la respuesta transitoria.

El turbocompresor de geometría variable también puede usarse para incrementar la contrapresión del múltiple de escape. Esta contrapresión incrementada se usa para forzar una porción de los gases de escape a través del sistema de recirculación de gases de escape (EGR). Esto ayuda a incrementar la presión en el gas de escape sobre la del aire amplificado del enfriador de carga de aire.

El turbocompresor de geometría variable también puede usarse para proporcionar frenado de escape.

Todos los turbocompresores utilizan un sensor de velocidad, instalado en la carcasa del cojinete, que monitorea en tiempo real la velocidad del componente.

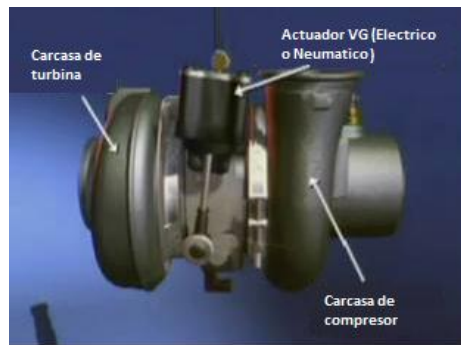
Adicionalmente, debido a las altas temperaturas de operación y las velocidades a las que se maneja este elemento, es necesario realizar un enfriamiento por refrigerante, adicional al enfriamiento por lubricante del motor.

4.3.1.1. Partes de turbocompresor de geometría variable

Los componentes mayores del turbocompresor de geometría variable son (figura 153 y 154):

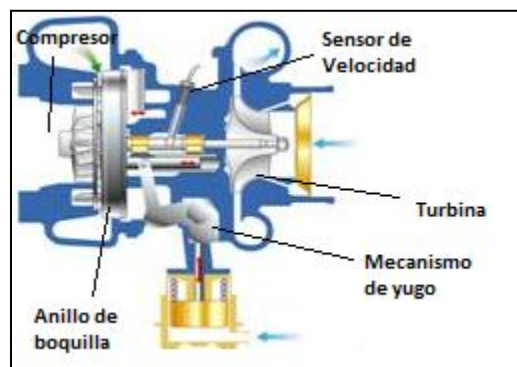
- El compresor y carcasa.
- La turbina y carcasa.
- Actuador VG (neumático o eléctrico).
- Anillo de la boquilla.
- Placa de recubrimiento.
- Mecanismo de yugo.
- Sensor de velocidad del turbo.
- Sensor de temperatura de entrada del compresor del turbo.
- Sensor de posición del VGT (solamente VGT's accionados eléctricamente).

Figura 153. **Turbocompresor de geometría variable**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 21.

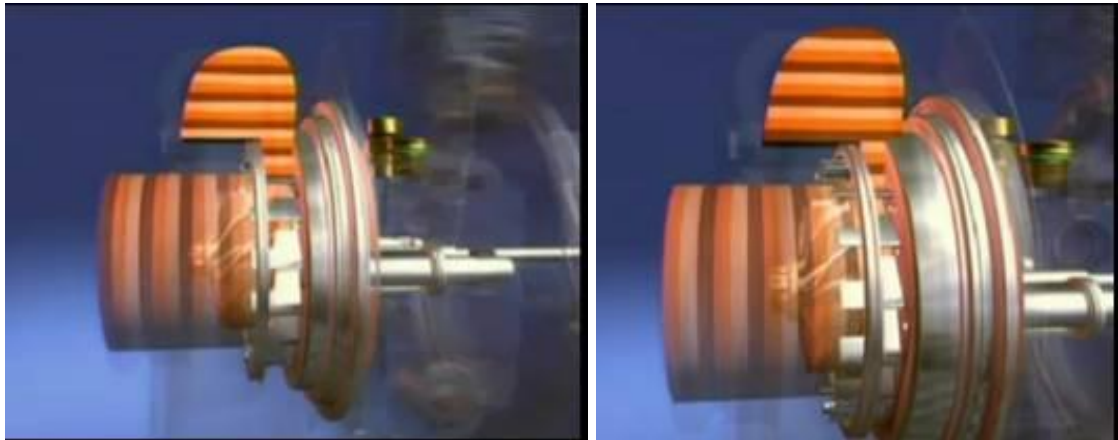
Figura 154. **Ilustración de turbocompresor VG seccionado**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 22.

La boquilla deslizante dentro de la carcasa de la turbina se ajusta para variar el área de salida en espiral de la turbina. Esta acción crea una contrapresión incrementada en el múltiple de escape para forzar algo del gas de escape a través de la válvula EGR, cuando abre. Ver figura 155.

Figura 155. **Acción de boquilla deslizante**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 24.

La boquilla deslizante es ajustada por el actuador del VG.

Hay dos tipos de actuadores que se usan con el sistema de recirculación de gases de escape (EGR), neumático o eléctrico. La forma de accionamiento dependerá de la familia de motor.

El actuador neumático está conectado al sistema de aire del vehículo y es operado por una válvula que controla la presión de aire aplicada al actuador. El sistema neumático contiene también filtros y reguladores. Ver figura 156.

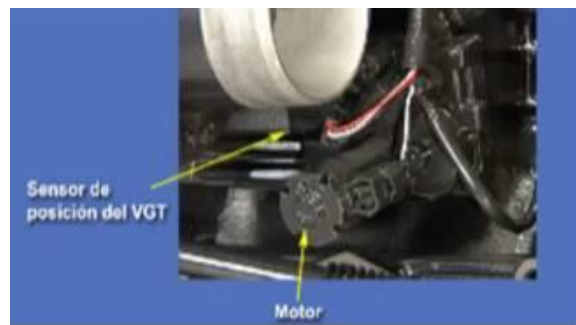
El actuador eléctrico recibirá una señal de modulación por ancho de pulso (PWM) desde el módulo de control electrónico. Un motor eléctrico en el actuador moverá la boquilla deslizante a la posición ordenada por el módulo de control electrónico. Ver figura 157.

Figura 156. **Actuador neumático de turbo VG**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 26.

Figura 157. **Actuador eléctrico de válvula EGR**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 26.

Hay un sensor de posición del turbocargador de geometría variable asociado con el actuador eléctrico. El sensor de posición proporciona retroalimentación de posición VG al módulo de control electrónico.

Con el anillo de la boquilla totalmente cerrado, el área de salida en espiral de la turbina está en su mínimo. Esto crea la máxima presión del múltiple de escape. La velocidad del eje del turbocompresor y la sobrepresión están en lo más alto.

Con el anillo de la boquilla en la posición totalmente abierto, el área de salida en espiral de la turbina está en su máximo. Esto crea la mínima presión del múltiple de escape. La velocidad del eje del turbocompresor y la sobrepresión están en lo más bajo.

La posición de la boquilla deslizante es infinitamente variable entre abierta y cerrada, con accionamiento neumático o eléctrico.

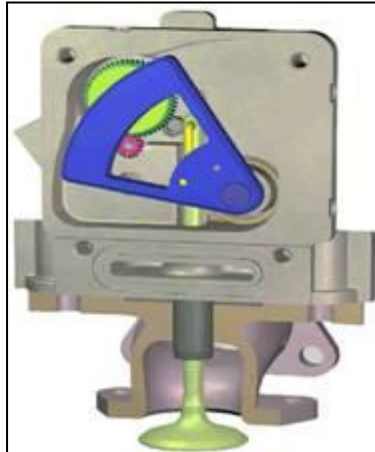
4.3.2. Válvula EGR

La válvula EGR junto con el turbocompresor de geometría variable regula la cantidad de gas de escape a la que se le permite recircular al sistema de admisión (figura 158). La ubicación y el tamaño de la válvula variarán según la familia de cada diseño de motor.

Esta válvula realiza su mecanismo de operación, gracias a un motor de eléctrico de alta rapidez que proporciona una respuesta instantánea a la señal del módulo de control electrónico. También ayuda a que la válvula tenga infinitas posiciones de apertura, para permitir el paso de gases.

La posición de la válvula depende de dos factores, de la señal del sensor de sistema y la señal que envía el módulo de control electrónico del motor, como se mencionó con anterioridad.

Figura 158. **Esquema de válvula EGR seccionada**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 30.

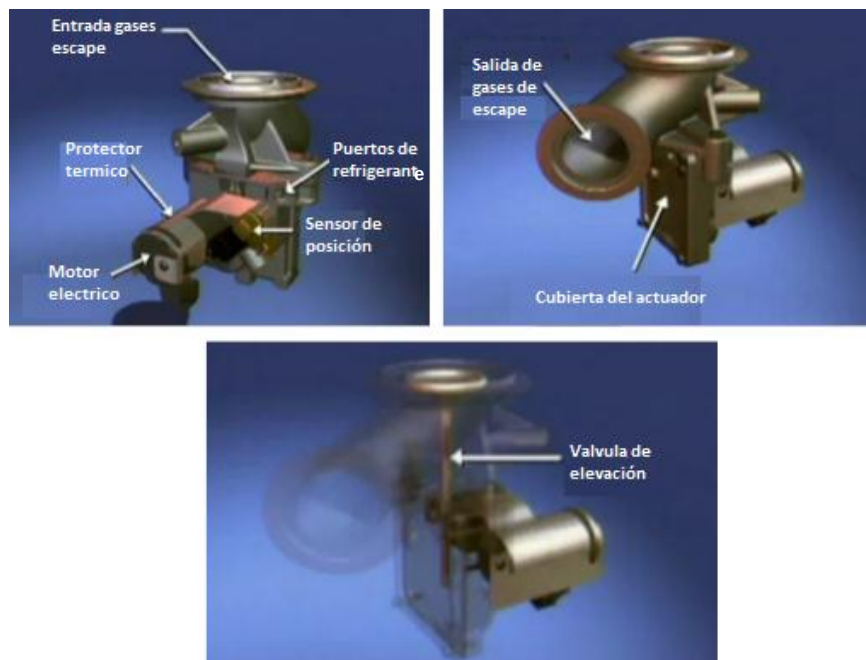
Los componentes externos de la válvula EGR incluyen (figura 159):

- Entrada del gas de escape
- Motor eléctrico
- Sensor de posición
- Protector térmico
- Puertos de refrigerante
- Salida del gas de escape
- Cubierta del actuador
- Válvula de elevación

La válvula de elevación que abre exteriormente, abre en el múltiple de escape y es controlada por un motor eléctrico de alta velocidad con un sistema de reducción de engranajes.

El sensor de posición en la válvula le avisa al módulo de control electrónico en cuanto a la posición real de la válvula EGR. El módulo de control electrónico ajusta constantemente la elevación de la válvula a través del uso del motor y de la reducción de engranajes para producir el flujo de recirculación de gases de escape necesario.

Figura 159. **Partes de válvula EGR**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 33.

El motor y el sensor de posición están protegidos del calor por un protector y una carcasa de actuador enfriada por agua (figura 160). El sensor de posición y el protector térmico son los únicos componentes de la válvula EGR a los que se les puede dar servicio.

4.3.3. Enfriador EGR

Como su nombre lo indica, es un elemento que se utiliza para disminuir la temperatura del gas de escape, anterior a ser introducido nuevamente al sistema de admisión. Ver figura 161.

Figura 160. **Ensamble de válvula EGR**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 34.

La operación de este elemento, es la circulación del gas por paredes muy delgadas construidas en acero inoxidable que proporcionan una máxima transferencia de calor.

Como se mencionó antes, enfriando el gas de escape recirculado se reducirá la temperatura total del aire de carga, con lo cual se reduce la temperatura pico de combustión y se reduce la formación de Óxidos de Nitrógeno.

Si el gas en el enfriador EGR estuviera muy frío, esto conduciría a la formación de ácido, acumulación de agua y ensuciamiento por hidrocarburos de las superficies de transferencia de calor dentro del enfriador. Resultando en eficiencia reducida del enfriador EGR.

El enfriador EGR por sí mismo, no está diseñado para evitar el sobre-enfriamiento. Sin embargo, si las condiciones ambiente son tales, el módulo de control electrónico cerrará temporalmente la válvula EGR y detendrá el flujo de gas al enfriador.

Figura 161. **Enfriador EGR**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 35.

El refrigerante y los gases recirculados entran al enfriador en el mismo extremo del enfriador y fluyen paralelos uno con otro. Conforme el gas entra al enfriador, un difusor asegura distribución uniforme. La distribución uniforme es la única forma de lograr el enfriamiento necesario del gas.

Pequeños generadores de turbulencia dentro del lado del gas de escape del enfriador, crean un flujo turbulento, lo cual limpia continuamente depósitos de hollín de los tubos (figura 162). Esto asegura que el enfriador sea autolimpiable y no requerirá mantenimiento de rutina.

Figura 162. **Generadores de turbulencia dentro del enfriador**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 36.

El enfriador, fallará únicamente si el motor sufre de una saturación del enfriador. Este generalmente se regenera automáticamente luego que la saturación ocurre, es corregido.

4.3.4. Mezclador de gases EGR

Se requiere un método para mezclar completamente el gas de escape y el aire fresco. Esto se realiza en el mezclador EGR. El mezclador asegura también que la mezcla de aire de carga sea consistente para todos los cilindros.

Hay dos tipos diferentes de mezcladores que se usan en motores Cummins®, un mezclador estilo Venturi y un mezclador estilo estriado. Ver figura 163.

El mezclador estilo Venturi, conocido también como el eyector en algunas familias de motores, crea una caída de presión en la garganta Venturi. La caída de presión asiste para aspirar más gas de escape, para obtener el gasto necesario de gases recirculados.

Figura 163. **Estilo de mezcladores de gases**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 42.

El aire fresco y el gas de escape recirculado se combinan justo dentro de la garganta Venturi. El Venturi causa una pequeña pérdida de eficiencia debida a la energía necesaria para mover el aire a través del pequeño diámetro de la garganta.

Desde el mezclador, el aire de carga viaja al múltiple de admisión.

El mezclador estilo estriado mezcla el gas de escape recirculando el aire fresco con una mínima cantidad de caída de presión.

Este diseño de mezclador puede usarse en motores que no necesitan asistencia del mezclador de admisión para obtener el gasto necesario de gases recirculados.

Un mezclador estriado no tendrá la pequeña pérdida de eficiencia que se ve en el mezclador Venturi.

4.4. Flujo de sistema de recirculación de gases de escape (EGR)

Dicho simplemente, el sistema de recirculación del gas de escape toma una porción del gas de escape y la regresa a la cámara de combustión. Para ayudar a entender como esto reduce las emisiones perjudiciales, es necesario conocer primero algunos de los principios de la combustión diésel.

En un motor diésel, la combustión ocurre cuando es inyectado combustible en un cilindro que contiene aire bajo altas presiones y temperatura. El combustible rápidamente quemado libera una gran cantidad de energía térmica. La liberación de energía térmica incrementa drásticamente la presión en el cilindro. Esta presión incrementada impulsa hacia abajo al pistón.

Los tres requerimientos para que ocurra la combustión son aire, calor y combustible.

El aire es una combinación de aproximadamente 21% de oxígeno; 75% de nitrógeno; y 4% de otros diversos gases por volumen.

Figura 164. **Esquema de sistema EGR**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 46.

De estos gases, el oxígeno es el único que soporta la combustión. Sin embargo, como se verá más adelante, el nitrógeno y otros gases tienen un impacto en las emisiones de escape.

Entre más oxígeno esté disponible para la combustión, más alta es la eficiencia de combustión. Una libra de combustible necesita aproximadamente 20 libras de aire para quemarse eficientemente.

La densidad del aire es la medición de moléculas de oxígeno dentro de un volumen fijo de aire. Entre más alta sea la densidad del aire, más moléculas de oxígeno están disponibles para combustión.

El aire en altitudes elevadas es menos denso que el aire a nivel del mar, pero la relación de oxígeno a nitrógeno permanece igual. La densidad del aire no sólo es afectada por la altitud, sino también por la temperatura del aire ambiente y la humedad.

Cuando las moléculas de aire (y todos los gases en cuanto a eso) están en una temperatura más alta, las moléculas están más separadas. Cuando ellas están más frías, ellas están más juntas.

La humedad, es decir, agua evaporada en el aire, deja menos espacio para las moléculas de oxígeno en un volumen fijo de aire, comparado con el mismo volumen de aire con humedad más baja.

Por lo tanto, el aire húmedo y caliente no crea buena eficiencia de combustión, porque hay muy pocas moléculas de oxígeno en un volumen fijo.

Sin embargo, el aire frío y seco es excelente para combustión, porque hay más moléculas de oxígeno en un volumen fijo.

El calor es producido durante la carrera de compresión. Conforme el aire en el cilindro es comprimido, las moléculas de aire rozan unas contra otras, creando fricción. La fricción eleva la temperatura del aire al punto de que cuando el combustible es inyectado en el cilindro; la mezcla es encendida y comienza a quemarse.

El combustible, el tercer elemento necesario para la combustión, está compuesto casi enteramente de combinaciones de hidrógeno y carbono. Los combustibles difieren en su relación de hidrógeno a carbono. Estas variaciones son referidas comúnmente como hidrocarburos.

En resumen, para que la combustión tenga lugar, debe introducirse la cantidad apropiada de aire en la cámara de combustión. El pistón en su carrera hacia arriba comprime el aire produciendo fricción entre las moléculas de aire, lo cual eleva la temperatura en el cilindro.

En el momento apropiado es inyectado combustible dentro del cilindro, la compresión en el cilindro continúa hasta la ignición. En ese punto tiene lugar la combustión, creando energía térmica. Una porción de la energía térmica es convertida a energía mecánica, impulsando hacia abajo al pistón.

La liberación de calor durante el proceso de combustión es realmente una reacción química. La energía que originalmente enlazaba juntos al hidrógeno y al carbono es liberada en forma de calor.

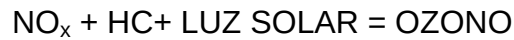
Los hidrocarburos reaccionan con el oxígeno en el aire durante la combustión, para formar agua y gas de dióxido de carbono. Ambos subproductos de la combustión son inocuos cuando se expulsan hacia la atmósfera.

Conforme el combustible es quemado, son creadas dos amplias categorías de sustancias indeseables. Siendo la mayor combinación de oxígeno y nitrógeno; específicamente, dióxido de nitrógeno NO_2 y óxido nítrico, NO . Colectivamente estos compuestos son conocidos como óxidos de nitrógeno o gases NO_x .

El combustible sin quemar o parcialmente quemado resulta en otro grupo de químicos perjudiciales emitidos enseguida de la combustión. El combustible sin quemar es hidrocarburo en naturaleza.

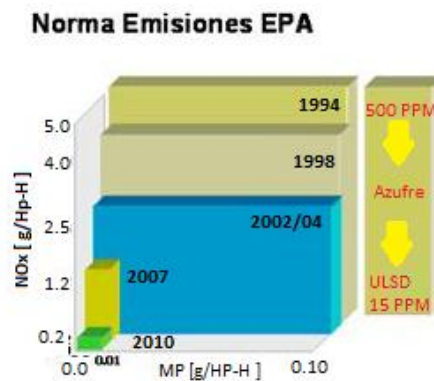
Estas emisiones de escape son referidas como materia de partículas o hidrocarburos. Acortado también simplemente como HC's.

Los gases de óxidos de nitrógeno en la presencia de luz solar se combinan con hidrocarburos para formar ozono (O_3). El ozono es el componente mayor del smog.



Las emisiones de escape, en los Estados Unidos, son reguladas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), para limitar los contaminantes en la atmósfera. Como lo muestran la gráfica en la figura 165, el nivel permisible de óxidos de nitrógeno más hidrocarburos se redujeron grandemente para los motores automotrices de rango medio y servicio pesado comenzando a fines del 2002.

Figura 165. **Gráfica de Normas EPA**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 61.

Como puede observarse en la figura 165, para 1994 el valor permitido para materiales particulados no gaseosos compuestos de hollín, carbón y otros subproductos de la combustión (MP) era de 0,10 gramo sobre caballo de fuerza hora y para óxidos de nitrógeno un máximo de 5,0 gramo sobre caballo de fuerza hora, trabajando con contenido de azufre de 500 partes por millón en el diésel.

Entre menor sea el contenido de azufre menor será la creación de ácido sulfúrico, tanto para la atmósfera y para las mismas condiciones del motor. En contraparte para 2010 en Estados Unidos se introdujo el diésel bajo en azufre (ULSP, por sus siglas en inglés). Este tiene la característica que posee un contenido de hasta 15 partes por millón de azufre, por lo que tuvieron que invertir en mejor destilación y paquete de aditivos para ofrecer este producto al mercado.

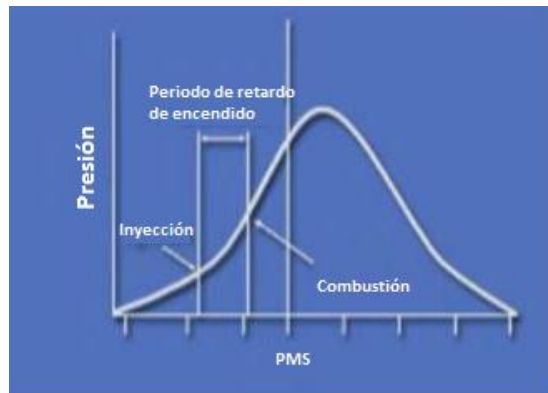
En cuanto a materiales particulados se redujo a 0,01 gramo sobre caballo de fuerza hora y para emisión de óxidos de nitrógeno a 0,2 gramo sobre caballo de fuerza hora. Para llegar a estos niveles de emisión, crearon otros subsistemas adicionales al sistema de recirculación de gases de escape (EGR), el cual consiste en tratar los gases postcombustión con químicos como urea, de lo cual se desprende únicamente vapor de agua. Este tipo de tecnología no será tocado en este trabajo.

Para reducir la cantidad de contaminantes perjudiciales en el escape, el proceso de combustión debe controlarse. Para hacer esto, debe ajustarse el período de retardo de encendido. El período de retardo de encendido es la cantidad de tiempo a partir de cuándo el combustible es inyectado, primero en el cilindro, hasta que el combustible comienza a quemarse. Ver figura 166.

Una de las formas de ajustar el período de retardo de encendido es atrasando o adelantando la sincronización de inyección. Ver figura 167.

Con la sincronización de inyección atrasada, el combustible es inyectado dentro del cilindro más tarde en la carrera de compresión.

Figura 166. **Gráfica de proceso de combustión**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 64.

Con la sincronización de inyección adelantada, el combustible es inyectado dentro del cilindro más pronto durante la carrera de compresión.

Inyectar más tarde el combustible dentro del cilindro durante la carrera de compresión, le da menos tiempo al combustible para mezclarse con el aire, antes de la ignición. Esto baja la temperatura real de combustión, lo cual resulta en la formación de menos gases de óxidos de nitrógeno. Sin embargo, esto resulta también en eficiencia de combustión ligeramente reducida.

Figura 167. **Sincronización de inyección**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 66.

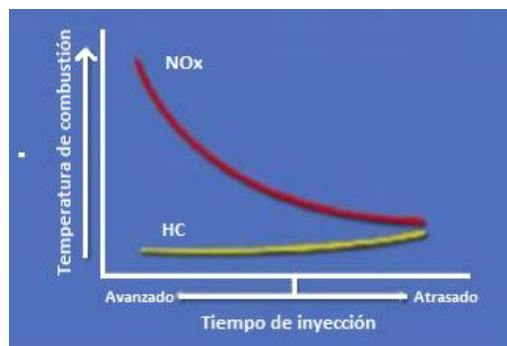
Por lo tanto, atrasar demasiado la sincronización puede conducir a emisiones más altas de hidrocarburos y con desempeño inaceptable del motor. Entre más pronto sea inyectado el combustible dentro del cilindro durante la carrera de compresión, más largo será el período de retardo de encendido. Esto da más tiempo para que se mezclen el aire y el combustible. Esto resulta en temperaturas de combustión más altas, menos combustible sin quemar, y por lo tanto, emisiones reducidas de hidrocarburos.

Sin embargo, adelantar demasiado la sincronización promueve la creación de un nivel inaceptable de gases de óxidos de nitrógeno.

Así que usted puede observar en la gráfica (figura 168) hay una relación muy estrecha entre la temperatura de combustión y la cantidad y tipo de emisiones que resultan.

La sincronización adelantada crea temperaturas de combustión más altas. Es decir: las temperaturas son lo bastante altas para promover la combustión completa y reducir hidrocarburos, pero, fomentan la formación de óxidos de nitrógeno.

Figura 168. **Gráfica de tiempo de inyección *versus* temperatura de combustión**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 67.

La sincronización atrasada crea temperaturas de combustión más bajas. Esto reduce óxidos de nitrógeno, pero ya que todo el combustible no es capaz de ser quemado o quemado completamente, esto puede conducir a formación de hidrocarburos.

Diversos tipos de sistemas mecánicos o hidráulicos de sincronización variable han sido usados para atrasar la sincronización, tanto como es posible bajo condiciones de operación variables. La reducción de la temperatura de combustión con estos métodos debe controlarse con precisión para evitar emisiones incrementadas de partículas o hidrocarburos.

Cuando las temperaturas de combustión son reducidas con sincronización atrasada, puede usarse presión de inyección más alta para mejorar la mezcla de aire y combustible en la cámara de combustión. Esto tiene el efecto de limitar las emisiones de hidrocarburos.

Enfriar el aire de admisión es otro método que se ha usado para reducir las temperaturas de combustión, con lo cual se reduce la formación de óxidos de nitrógeno.

Primero por poseenfriamiento con camisa de enfriamiento y más recientemente por poseenfriamiento aire-aire.

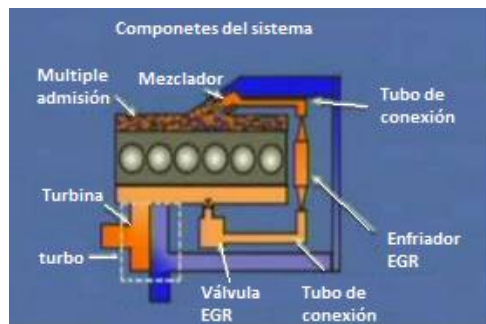
A principios de los noventa, se inició usando una combinación de enfriar el aire de admisión y de controlar electrónicamente la dosificación de combustible, la sincronización de inyección para proporcionar el control de combustión más preciso, necesario para cumplir con los estándares de emisión más recientes y más rigurosos.

Sin embargo, para reducir más el nivel de las emisiones de escape, el control electrónico de la inyección y el enfriamiento del aire de admisión solos ya no son adecuados.

Se han tenido que buscar otras tecnologías para alcanzar los niveles bajos obligados de emisiones de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos.

Los enfoques previos de control de emisiones no son capaces de cumplir con los nuevos requerimientos. El próximo paso viable para reducir temperaturas pico de combustión y por lo tanto, reducir las emisiones, es enfriar algo del gas de escape, mezclarlo con aire de admisión fresco y mover esta mezcla dentro de la cámara de combustión. Este proceso es conocido como recirculación del gas de escape o EGR. Ver figura 169.

Figura 169. **Esquema de sistema EGR y componentes**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 70.

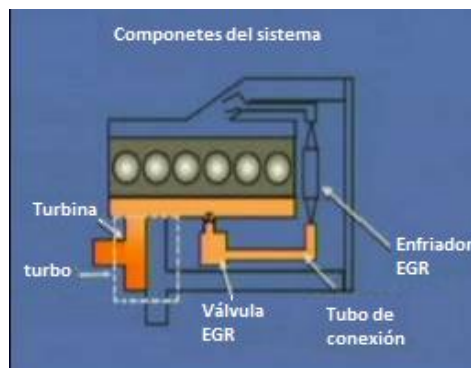
La mezcla de gas de escape recirculado y aire de admisión fresco es referida como el aire de carga. El gas de escape extra en el aire de carga es inerte. Esto significa que virtualmente no tiene oxígeno en él, por lo tanto, no soportará combustión. También, algo de la energía térmica durante la combustión es absorbida por el gas de escape inerte en vez del aire fresco, con lo cual se reduce la temperatura pico de combustión. Esto reduce la formación de óxidos de nitrógeno mientras se minimiza el uso de la sincronización atrasada.

La presión dentro del múltiple de escape se incrementa. Esto se realiza a través del uso de un turbocompresor con geometría variable, un orificio regulador de escape u otras restricciones.

Cuando se le ordena hacerlo así, la válvula EGR abre y permite que fluya más gas de escape. El gas fluye luego a través del tubo de conexión EGR, hacia el enfriador EGR. Ver figura 170.

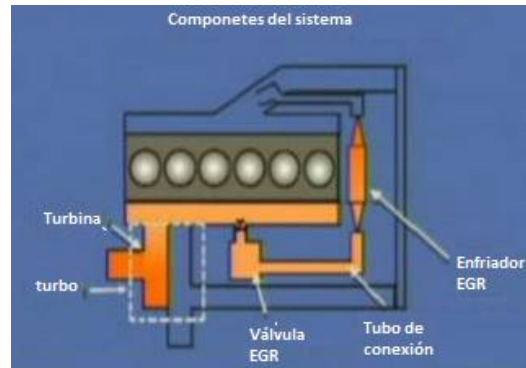
El gas de escape recirculado entra luego al enfriador EGR enfriado por el refrigerante del motor, donde su temperatura es reducida. El gas enfriado continúa luego fluyendo a través del tubo de escape hacia el lado de admisión del motor. Ver figura 171.

Figura 170. **Flujo de gas: apertura de válvula EGR**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 73.

Figura 171. **Flujo de gases: enfriamiento de gases**

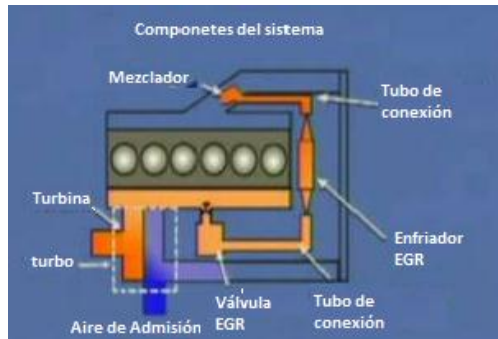


Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 74.

En el lado de admisión del motor el gas de escape recirculado entra a un mezclador de entrada (figura 172). En este punto, el aire de admisión fresco comprimido que viene del turbo es combinado con el gas de escape recirculado para formar el aire de carga para la combustión. Este aire de carga entra luego al múltiple de admisión y luego a los cilindros de combustión.

El oxígeno está en una concentración más baja en el aire de carga debido a la adición del escape recirculado. Sin embargo, para que un motor equipado con sistema de recirculación de gases de escape (EGR) mantenga los mismos niveles de potencia que un motor sin sistema de recirculación de gases de escape, debe estar disponible la misma cantidad de oxígeno para el proceso de combustión.

Figura 172. **Flujo de gases: mezcla de fluidos**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 75.

Para mantener la misma cantidad de oxígeno, debe incrementarse el volumen total de gas que entra a la cámara de combustión. Esto tiene el efecto de incrementar la presión pico del cilindro, comparada con la de un motor sin sistema de recirculación de gases de escape (EGR) de la misma potencia.

Aunque cada producto de motor tendrá ligeras variaciones en su diseño y sistema de recirculación de gases de escape (EGR), todos tendrán los mismos componentes básicos (figura 173):

- Turbocompresor de geometría variable o un turbocompresor con compuerta de descarga.
- Válvula de recirculación del gas de escape (válvula EGR).
- Enfriador de recirculación del gas de escape (enfriador EGR).
- Tubo de conexión EGR.
- Dispositivo mezclador de admisión.

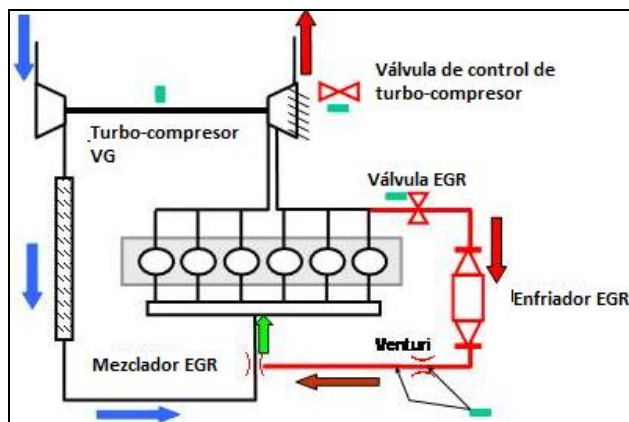
El módulo de control electrónico tiene la capacidad de ajustar independientemente el turbocompresor de geometría variable y la válvula EGR para suministrar el flujo de gases de escape necesario.

Por ejemplo, en este sistema accionado eléctricamente, si el módulo de control electrónico detecta que es necesario un ajuste en el flujo del gas recirculado, puede indicarle al motor eléctrico en el turbo de geometría variable que deslice la boquilla a la posición necesaria.

El módulo de control electrónico también podría indicarle a la válvula EGR que ajuste la válvula de elevación para permitir el flujo de gas ordenado a través de la válvula EGR. El gas se mueve a través de la válvula y al tubo de conexión.

Recuerde que el módulo de control electrónico controla independientemente al actuador VG y a la válvula EGR, según lo requieran las condiciones.

Figura 173. **Diagrama de sistema EGR**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 76.

El tubo de conexión conduce al enfriador EGR, donde el gas pasa a través de los tubos rodeados por refrigerante. La temperatura del gas es reducida a un nivel conveniente para mezclarse con el aire de admisión fresco. El gas enfriado sale luego del enfriador hacia el tubo de conexión.

El gas enfriado es luego expelido hacia el mezclador donde es combinado completamente con el aire de admisión fresco para crear el aire de carga para combustión. El aire de carga continúa luego al múltiple de admisión.

4.5. Sensores y actuadores

El sistema de recirculación de gases necesita una serie de sensores y actuadores, que permitan monitorear adecuadamente el sistema y realizar los ajustes necesarios en tiempo real. Esto es posible también, por el hecho del avance tecnológico en módulos de control.

Los motores fabricados después de 2004 cuentan con esta tecnología y poderosos software e interfaces que permiten tener información instantánea.

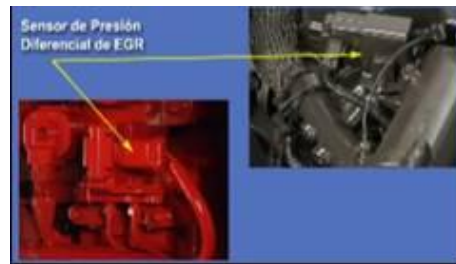
El sistema de recirculación de gases de escape necesita varios sensores nuevos para monitorear y operar apropiadamente el sistema. Ellos son:

4.5.1. Sensor de presión diferencial de EGR

El sensor de presión diferencial de EGR estará colocado en la conexión de admisión de aire o en el tubo de conexión EGR (figura 174), dependiendo de la familia del motor. Este sensor mide la diferencia en presión entre dos puntos en la trayectoria de flujo. Conforme el flujo del gas de escape se incrementa, la diferencia en presión se incrementa.

El módulo de control electrónico usa esta entrada para calcular el flujo masivo del gas de escape recirculado dentro del sistema de admisión.

Figura 174. **Sensor de presión diferencial**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 79.

4.5.2. Sensor de presión de gases de escape

Mide la presión de los gases de escape en el múltiple de escape. Es utilizado para prevenir daños en la válvula EGR en aperturas donde el diferencial de presión es muy alto. Si la presión del gas de escape menos la presión del múltiple de admisión es mayor de 40 milímetros de mercurio, la válvula permanecerá cerrada. El motor eléctrico no recibirá señal cuando la presión diferencial es demasiado alta.

4.5.3. Sensor de temperatura de EGR

Mide la temperatura del gas de escape antes de ingresar al múltiple de admisión. Es utilizado junto con el sensor de presión diferencial para calcular el ingreso de gas al motor.

El sensor de temperatura de entrada del compresor del turbo está montado en la carcasa del compresor. Ver figura 175.

El sensor se usa como una entrada al módulo de control electrónico para ayudar a calcular la temperatura del aire que deja la salida del compresor.

4.5.4. Sensor de posición de válvula de EGR

El sensor de posición de la válvula EGR está colocado en el ensamble de la válvula EGR (figura 176). Este sensor mide la posición real de la válvula EGR. Basado en esta retroalimentación, el módulo de control electrónico puede ordenar ajustes a la posición de la válvula o determinar si la válvula está funcionando mal.

Figura 175. **Sensor de temperatura de gases**

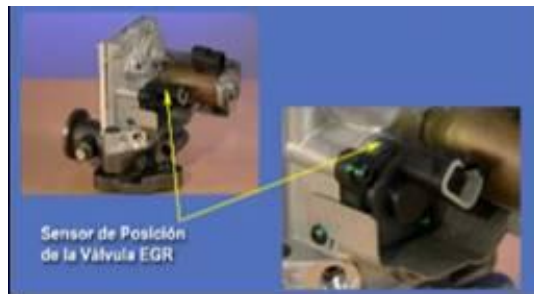


Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 81.

4.5.5. Motor de válvula EGR

Este es un actuador, el cual es un motor eléctrico de alta velocidad que realiza la función de movimiento a la válvula por medio de un mecanismo de cremallera.

Figura 176. **Sensor de posición de válvula EGR**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 82.

4.5.6. Sensor de velocidad de turbocompresor

Monitorea en tiempo real la velocidad del eje del turbocompresor, para evitar una sobrerrevolución y daños en el turbo. Debido a que estos tipos de turbocompresores son de dimensiones mayores a los requerimientos del motor.

Dependiendo de la familia de motor, el sensor de velocidad del turbo está montado en la carcasa del compresor del turbocargador o en la sección central de la carcasa de cojinetes. Ver figura 177.

Figura 177. **Sensor de velocidad del turbo**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 83.

4.5.7. Sensor de temperatura de salida del turbocompresor

Este monitorea la temperatura a la cual el aire de admisión está siendo ingresado.

4.5.8. Válvula de control de turbocompresor

Esta válvula tipo carrete que sirve para regular la presión dentro del variador de geometría variable, en consecuencia controla el actuador de posición de geometría variable.

El sensor de posición del actuador está montado en la carcasa del actuador de turbocompresores de geometría variable accionados eléctricamente (figura 178). Se usa para información de retroalimentación al módulo de control electrónico durante prueba de diagnóstico.

Figura 178. **Sensor de posición de actuador**



Fuente: Cummins. Curso de certificación sistema EGR. p. 86.

4.5.9. Válvula de control de shut-off de turbocompresor

Esta válvula está diseñada para detener totalmente el suministro de aire al turbocompresor, para mantener el sistema del camión comprimido y evitar una sobrecarga en marcha.

4.6. Efectos del sistema de recirculación de gases de escape en el motor

La principal misión dentro de los nuevos motores con sistema de recirculación de gases es reducir la emisión de gases nocivos.

Para el 2004 la emisión de gases fue reducido casi a la mitad de lo que la Norma EPA 98, siendo este un valor de 2,5 gramo sobre caballo de fuerza hora de Óxidos de Nitrógeno. El reto tecnológico para reducir el nivel de gases nocivos fue grande.

Dada la situación se realizaron modificaciones las cuales afectaron de diferentes formas a los motores, principalmente la temperatura de operación del motor y sus sistemas de refrigeración.

Como segundo punto debió reducirse el caballaje de los motores, para la Norma 98, existían aplicaciones con motores de 600 caballos de fuerza, lo cual no pudo ser trasladado a la siguiente norma, debido a un sobrecalentamiento en la operación.

Las modificaciones en motores equipados con sistemas de recirculación de gases de escape, modificaron algunas características con respecto a los motores sin este tipo de equipamiento:

- El motor puede operar a temperaturas menores a temperaturas ambiente menores. Para ello, el motor requiere de mayor flujo de refrigerante por parte de la bomba. Necesita paquetes de refrigeración más grandes en dimensión. La temperatura de operación del refrigerante no debe ser menor a 180 grados Fahrenheit. Estos motores son diseñados para funcionar eficientemente a temperaturas menores de operación de refrigerante.
- El motor puede operar a temperaturas mayores, a temperaturas ambiente mayores. El motor es diseñado para trabajar en temperaturas de operación de refrigerante mayores a los 225 grados Fahrenheit, por lo que el fan-clutch ingresa a funcionar a en rangos de operación cercanos a los 210 grados Fahrenheit. La protección electrónica del motor iniciará cuando esté próximo a los 225 grados Fahrenheit.

- La temperatura general debajo de capo del camión se incrementará aproximadamente en 20 grados Fahrenheit debido a la radiación del motor, respecto a los motores sin sistema de recirculación de gases de escape.
- Caídas de presión y temperatura a través del radiador del postenfriador: el sistema de refrigeración y el sistema de recirculación de gases de escape cambian los resultados de diferenciales de temperatura y presión que circulan el radiador y el enfriador de carga de aire (intercooler).

4.6.1. Percepción del conductor respecto a los motores equipados con sistema de recirculación de gases de escape

- Mejor frenado de motor..
- Mejor desempeño del motor.
- La presión mantenida en el sistema, proporciona una carga de reserva, que varía a lo largo de la operación.
- Por ejemplo: la presión de vacío se incrementará luego que el conductor deje de acelerar debido al turbo de geometría variable
- El motor funcionará más frío bajo 180 grados Fahrenheit, durante ambientes más fríos.
- Disminución en la economía de combustible, aproximadamente de un 3% a un 5%.

4.7. Razones del sistema de recirculación de gases de escape

- Control efectivo de óxidos de nitrógeno.
- Evita el uso de catalizadores para óxidos de nitrógeno.
- Óptima solución relación óxidos de nitrógeno / economía de combustible.

5. FRENO DE MOTOR

El freno de motor es un retardador del motor diésel que emplea el motor para ayudar a desacelerar la marcha y controlar el vehículo. Al activarse, el freno de motor altera la operación de las válvulas de escape, de modo que este funciona como un compresor de aire, absorbiendo la potencia. De esta manera se produce un efecto de retardo o desaceleración de las ruedas propulsoras del vehículo, que permiten controlar mejor el vehículo sin emplear los frenos de servicio. Esto conduce a una reducción en el mantenimiento del freno de servicio del vehículo, tiempos de recorrido más cortos y costos de operación más bajos.

Este equipo es utilizado en aplicaciones automotrices para reducir significativamente la velocidad del vehículo, como ayuda al sistema de frenos. El proceso de operación de retardado es totalmente bajo el control del operador del vehículo y puede ser utilizado simultáneamente con el sistema normal de frenos de servicio. El freno de motor puede ser instalado en cualquier momento, es un dispositivo que no viene instalado de fábrica en el motor.

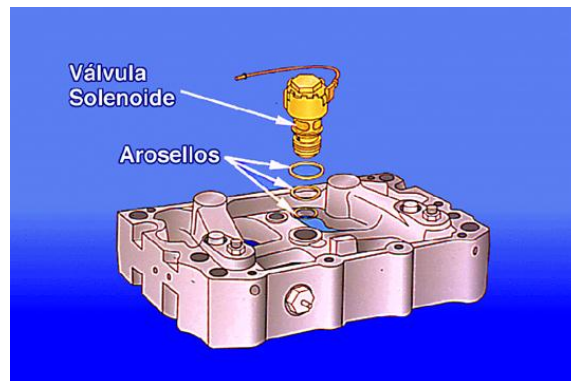
5.1. Componentes

El freno de motor consta de una serie de elementos eléctricos, mecánicos y oleohidráulicos. El equipo descrito a continuación es un componente marca Jacobs tipo C, utilizado en motores Cummins N14.

- Válvula solenoide

Es cualquier dispositivo físico capaz de crear una zona de campo magnético uniforme, el cual es capaz de contraer una válvula para permitir el paso de un fluido.

Figura 179. **Válvula solenoide de freno de motor**

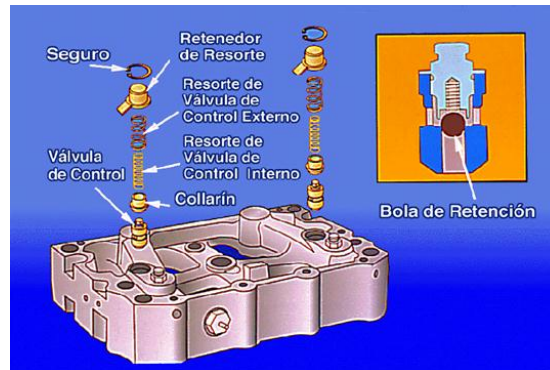


Fuente: Cummins. Curso: Familiarización de freno de motor Tipo C Jacobs. p. 7.

- Válvula de control

La válvula de control es una válvula unidireccional con antirretorno, con retorno por resorte o muelle. Consta de un elemento esférico, un asiento y un cuerpo móvil.

Figura 180. **Válvula de control de freno de motor**

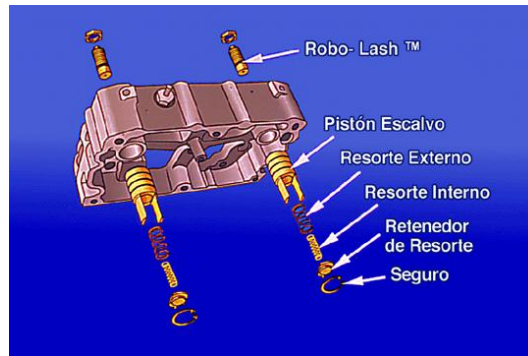


Fuente: Cummins. Curso: Familiarización de freno de motor Tipo C Jacobs. p. 8.

- Pistón secundario o esclavo

El pistón esclavo es conformado por un émbolo y un cilindro, también retornado por resorte o muelle, su función es intensificar por medio oleohidráulico la fuerza del pistón primario. Ver figura 181.

Figura 181. **Pistón secundario de freno de motor**



Fuente: Cummins. Curso: Familiarización de freno de motor Tipo C Jacobs. p. 9.

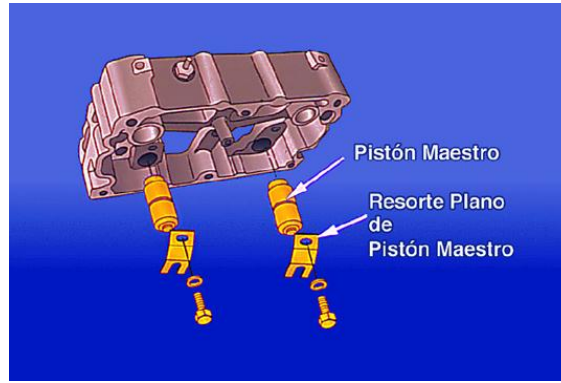
- Pistón principal o maestro

Al igual que el pistón secundario, está conformado por un émbolo y un cilindro, perforado sobre la culata del freno de motor. Su función es enviar aceite comprimido al pistón esclavo. Ver figura 182.

5.2. Descripción de funcionamiento

El freno de motor utiliza la fuerza hidráulica del aceite de lubricación para realizar la operación de apertura de las válvulas. Luego de que el aceite circula la mayor parte del sistema de lubricación y llega a la parte superior del eje de balancines, donde ocurre la derivación para el inicio de la operación.

Figura 182. **Pistón maestro de freno de motor**



Fuente: Cummins. Curso: Familiarización de freno de motor Tipo C Jacobs. p. 9.

En operación normal, un motor diésel produce energía mecánica a través de la compresión de aire en un cilindro, en el cual el diésel es inyectado e inflamado.

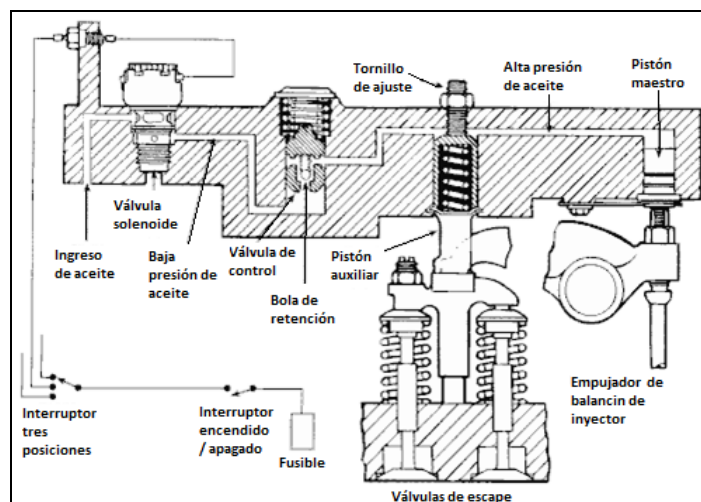
Cuando el paso de combustible es cortado por la acción de soltar el pedal del acelerador, el motor no produce energía. Sin embargo, de cualquier manera el pistón continúa comprimiendo aire durante la carrera de compresión.

El trabajo requerido para comprimir este aire es obtenido de la inercia del vehículo. Una vez alcanzado el punto muerto superior en la carrera de compresión, el pistón inicia su carrera de descenso pero la fuerza del aire comprimido hace descender el pistón, anulando todo el trabajo desarrollado en la carrera de compresión. El resultado de esta energía es retornada al vehículo por medio del eje de cigüeñal durante la carrera descendente. El único efecto de retardación es ofrecido en un motor sin freno de motor, es la fricción de las partes en movimiento.

La operación del freno del motor altera lo sucedido al finalizar la carrera de compresión. Cuando el pistón alcanza su punto muerto superior en esta carrera, las válvulas de escape son accionadas, permitiendo que el aire comprimido escape a la atmósfera. Debido a la energía almacenada en el aire comprimido no es más retenido dentro del cilindro, ningún trabajo es producido y retornado al motor en la carrera de descenso del pistón.

Cuando un freno de motor está trabajando, a la mitad del punto muerto superior de la carrera de compresión, un pistón auxiliar (pistón esclavo) oprime la cruceta de la válvula de escape, lo cual abre las válvulas de escape, permitiendo que el aire comprimido escape a la atmósfera. Típicamente, este pistón auxiliar es operado a través del cierre de un circuito hidráulico realizado por un pistón principal. El pistón principal es manejado por el movimiento del balancín del inyector.

Figura 183. **Esquema de sistema de freno de motor**



Fuente: <http://www.tecbrake.net/theory.htm>. Consulta: 18 de marzo de 2012.

En la figura 183, puede observarse que el pistón principal está posicionado debajo del tornillo de ajuste del balancín del inyector. Con el movimiento ascendente del inyector, este empuja al pistón principal, creando presión para cerrar el sistema hidráulico. Esto causa que el pistón secundario descienda y contacte las crucetas de las válvulas de escape, abriendo las válvulas de escape. El tiempo al cual requiere que el inyector pulse el varillaje es a la mitad de la carrera del punto muerto superior, precisamente cuando se necesita que las válvulas de escape abran para operación del freno.

El circuito hidráulico, compuesto por un pistón principal y uno secundario, cierra el circuito únicamente durante la operación de frenado. Bajo condiciones normales de operación, cuando el motor está produciendo potencia, el circuito hidráulico está abierto. El pistón principal y secundario no tiene movimiento. Están alejados del movimiento del balancín y crucetas, por medio de resortes internos.

La operación y cierre del circuito hidráulico es llevado a cabo por una válvula de control, la cual permite que el aceite del motor entre al circuito, retenida por una válvula cheque. La válvula de control se mueve verticalmente en un agujero el cual conecta un pasaje de aceite, permitiendo que el aceite lubricante de motor entre al circuito hidráulico pistón principal – pistón secundario. Una válvula cheque dentro de la válvula de control permite que el aceite ingrese pero no que abandone el circuito.

La posición de la válvula de control activa el freno (encendido / apagado) por medio de un solenoide eléctrico. El solenoide permite alimentación del aceite lubricante para la válvula de control cuando este es energizado. El freno hasta entonces es controlado eléctricamente por medio del módulo de control electrónico, quien envía la señal de salida.

El mando es controlado por medio de interruptores eléctricos dentro de la cabina en el tablero de control del operador. Generalmente, se maneja por medio de dos interruptores uno que activa On / Off y otro que da el nivel de intensidad el motor. Esta intensidad depende de la cantidad y configuración del freno de motor. Existen motores que pueden controlarse hasta 6 cilindros cada uno independiente por medio de tres bobinas de control.

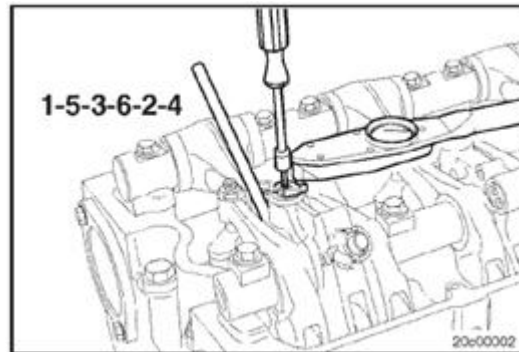
La activación del freno de motor se produce cuando el aceite lubricante ingresa al circuito, este llena todo el circuito hasta el cilindro principal. Posteriormente, cuando el seguidor de balancín de leva de inyector inicia a dejar su círculo base, el tornillo de ajuste conecta con el cilindro maestro, este a su vez por medio de un candado hidráulico hace que el cilindro secundario descienda.

El funcionamiento del freno de motor es intermitente, este es controlado directamente por el tiempo de inyección de cilindro, ya que después de ser comprimido el aire dentro el cilindro se realiza el tiempo de inyección. Este punto es sustituido por la apertura de las válvulas de escape.

5.3. Calibración

El ajuste del freno de motor debe realizarse en la secuencia de encendido (1-5-3-6-2-4) según el tipo de motor que se esté trabajando. La ilustración presentada (figura 184) es de un motor Cummins ISX.

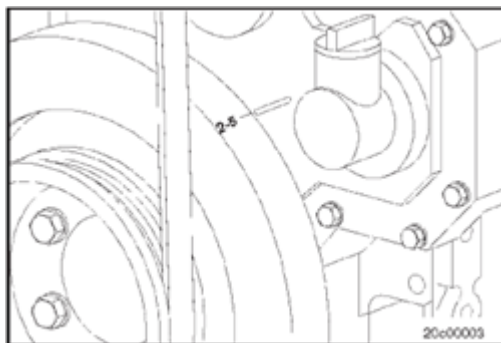
Figura 184. **Ilustración de la calibración del motor**



Fuente: Cummins. Manual Motor ISX. p. 20-09.

Es necesario localizar las marcas ubicadas en el amortiguador de vibraciones (Damper) como indica la figura 185.

Figura 185. **Ilustración de marca de tiempo en motor Cummins® ISX**



Fuente: Cummins. Manual Motor ISX. p. 20-10.

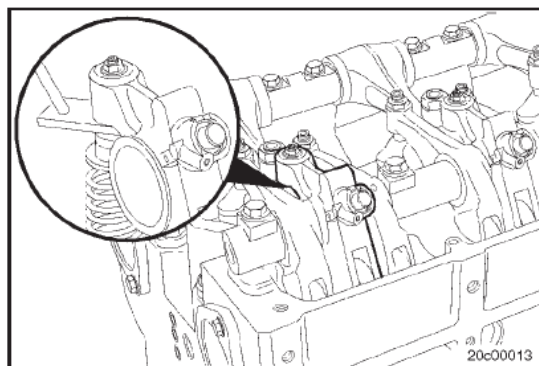
Utilizando un maneral raíz 3/4", girar el engranaje de mando a favor de las manecillas del reloj hasta llegar a la marca.

Revise que el balancín del freno de motor no este dañado. Cuando se ajusta el cilindro No.1, ambas válvulas de admisión y escape deben estar cerradas. El seguidor de árbol de levas de balancín debe estar en el círculo base del eje de levas de válvulas. De lo contrario gire una revolución completa hasta llegar a la marca.

Afloje la contratuerca del tornillo de ajuste del balancín del freno de motor y regrese el tornillo de ajuste una vuelta.

Inserte la lana de calibración de 7 milímetros entre la parte inferior del pistón principal del freno de motor y la parte superior del perno de la válvula de escape en la cruceta de la válvula de escape. Ver figura 186.

Figura 186. **Ilustración de ajuste de holgura**



Fuente: Cummins. Manual Motor ISX. p. 20-10.

Apriete el tornillo de ajuste hasta que se sienta arrastre en la lana de calibración. Arrastre apropiado significa que no hay movimiento en el seguidor del árbol de levas del balancín del freno de motor contra el lóbulo del árbol de levas.

Sostenga el tornillo de ajuste del balancín del freno de motor y apriete la tuerca a 15 pie-libra.

Para realizar calibración de holgura de válvulas e inyectores, es necesario quitar el ensamble de freno de motor. Consulte el manual de fabricante para cada caso en específico, tomando en cuenta el fabricante de motor como del ensamble de freno de motor.

6. REPARACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

6.1. Servicios al módulo de control electrónico

Debido a que los sistemas de inyección electrónica son una nueva generación de motores especializados, que cada uno de los fabricantes se encarga de personalizar y poner sus reglas, existen componentes, herramientas, accesorios y software computacionales diferentes y únicos para cada marca de motor. En esta sección se mencionarán las herramientas y equipos comunes y se detallará a qué fabricante pertenecen.

6.1.1. Herramientas de reparación

Existen diferentes tipos de herramientas especializadas para el diagnóstico de motores electrónicos. Dentro los principales fabricantes se puede mencionar Cummins[®], Detroit Diésel y Caterpillar.

La principal herramienta de diagnóstico es el software computacional para enlazarse con el módulo de control electrónico. Por ejemplo Cummins[®] lo llama INSITE, Detroit Diésel Diagnostic link y Caterpillar Electronical Technitian. Estos softwares los vende cada uno de sus distribuidores en el país, cobrando licencias anuales.

Estos programas ofrecen gran ayuda para el diagnóstico de motores, ya que pueden ofrecer lectura de falla de códigos, en donde puede apreciarse en el momento exacto que sucedió la falla y bajo qué condiciones de operación estaba trabajando.

Información del motor, modificación y lectura de parámetros de la unidad. Reportes de manejo, dentro de estos se pueden mencionar consumo de combustible, velocidad máxima, frenas de pánico, etcétera.

También ofrece las opciones de diagnóstico de falla donde por medio de una serie de pruebas pueden realizarse y pueden determinarse fallas en el motor.

Como la opción de corte de cilindro, que consiste en la anulación de los inyectores y donde puede apreciarse si hay un problema en un componente.

Un dato muy importante es que puede apreciarse la lectura de rango de todos los sensores. Y puede determinarse el estado de uno de ellos sin necesidad de hacer mediciones locales.

Existen otros tipos de herramienta de diagnóstico como el conocido Pro-link. Una división de Snap On[®] para diagnóstico de motores. Que si en todo caso no es una herramienta completa, proporciona la mayoría de las necesidades básicas para diagnosticar motores. Tales como, lectura de códigos de fallas y algunos parámetros, que no pueden ser modificados.

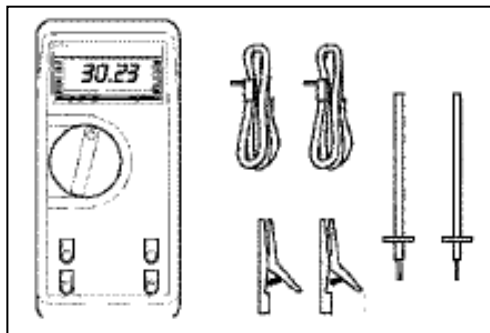
Este tipo de herramienta es conveniente para aquellos transportistas que no tienen una preferencia en cuanto al uso de motores y poseen diferentes marcas dentro de su flota.

Dentro de la herramienta de diagnóstico de un electromecánico no debe faltar un multímetro digital. Este presenta opciones de lectura de voltajes, amperaje y resistencia. Lo cual es esencial para este tipo de trabajos.

A continuación, se enumerarán algunas herramientas especiales de motores Cummins® para el diagnóstico de motores.

- Multímetro: mide circuitos eléctricos

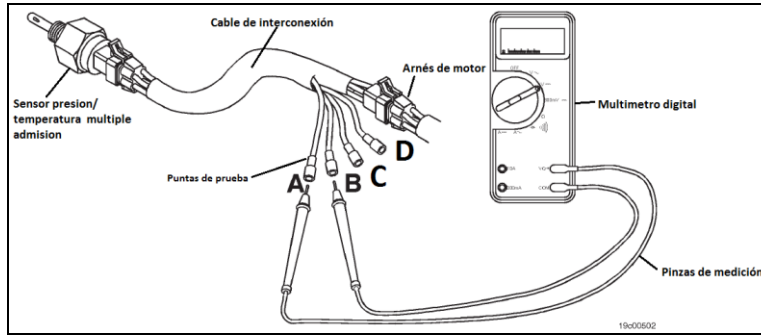
Figura 187. **Multímetro digital**



Fuente: Cummins. Manul Motor ISX. p. 21-10.

- Cable de interconexión del sensor: este cable se utiliza para realizar mediciones en el sensor y en el circuito eléctrico del mismo. Con lo que pueden realizarse mediciones sin dañar pines de los conectores o hacer cortocircuitos. Las puntas de prueba (A, B, C, D) en la figura 188, se utilizan para insertar las puntas de medición del multímetro, en la que puede medirse tensión o resistencia eléctrica, las cuales proporcionan información del estado del sensor. Es necesario mencionar que cada sensor tiene diferente conector, por lo que existen diversos cables de interconexión, dependiendo de la marca y serie del motor.

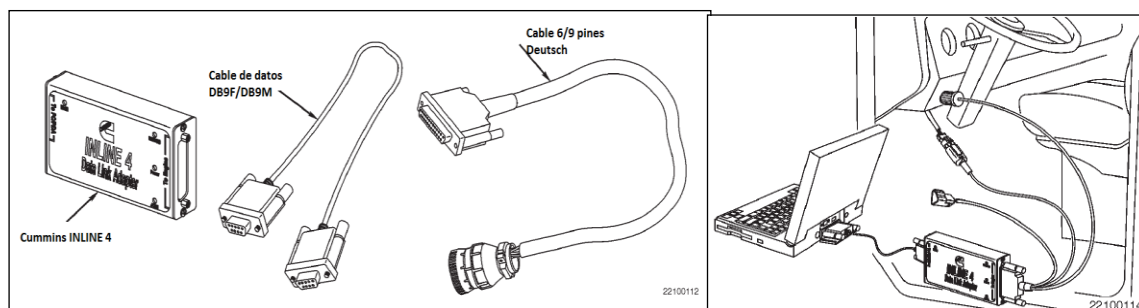
Figura 188. **Cable de interconexión de sensor**



Fuente: Cummins. Manual diagnostico Motor ISX. p. TF-42.

- Kit de adaptadores de enlace de datos: este existe una versión de interface para cada fabricante, así como, fabricantes que realizan interfaces universales, que pueden enlazarse con cualquier módulo por medio de Enlaces SAE J1939 o versiones anteriores. Ver figura 189.

Figura 189. **Kit de interface**



Fuente: Cummins. Boletín de servicio 3400195-4. p. 1, 2.

Adicional a esto se utilizan herramientas mecánicas básicas, como destornilladores, llaves, pinzas, tenazas, etcétera.

6.1.2. Repotenciación de motor

La potencia en un motor electrónico puede ser variada con gran facilidad. Debido a que esta se rige con base en la dosificación de combustible, el módulo de control electrónico puede ordenar dosificar mayor o menor cantidad de combustible para bajar o aumentar potencia y lograr un cambio inmediato.

El motor inicialmente de fábrica está capacitado para diferentes rangos, debido a que únicamente está dimensionado con una cilindrada por lo que puede variarse la capacidad. Que va desde 330 hasta 500 caballos de fuerza al freno. Dependiendo este rango de potencia podrá incrementarse o disminuirse. Por ejemplo, un motor de 350 caballos de fuerza al freno, podrá convertirse fácilmente en uno 370 o 400 caballos de fuerza al freno. No así, un motor de 500 caballos de fuerza al freno no podrá convertirse en uno de 600 caballos de fuerza al freno.

Al realizar este tipo de movimiento es necesario consultar con el fabricante del motor la capacidad del motor específicamente. Y Segundo con el fabricante del vehículo para determinar el torque y la potencia máxima que puede manejar el tren de potencia formado por motor, embrague, transmisión, eje carda y diferenciales de la unidad o tener un amplio conocimiento del tema para no afectar rendimiento y durabilidad de los componentes.

Por ejemplo: Detroit diésel en su software de diagnóstico tiene la opción Ratings donde el módulo de control electrónico permite cambiar la potencia del motor con tan sólo un clic. Depende de la programación del módulo de control electrónico, ya que existen módulos que traen programado únicamente una potencia.

De cualquier modo un ingreso de un nuevo programa al módulo puede variar la capacidad del motor tanto en potencia como en torque.

Este servicio generalmente es prestado por los distribuidores locales de los motores. Tiene un precio accesible y no lleva más de una hora hacer el cambio. A este proceso comúnmente se le llama calibración de módulo.

6.1.3. Características y parámetros

Son propiedades dentro la programación del módulo de control electrónico que limitan, restringen y resguardan el óptimo funcionamiento del motor.

Las características son las propiedades del motor, por ejemplo, la potencia, torque, códigos de calibración, información del motor y cliente. Así como, aquellas propiedades no modificables de seguridad, como temperatura de refrigerante y de aceite, presiones de trabajo y todo lo relacionado a las líneas de referencia de información que envían los sensores alrededor del motor.

Parámetros son todos valores modificables que limitan cierta cantidad de acciones, como por ejemplo, el control crucero (velocidad de activación, caída de velocidad), acciones de freno de motor (activación, velocidad de activación, modo de operación, tiempo de operación), control de fan-clutch, velocidad máxima, control de ralentí, tiempo de apagado para motor en ralentí.

6.2. Medición de sensores

En esta sección se presentan los valores de referencia de cada sensor para que puedan ser revisados en caso de fallo. Así como, las principales fallas que causan al motor, cuando se presenta un desperfecto electrónico.

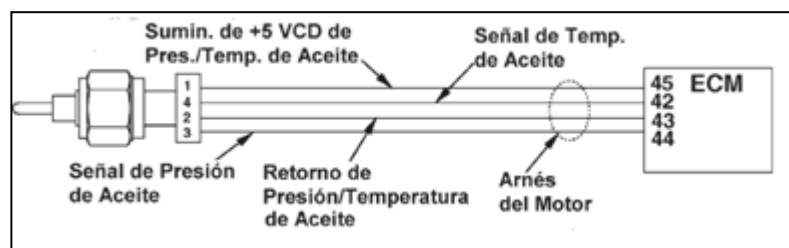
6.2.1. Sensor de combinación presión/temperatura de aceite

Cuando el módulo de control electrónico detecta falla en la señal de este sensor, tiene efecto en el desempeño del motor. El motor quedará desprotegido por presión de aceite, pudiendo causar el apagado del motor.

La forma de corroborar este sensor, es detectar la presión del sensor con el motor parado con la herramienta de diagnóstico, el valor de presión oscila entre – 1,5 a 4 libra sobre pulgada cuadrada.

El módulo de control electrónico monitorea el voltaje del fin de señal y lo convierte en un valor de presión (figura 190).

Figura 190. Esquema de sensor de presión de aceite



Fuente: Cummins. Manual diagnóstico de Motor ISX. p. TF-108

El voltaje de alimentación deberá estar en un rango de 4,75 a 5,25 voltios y el voltaje de alimentación deberá estar entre un rango de 0,5 a 1,4 voltios de corriente directa.

Para medición de temperatura de aceite, el módulo de control electrónico evalúa la resistencia interna del sensor para monitorear este parámetro. Los valores determinados en la tabla IV, determinan los valores de resistencia que deberá tener según su temperatura. Estos valores se obtienen midiendo las líneas de referencia de temperatura en el sensor.

Tabla IV. **Valores de resistencia para sensor de temperatura de aceite**

Temperatura (°C)	Temperatura [°F]	Resistencia (ohms)
0	32	30k a 36k
25	77	9k a 11k
50	122	3k a 4k
75	167	1350 a 1500
100	212	600 a 675

Fuente: Cummins. Manual diagnóstico de Motor ISX. p. TF-226.

6.2.2. Sensor de presión de combustible

El sensor de presión de combustible no debe ser medido por resistencia. Los valores a los cuales deben regirse se muestran en la tabla V:

Tabla V. **Valores de presión *versus* voltaje sensor de presión de combustible**

Presión (kPa)	Presión [psig]	Voltaje (VCD)
0	0	0.60 a 0.75
345	50	1.20 a 1.50
690	100	1.90 a 2.15
1380	200	3.15 a 3.50
1970	285	4.20 a 4.70

Fuente: Cummins. Manual diagnóstico de Motor ISX. p. V-1.

6.2.3. Sensor de presiones indeseables

Los sensores de presiones de combustible en los rieles de combustible deben compararse con las herramientas de diagnóstico. Dicho de otra manera debe leerse el valor del módulo de control electrónico *versus* una lectura manual. Ambas lecturas no deben variar en 10 libra sobre pulgada cuadrada.

6.2.4. Sensor de temperatura de refrigerante

Sensor utilizado para monitorear la temperatura del refrigerante, como su nombre lo indica. El módulo de control electrónico toma de referencia esta señal para proteger el motor, así como, para sincronización y control de dosificación de combustible.

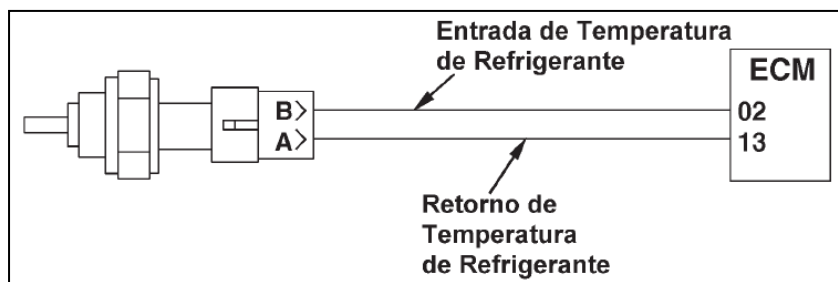
En esta falla podrá presentarse humo blanco, debido a los cambios que realiza el módulo para dosificar el combustible en operación.

Este sensor deberá probarse igual que en la sección 6.2.1. tabla IV. Ver figura 191, el circuito del sensor.

6.2.5. Sensor de nivel del refrigerante

La señal del sensor de nivel de refrigerante, indica que el nivel de fluido se encuentra por debajo del rango normal. No debe utilizarse un multímetro para probarlo, ya que es un sensor complejo. Ver figura 192, el circuito del sensor.

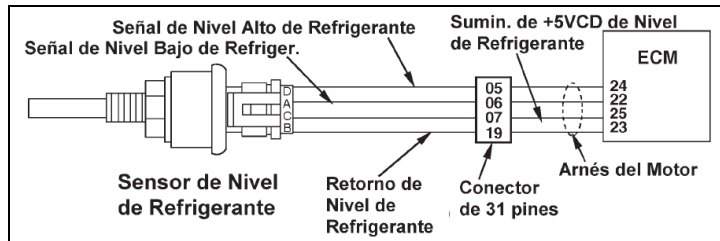
Figura 191. Circuito del sensor de temperatura de refrigerante



Fuente: Cummins. Manual diagnóstico del Motor ISX. p. TF-131.

Si el vehículo se encuentra en operación, la potencia del motor disminuirá con tiempo creciente después de la alerta. Si el motor se encuentra parado, la alarma se activará, así como, el sistema de protección del motor y este no arrancará, hasta corregir la falla.

Figura 192. **Circuito de sensor de nivel de refrigerante**



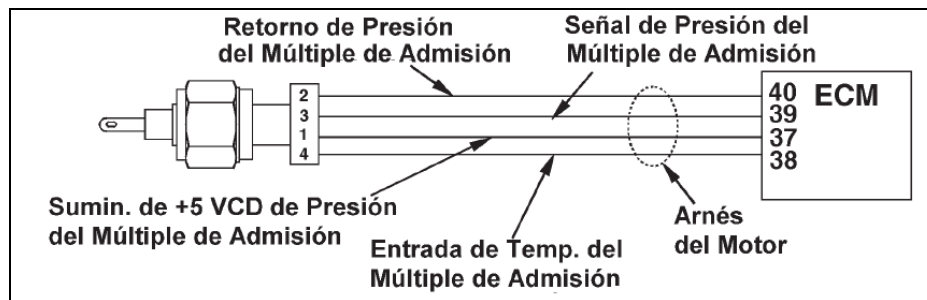
Fuente: Cummins. Manual diagnóstico del Motor ISX. p. TF-309.

Debe utilizarse la herramienta de diagnóstico para su chequeo.

6.2.6. **Sensor de combinación presión/temperatura de múltiple admisión**

El monitoreo de este sensor determina las condiciones de la admisión, tanto la presión de la carga de la turbina, como la salida final en la temperatura del enfriador de carga de aire. Si estos parámetros no se encuentran dentro del rango, ocurrirá una disminución de potencia del motor.

Figura 193. **Circuito de presión / temperatura de aire de admisión**



Fuente: Cummins. Manual diagnóstico del Motor ISX. p. TF-28.

Deberá medirse la señal de alimentación en el arnés del módulo, esta deberá ser entre 4,75 a 5,25 voltios de corriente directa. Ver figura 193.

Y la señal de referencia deberá estar en un parámetro de 0,42 a 0,58 voltios de corriente directa.

El sensor deberá inspeccionarse con la herramienta de diagnóstico, la presión deberá ser entre -2,5 a 2,5 pulgadas de mercurio.

Los valores de temperatura, podrán monitorearse de acuerdo a la sección 6.2.1. tabla IV.

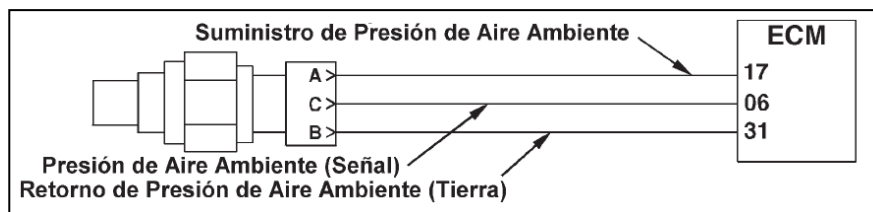
6.2.7. Sensor de presión de aire atmosférico

Este sensor proporciona soporte al módulo de control electrónico para el ajuste de la dosificación de combustible, dependiendo de la altura sobre el nivel del mar en que se encuentre el motor. El motor puede disminuir su potencia al entrar en conflicto este sensor.

Debe monitorearse con herramienta de diagnóstico que la presión ambiente corresponda a la cual se encuentra. La presión deberá encontrarse en un rango de 25 a 30,5 pulgadas de mercurio, de lo contrario deberá ser remplazado.

Deberá controlarse el voltaje de alimentación, entre un rango de 4,75 a 5,25 voltios de corriente directa y la señal de retorno variará dependiendo la altura (figura 194), Tabla VI.

Figura 194. **Sensor de presión ambiente**



Fuente: Cummins. Manual diagnóstico del Motor ISX. p. TF-259.

Tabla VI. **Valor de voltaje *versus* altitud, sensor presión atmosférica**

Altitud (m)	Altitud [pies]	Presión (psia)	Voltaje (VCD)
0 (a nivel del mar)	0	14.7	3.40 a 4.50
915	3000	13.2	2.80 a 3.80
1830	6000	11.8	2.20 a 3.25
2744	9000	10.5	1.70 a 2.70
3659	12000	9.35	1.20 a 2.20

Fuente: Cummins. Manual diagnóstico del Motor ISX. p. V-1.

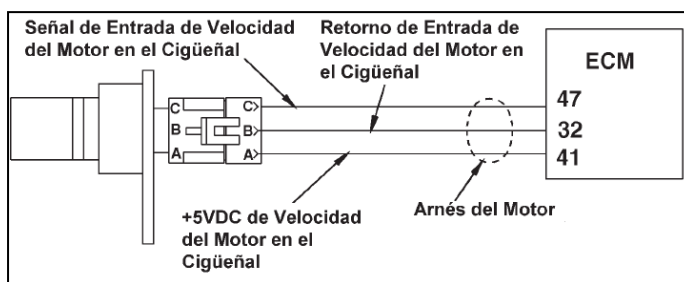
6.2.8. **Sensor de posición de cigüeñal**

Este sensor proporciona información al módulo sobre posición y velocidad del cigüeñal. El sensor debe ser energizado por + 5 voltios de corriente directa para operar. Este genera señal detectando movimiento de los dientes objetivo, maquinados en una rueda fónica que está montada en el cigüeñal.

El efecto de la falla de este sensor puede traducirse en arranques difíciles, baja potencia, funcionamiento irregular en ralentí o posible humo blanco.

Girando el motor manualmente, la señal de referencia variará y deberá ser en un rango de 4 – 5 voltios de corriente directa a 0,5 a 2,3 voltios de corriente directa y dé vuelta aproximadamente cada 60 grados de rotación del cigüeñal. Ver figura 195.

Figura 195. **Circuito de sensor de posición de cigüeñal**



Fuente: Cummins. Manual diagnóstico del Motor ISX. p. TF-18.

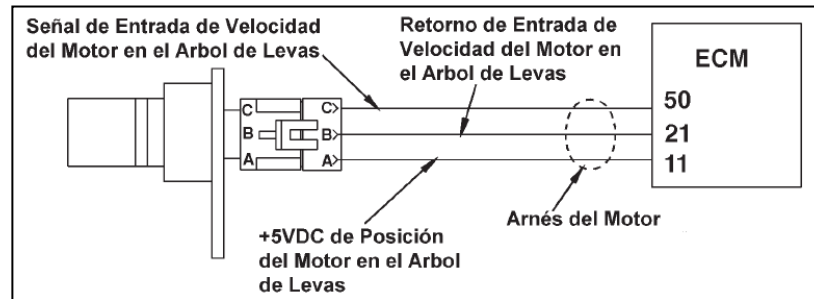
6.2.9. **Sensor de posición de árbol de levas**

Este sensor proporciona información al motor sobre velocidad y posición del eje de levas. Este sensor debe ser energizado con 5 voltios de corriente directa para operar. El sensor genera la señal desde un lóbulo extra en el árbol de levas.

La falla producto de este sensor podrá ser el retardo en el arranque del motor.

La prueba de este sensor se realiza igual que el sensor de posición de cigüeñal, sección 6.2.8. Ver la figura 196.

Figura 196. **Sensor de posición de árbol de levas**



Fuente: Cummins. Manual diagnóstico del Motor ISX. p. TF-8.

6.2.10. **Sensor de velocidad**

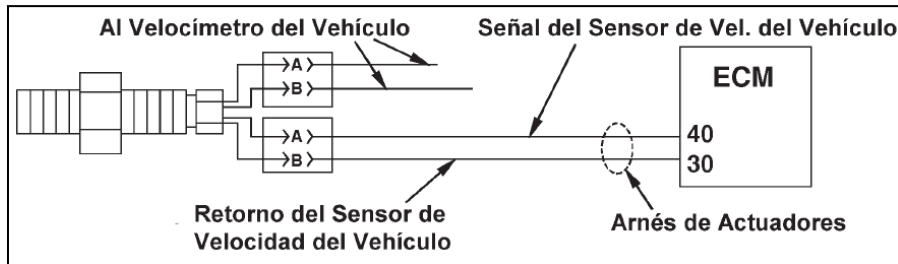
El sensor de velocidad del vehículo, utiliza dos bobinas de alambre separadas, para contar los dientes de engrane a medida que ellos pasan frente al sensor. Una bobina es utilizada para el módulo de control electrónico para detectar la velocidad del vehículo y la otra bobina es utilizada para enviar señal al velocímetro.

Al perder señal este sensor, el vehículo se limita a la velocidad máxima del motor (parámetro definido por el usuario), control crucero, protección de cambio descendente y gobernador de velocidad de camino. Estos no trabajarán.

En este sensor deberá probarse la resistencia interna de las bobinas por separado. Estas deberán estar en un rango de 750 a 1 500 ohm de resistencia. Ver figura 197.

Este sensor requiere graduación al ser instalado. Debe girarse de regreso de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ de vuelta, luego de ser topado con los dientes del engranaje.

Figura 197. **Circuito de sensor de velocidad**



Fuente: Cummins. Manual diagnóstico del Motor ISX. p. TF-320.

Este sensor está ubicado en la salida de la transmisión, no es un componente que lo instala el fabricante del motor.

6.2.11. Sensor de posición de pedal

El sensor de posición del acelerador está conectado al pedal del acelerador. Este envía una señal al módulo de control electrónico cuando el operador oprime el pedal del acelerador. El circuito del sensor cuenta con tres líneas. Un suministro de 5 voltios de corriente directa, tierra de retorno y señal.

El fallo en este sensor puede provocar una disminución severa de potencia y velocidad. Cuando esto sucede, el motor funciona con la energía necesaria para llegar al centro de servicio.

La medición necesaria para revisar este sensor consiste en medir voltaje de alimentación. Debe estar en rango entre 4,75 y 5,25 voltios de corriente directa. Ver figura 198.

Entre cables de alimentación y señal deberá estar en un rango de 1 500 a 3 000 ohm, con el pedal liberado. Ver figura 198.

Diagrama de conexión para el módulo APS:

- Alimentación:** Sumin. de + 5VCD de Posición del Acelerador y Tierra Común del Interruptor.
- Salidas:**
 - Retorno de Posición del Acelerador (Pín 49)
 - Señal de Posición del Acelerador (Pín 47)
 - Arnés del OEM (Pín 48)
 - Señal del Int. de Validación de Ralentí (Pín 03)
- Conexión al ECM:**
 - 49 ECM
 - 47
 - 48
 - 03
 - 13
- Etiquetas adicionales:** Señal del Interruptor de Validación de Fuera de Ralentí.

Entre los cables de alimentación y señal de 200 a 1 500 ohm con el pedal oprimido. Ver figura 198.

El interruptor de validación de marcha en vacío, en el conjunto del pedal del acelerador, se utiliza cuando el pedal del acelerador no está oprimido. El circuito de validación consiste en un interruptor, tierra común del interruptor, una señal activa y señal activa fuera de vacío. Ver figura 198.

Debido a que este es únicamente un interruptor, la señal de validación deberá estar en una de las dos señales, en la línea de validación o fuera de validación. Por lo que puede probarse con función de continuidad de un multímetro.

6.2.13. Sensor de agua en combustible (WIF)

El sensor WIF es de fácil acceso, se encuentra ubicado debajo del filtro de combustible. Este no necesita servicio ni mantenimiento. Debido a que se cambia constantemente, con el servicio del motor.

7. PRESIONES DE TRABAJO EN SISTEMA DE INYECCIÓN

7.1. Sistema presión – tiempo

La bomba de desplazamiento positivo, succiona el combustible del tanque a una presión de 150 libras sobre pulgada cuadrada. Esto es logrado por medio del regulador ubicado en la bomba, para mantener una presión constante en el sistema. Debido a la simplicidad del sistema, la presión de combustible llega hasta el inyector con esta presión. Por medio de fuerza mecánica y reducción en el diámetro de la boquilla del inyector, la presión de inyección alcanza 5 000 libras sobre pulgada cuadrada.

7.2. Sistema HDI-TP

La bomba de engranes succiona el combustible del tanque a través del filtro de combustible y de la válvula antidrenado de retorno. La bomba desarrolla de 100 a 320 libras sobre pulgada cuadrada de presión de combustible. El combustible fluye a través del cedazo del filtro de combustible y la válvula de cierre de combustible, a los actuadores de dosificación y sincronización de combustible y al sensor de presión de combustible. El regulador de 250 libras sobre pulgada cuadrada controla la presión de combustible.

En la línea del inyector al punto de inyección, el combustible es inyectado a 28 000 libras sobre pulgada cuadrada. Para finalizar la combustión.

Las presiones de trabajo son monitoreadas por el sistema constantemente, debido a los sensores de combustible. La presión de trabajo es directamente proporcional a las revoluciones del motor.

La presión entre 600 y 700 revoluciones por minuto del motor debe estar en un rango de 250 a 265 libras sobre pulgada cuadrada y a 2 000 rpm entre 250 y 285 libras sobre pulgada cuadrada.

Es importante mencionar que la presión de trabajo al arranque debe ser al menos 150 libras sobre pulgada cuadrada. Si está por debajo de este valor el motor no arranca.

Restricción en salida de los inyectores debe ser de 4 pulgadas de mercurio. Esta presión es importante debido a que si es muy alta, provocará un ingreso más alto de presión en el inyector, lo cual se reflejará en un banco completo de cilindros. El motor se protegerá y regresará a velocidad de ralentí.

El filtro de combustible debe tener una caída ligera de presión. Esta deberá ser de un valor para un filtro nuevo de 6 pulgadas de mercurio y no mayor para un filtro usado de 12 pulgadas de mercurio.

CONCLUSIONES

1. Se ha efectuado un detalle exhaustivo de los sistemas de inyección diésel electrónico, presión–tiempo y alta presión–tiempo presión (HDI-TP), aportando la mayor cantidad de imágenes para que el texto sea ejemplificado y su entendimiento sea absorbido. Las animaciones contenidas tratan de presentarse lo más real posible, para que la comparación con la pieza mecánica sea de igual parecido. Las explicaciones detalladas permiten hacer un ruteo de cada sistema, la razón de ello, es porque se necesita tener un entendimiento completo del sistema para lograr reparar una falla, ya que por ser un conjunto, todos sus componentes deben trabajar con integridad.
2. El fin primordial de este trabajo es que el lector pueda tener las nociones básicas de reparación, por lo que es necesario, tener el conocimiento del sistema, conocer las herramientas básicas para trabajar y poseer los parámetros de comparación para efectuar mediciones. La parte electrónica es necesario sea trabajada de una manera delicada y utilizar las herramientas adecuadas.

3. La actualización sufrida por los motores de combustión interna a pasado por varias modificaciones, haciendo referencia al sistema de recirculación de gases (EGR), el fin de este sistema es lograr la reducción de emisiones de gases nocivos a la atmósfera, pero esta gran tecnología no logra trabajar por sí sola, es necesario que el contenido de azufre en los combustibles, sea reducido y controlado por las instituciones gubernamentales del país. Ya que sin esta restricción, el sistema se vuelve inoperable, permitiendo que el costo de manteniendo sea más alto, el valor de potencia nominal se reduzca y el consumo de combustible sea mayor.
4. El freno de motor, como se mencionó con anterioridad es un mecanismo auxiliar de frenado que apoya a los frenos de servicio del vehículo automotor, este no detiene por sí solo al vehículo. Puede decirse de una manera general que este es un mecanismo el cual convierte un motor de combustión interna en un compresor de aire, el cual absorbe la energía cinética provocado por el rodamiento de las ruedas a causa de la inercia.

RECOMENDACIONES

A la Facultad de Ingeniería:

1. Es necesario incluir dentro del pensum de estudio, la aplicación de motores electrónicos en las prácticas efectuadas en laboratorio y visitas de campo que puedan familiarizar al estudiante ante estos equipos.

Al transportista:

1. Invertir en un motor electrónico es una buena opción. Es más económico, fácil de diagnosticar, posee menos piezas de desgaste, resistentes y robustas, mejoras computacionales que ayudan a tener control de recorrido e intervalos más largos de intercambio de aceite.
2. Es importante mencionar que es necesario no realizar modificaciones al cableado electrónico, ni tomas de corriente de estos mismos.
3. Si va a adquirir un vehículo de cualquier tipo con motor electrónico, que utilice combustible diésel, asegúrese que el motor esté especificado para Normas EPA 98 o máximo 2004, sin sistema de recirculación de gases de escape. Esto es debido a que en las especificaciones del fabricante el combustible debe cumplir una regulación hasta 500 partes por millón de azufre. El promedio de contenido de azufre en el país varía entre 2 000 y 3 000 partes por millón.

Por lo que se deberán realizar cambios frecuentes de aceite de motor y filtros, adicionalmente reparaciones costosas en diversos componentes del sistema. Es muy aconsejable realizar análisis de muestra de aceite de motor, para determinar el punto exacto del intercambio.

4. Si en particular no se siguen estas indicaciones y se compran motores de 2004 a la fecha, tendrá problemas de operación, que puede poner en peligro su empresa.
5. Por otra parte si no tiene la herramienta adecuada, existe una ola de trabajadores independientes que están realizando este tipo de trabajos, que pueden ayudarle. Consulte, no adivine.

Al lector en general:

1. A toda persona que haya tomado este documento, la insto a seguir investigando, hace cuatro años era imposible pensar en obtener información de los temas que se tratan en este trabajo. Pero hoy en día, existen páginas de Internet en las cuales puede obtener mayor información, explorando en un buscador. Lo presentado aquí, es la punta del iceberg, una síntesis de cada uno de los temas, que si desea mayor detalle puede acudir en busca de los manuales específicos de cada motor y para cada serie.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cummins Engine Company. *Manual de diagnóstico y reparación de un sistema de combustible ISM*. Volumen I, Boletín 3150948-00. Columbus: Cummins® Engine Company, 2000. 368 p.
2. _____. *Manual de diagnóstico y reparación de sistema de control electrónico motores signatura, ISX Y QSX15*. Volumen I, Boletín 3150987-01. Columbus: Cummins® Engine Company, 2001. 866 p.
3. _____. *Manual de diagnóstico y reparación de sistema de combustible ISM*. Volumen II, Boletín 3150948-00. Columbus: Cummins® Engine Company, 2000. 895 p.
4. _____. *Manual de diagnóstico y reparación de motores ISM Y QSM11*. Boletín 4017781. Columbus: Cummins® Engine Company, 2000. 804 p.
5. _____. *Manual de diagnóstico y reparación de sistema de control electrónico motores signatura, ISX Y QSX15*. Volumen II, Boletín 3150987-01. Columbus, Cummins® Engine Company, 2001. 866 p.
6. _____. *Manual de diagnóstico y reparación motores signature, ISX Y QSX15*. Boletín 3150971-00. Columbus, Cummins® Engine Company, 2000. 722 p.

7. _____. *Manual de diagnóstico y reparación sistema de combustible signature*. Volumen I, Boletín 3150987-00. Columbus: Cummins® Engine Company, 2000. 372 p.
8. Departamento de Desarrollo Profesional Finning Sudamérica. *Curso de capacitación finning motores básico*. Bogotá: Caterpillar, 2007. 110 p.
9. Detroit Diésel Corporation. *Conocimiento básico sistema electrónico DDEC módulo III y IV*. Boletín 258T0072-2. Detroit: Detroit Diésel Corporation, 2003. 105 p.