



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

***DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA
BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL***

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

AUTORES:

**RAFAEL STALIN PERALTA JIMÉNEZ
Y CHRISTIAN RAMIRO ICAZA SAMANIEGO**

DIRECTOR:

ING. MAURICIO BARROS BARZALLO

CUENCA - ECUADOR

2008

Dedicatoria:

Dedico todo mi trabajo y esfuerzo a mi madre, que con su incondicional apoyo me ayudó a plasmar esta difícil tarea, brindándome sus sabios consejos, realizando su noble tarea de guiarme por el mejor sendero y sobre todo efectuando su dura labor de padre y madre a la vez. También, dedico este proyecto a mi hermano, quien me acompañó y siempre ha estado a mi lado colaborándome y alentándome en todo momento y a mi tía Lilia, para quien guardo el más profundo sentimiento de gratificación por su ayuda y apoyo moral, especialmente en los momentos difíciles que hubieron que afrontar durante la elaboración de este proyecto de tesis.



Rafael Stalin Peralta Jiménez

Dedicatoria:

Este trabajo de tesis va dedicado en especial a DIOS el que me dio vida para realizarlo.

A mis padres que se mantuvieron apoyándome desde el principio de mi estudio.

En especial a mi mami que se desprendió de su tiempo para dirigirme en el camino de la vida y me hizo ver cuan importante es el estudio.

A mis hermanos que me dieron la mano cada vez que los necesite

A mis dos amores mi esposa Silvia que con su amor y paciencia me dio fuerzas para realizarlo. A mi hijo Richard que me da la alegría de la niñez, con sus travesuras, a ellos dedico este logro con gran amor y alegría.



Christian Icaza Samaniego

Agradecimientos:

Nuestro profundo agradecimiento a las personas que conforman el laboratorio diesel Ecu-Chile, quienes con su desinteresada apertura nos permitieron elaborar la investigación y estudio de sus herramientas y métodos de trabajo, los cuales facilitaron la ejecución del presente proyecto de tesis.

De igual forma agradecemos a nuestro director de tesis el Ing. Mauricio Barros, quien nos ha apoyado y colaborado con el aporte de sus conocimientos y acertadas sugerencias que hicieron posible repuntar de mejor manera el trabajo efectuado.

De la misma manera queremos agradecer a los profesores Ing. Aníbal Jiménez, Ing. Ángel Jácome e Ing. Luís Tapia quienes nos han facilitado los talleres de la universidad para realizar diferentes elementos que constituyen este trabajo y que nos han colaborado de la mejor manera en la logística del proyecto.

A ellos nuestro profundo agradecimiento y el mas alto sentimiento de gratitud y estima.

Índice de Contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iv
Índice de contenidos	v
Índice de ilustraciones y cuadros.....	xi
Índice de anexos	xix
Resumen.....	xx
Abstract.....	xxi
Introducción.....	1

CAPÍTULO 1: BOMBA DE INYECCIÓN EN LÍNEA

Introducción.....	2
1.1 Principio de funcionamiento.....	3
1.2 Tipos de bombas en línea más empleados.....	6
1.2.1. Bomba Bosch tipo PF.....	6
1.2.2 Bomba Bosch tipo PE.....	7
1.2.3 Bomba Bosch tipo PES...M.....	8
1.2.4 Bomba Bosch tipo PES... y PE.....	10
1.2.5 Bomba PM tipo AF.....	11
1.2.6 Bomba PM – CAC y CAF.....	12
1.2.7 Bomba PM – CB.....	13
1.2.8 Bomba monobloque Sigma CMS.....	13
1.2.9 Bomba CAV tipo N.....	14
1.2.10 Bomba Simms SPE.....	15
1.2.11 Bomba Simms MINIMEC.....	16
1.3 Constitución básica de las bombas de inyección en línea.....	17
1.3.1 Mecanismo de impulsión y regulación del caudal.....	18
1.3.2 Elemento de bomba.....	19
a. Rampa de auto-avance.....	20
b. Ranura de retraso.....	21
c. Doble rampa helicoidal.....	21
1.3.3 Eje de levas.....	23
1.3.4 Cremallera de control.....	24
1.3.5 Válvula de impulsión.....	26
1.3.5.1 Función.....	26
1.3.5.2 Tipos.....	27
A. Válvula de asiento.....	27
B. Válvula de bola.....	29
1.4 Regulador de velocidad.....	30
1.4.1 Tipos.....	30
1.4.1.1 Reguladores mecánicos centrífugos.....	30
a. Regulación de máxima-mínima.....	31
b. Regulación de velocidad continua.....	35
1.4.1.2 Reguladores neumáticos.....	39
a. Posición de marcha en vacío.....	41
b. Posición de marcha normal y máxima.....	42
c. Posición de paro.....	43
1.4.1.3 Reguladores hidráulicos.....	44
1.5 Variador de avance a la inyección.....	45

Conclusiones.....	49
-------------------	----

CAPÍTULO 2: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

Introducción.....	50
2.1 Finalidad, utilización, y características del banco de pruebas.....	51
2.2 Planos de construcción del banco y sus elementos.....	51
2.3 Cálculos de los principales elementos mecánicos del banco de pruebas.....	70
2.3.1 Selección del motor eléctrico para el banco de pruebas empleando una bomba de inyección tipo A.....	70
2.3.1.1 Cálculo de la fuerza (F) ejercida sobre el elemento de bomba.....	72
2.3.1.2 Cálculo de la fuerza (Fm) necesaria para vencer la resistencia de los muelles de la bomba de inyección.....	74
2.3.1.3 Cálculo del torque (T1) producido en el cilindro del elemento 1.....	80
2.3.1.4 Cálculo del torque (T5) producido en el cilindro del elemento 5.....	82
2.3.1.5 Cálculo del torque (T3) producido en el cilindro del elemento 3.....	84
2.3.1.6 Cálculo del torque (T6) producido en el cilindro del elemento 6.....	87
2.3.1.7 Cálculo del torque (T2) producido en el cilindro del elemento 2.....	89
2.3.1.8 Cálculo del torque (T4) producido en el cilindro del elemento 4.....	91
2.3.1.9 Torque producido por el regulador de la bomba de inyección (PES6A.)... ..	93
2.3.1.10 Cálculo del torque total efectuado por el eje de levas.....	94
2.3.1.11 Cálculo de la potencia (P) del motor eléctrico, para mover a la bomba de inyección tipo A.....	95
2.4 Selección del motor eléctrico para el banco de pruebas empleando una bomba de inyección tipo P.....	97
a. Cálculo del torque producido en el cilindro 1.....	98
b. Cálculo del torque producido en el cilindro 5.....	98
c. Cálculo del torque producido en el cilindro 3.....	99
d. Cálculo del torque producido en el cilindro 6.....	99
e. Cálculo del torque producido en el cilindro 2.....	100
f. Cálculo del torque producido en el cilindro 4.....	100
g. Cálculo del torque producido por el regulador de la bomba.....	101
h. Cálculo del torque total efectuado por el eje de levas.....	101
i. Cálculo de la potencia (P) del motor eléctrico para mover a la bomba de inyección tipo P.....	102
2.5 Diseño del eje de transmisión (cálculo a esfuerzos fluctuantes).....	103
2.5.1 Configuración del eje.....	103
2.5.2 Diagrama de fuerza cortante.....	108
2.5.3 Diagrama del momento flector.....	108
2.5.4 Diagrama del momento torsor.....	109
2.5.5 Análisis del punto más crítico y de las fibras del eje sometidas a esfuerzos mecánicos.....	110
2.5.6 Cálculo de los esfuerzos fluctuantes a los que está sometido el eje de transmisión.....	112
a. Esfuerzo máximo.....	112
b. Esfuerzo mínimo.....	113
c. Esfuerzo alternante.....	113
d. Esfuerzo medio.....	113
e. Torsión.....	113

2.5.7 Selección del material y cálculo del límite de resistencia a la fatiga del eje de transmisión.....	114
2.6 Diseño de las chavetas para el eje de transmisión	120
2.6.1 Cálculo del esfuerzo cortante en la chaveta.....	121
2.6.2 Selección del material para la construcción de la chaveta.....	122
2.6.3 Cálculo del esfuerzo aplastante en la chaveta.....	125
2.7 Selección de rodamientos para el eje de transmisión.....	126
2.7.1 Cálculo para seleccionar el rodamiento en el punto B del eje de transmisión.....	127
2.7.2 Cálculo de la fatiga del rodamiento en el punto B del eje de transmisión.....	130
2.7.3 Cálculo para seleccionar el rodamiento en el punto C del eje de transmisión.....	130
2.7.4 Cálculo de la fatiga del rodamiento en el punto C del eje de transmisión.....	131
2.8 Diseño y construcción de la estructura del banco de pruebas.....	132
2.8.1 Cálculos de esfuerzo flexionante “Deformación Y”.....	133
2.8.1.1 Determinación de peso de los elementos montados sobre la estructura.....	133
2.8.1.2 Cálculo y representación de las cargas distribuidas que actúan en la estructura del banco de pruebas.....	137
2.8.1.3 Cálculo de fuerzas y momentos generados en los extremos de la viga analizada.....	139
2.8.1.4 Cálculo de la deformación máxima (Y_{max}) en la estructura del banco de pruebas.....	144
2.8.2 Cálculo del momento flexionante (M_f).....	149
2.8.3 Cálculo del módulo de resistencia (S).....	151
2.8.4 Cálculo del esfuerzo permisible (σ_{perm})	152
2.8.5 Cálculos del esfuerzo de pandeo en la estructura.....	153
2.8.5.1 Cálculo del área transversal de contacto del perfil.....	154
2.8.5.2 Relación de Esbeltez.....	155
2.8.5.3 Cálculo del radio de giro (K).....	155
2.8.5.4 Cálculo del factor de seguridad de resistencia al esfuerzo de pandeo.....	160
Conclusiones.....	163

CAPÍTULO 3: CONSTITUCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS

Introducción.....	164
3.1 Constitución y especificaciones.....	165
3.2 Elementos mecánicos.....	166
3.2.1 Estructura metálica.....	166
3.2.2 Cubiertas	167
3.2.3 Eje de transmisión.....	168
3.2.4 Placas de soporte para el eje de transmisión.....	168
3.2.5 Cabezal.....	169
3.2.6 Mecanismo para la selección de grados de giro.....	170
3.2.7 Mecanismo de sujeción elástico de la bomba de inyección al cabezal del banco de pruebas.....	170
3.2.8 Placa base.....	171
3.2.9 Mesa de sujeción.....	172
3.2.10 Malla de protección.....	172
3.2.11 Recolector de combustible.....	173
3.2.12 Caja porta-probetas.....	173

3.2.13 Placas porta-probetas.....	174
3.2.14 Eje y manijas de las placas porta-probetas.....	175
3.2.15 Mecanismo de traba del eje porta-probetas.....	176
3.2.16 Conos porta-inyectores.....	176
3.2.17 Placa del sistema de corte del combustible.....	177
3.2.18 Bases de sujeción para las bombas de inyección tipo A y P.....	177
3.2.19 Conos de transmisión.....	179
3.2.20 Poleas.....	180
3.2.21 Ensamblado general del sistema mecánico.....	181
3.3 Elementos eléctricos y electrónicos del banco de pruebas.....	186
3.3.1 Descripción del sistema eléctrico/electrónico del banco de pruebas.....	186
3.3.2 Sistema variador de velocidad.....	187
3.3.2.1 Componentes del sistema variador de velocidad.....	187
3.3.2.2 Motor eléctrico principal.....	187
a. Características y descripción del motor principal.....	188
b. Control de funcionamiento del motor principal.....	189
3.3.2.3 Variador de velocidad.....	189
a. Terminales de alimentación.....	190
b. Terminales de control de entradas y salidas.....	191
c. Teclado del variador.....	192
d. Diagramas de conexión del variador de velocidad.....	193
e. Programación del variador de velocidad.....	196
3.3.3 Sistema cuenta emboladas y revoluciones.....	200
3.3.3.1 Componentes del sistema cuenta emboladas y revoluciones.....	201
3.3.3.2 Sensor de pulsos encoder.....	201
3.3.4 Sistema de corte de combustible.....	202
3.3.5 Controlador lógico programable (PLC-S7 200-CPU 224XP).....	203
3.3.5.1 Programación y características del PLC S7-200.....	204
3.3.5.2 Funcionamiento básico del PLC S7-200.....	206
3.3.6 Pantalla (HMI) TD-200C.....	206
3.3.7 Teclado (HMI) TD-200C.....	207
3.3.8 Dispositivos y accesorios del sistema eléctrico – electrónico.....	207
3.4 Sistema hidráulico del banco de pruebas.....	210
3.4.1 El líquido de ensayo.....	210
3.4.2 Esquema de funcionamiento del sistema hidráulico del banco de pruebas.....	211
3.4.3 Motor eléctrico secundario.....	214
3.4.4 Bomba hidráulica.....	215
3.4.5 Válvula reguladora de presión.....	216
3.4.6 Depósito de combustible.....	217
3.4.7 Cañerías de combustible.....	220
3.4.8 Inyectores.....	220
3.4.9 Dispositivos y accesorios del sistema hidráulico.....	222
a. Probetas.....	222
b. Puntas de recolección y dispositivos anti-dispersión del líquido inyectado.....	224
3.5 Funcionamiento del banco de pruebas.....	225
3.5.1 Rutina de operaciones.....	225
3.5.2 Parametrización y visualización de las operaciones de trabajo.....	227
3.5.2.1 Funciones de encendido.....	227
a. Pantalla 0.....	227
b. Pantalla 1.....	228

c. Pantalla 2.....	229
d. Pantalla 3.....	230
e. Pantalla 4.....	231
3.5.2.2 Parámetros de control.....	233
a. Pantalla 5.....	233
b. Pantalla 6.....	235
3.5.2.3 Estado de funcionamiento.....	236
a. Pantalla 7.....	236
b. Pantalla 8.....	237
Conclusiones.....	238

CAPÍTULO 4: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y DE HOMOLOGACIÓN DEL BANCO

Introducción.....	239
4.1 Especificaciones y hoja de datos técnicos necesarios para el control de las bombas de inyección en el banco de pruebas.....	240
4.2 Pruebas de las bombas de inyección que deben realizarse en un banco.....	246
4.2.1 Control de fugas en la galería de alimentación.....	247
4.2.2 Control de estanqueidad del elemento de inyección.....	247
4.2.3 Control del inicio y final de la inyección y el desfase de la bomba.....	248
4.2.4 Control y reglaje del caudal de inyección.....	252
4.2.5 Verificación y ajuste del regulador de velocidad.....	253
4.2.6 Verificación y ajuste del variador de avance de la inyección.....	254
4.3 Montaje de la bomba de inyección en el banco de pruebas.....	255
4.4 Pruebas de homologación del banco.....	256
4.4.1 Pruebas realizadas en la bomba de inyección tipo P en el banco del laboratorio diesel.....	257
4.4.1.1 Verificación del estado de los elementos de bombeo.....	257
4.4.1.2 Prueba de pre-stroke (carrera del elemento).....	259
4.4.1.3 Control del inicio y final de la inyección y del desfase de la bomba.....	262
4.4.1.4 Prueba de ajuste básico.....	264
4.4.1.5 Verificación del regulador (recorrido del manguito).....	266
4.4.1.6 Verificación del caudal a plena carga.....	269
4.4.1.7 Prueba de corte de combustible.....	270
4.4.1.8 Control del caudal de arranque.....	271
4.4.2 Tablas de comparación entre los resultados de reglaje de la bomba tipo P obtenidos en el banco de pruebas del laboratorio y en el banco construido.....	272
4.4.3 Pruebas realizadas en la bomba de inyección tipo A en el banco del laboratorio diesel.....	280
4.4.3.1 Verificación del estado de los elementos de bombeo.....	280
4.4.3.2 Prueba de pre-stroke (carrera del elemento).....	282
4.4.3.3 Control del inicio y final de la inyección y del desfase de la bomba.....	286
4.4.3.4 Prueba de ajuste básico.....	289
4.4.3.5 Verificación del regulador.....	292
4.4.3.6 Pruebas con el diafragma LDA.....	298
4.4.3.7 Verificación del caudal de arranque.....	300
4.4.4 Tablas de comparación entre los resultados de reglaje de la bomba tipo A obtenidos en el banco de pruebas del laboratorio y en el banco construido.....	302
Conclusiones.....	309

CAPÍTULO 5: MANTENIMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS

Introducción.....	310
5.1 Mantenimiento de los elementos mecánicos.....	311
5.1.1 Engrase de los rodamientos del eje principal.....	311
5.1.2 Verificación del sistema selector de grados.....	312
5.1.3 Verificación del sistema de unión elástico.....	313
5.1.4 Control del mecanismo de traba de la placa porta-probetas.....	313
5.1.5 Verificación de las bases de sujeción de las probetas.....	314
5.1.6 Verificación de la placa de corte de combustible.....	315
5.1.7 Verificación de las cubiertas del banco.....	315
5.2 Mantenimiento de los elementos eléctricos y electrónicos.....	316
5.2.1 Control de los motores eléctricos.....	317
5.2.2 Verificación de los elementos y dispositivos electrónicos.....	318
5.2.2.1 Variador de velocidad.....	319
5.2.2.2 Controlador lógico programable PLC.....	320
5.2.2.3 Verificación y control del sistema de corte de combustible.....	320
5.2.2.4 Verificación de las niquelinas de calentamiento del combustible.....	321
5.2.2.5 Verificación del sensor de temperatura (termocupla).....	322
5.2.2.6 Verificación del transmisor de temperatura.....	323
5.2.2.7 Inspección del sensor de revoluciones (encoder).....	323
5.2.2.8 Canaletas de cableado.....	324
5.3 Mantenimiento de los elementos del sistema hidráulico.....	325
5.3.1 Verificación del depósito de combustible.....	325
5.3.2 Verificación de las válvulas hidráulicas de control.....	326
5.3.3 Verificación y control de los inyectores del banco de pruebas.....	327
5.3.4 Verificación del líquido de ensayo y filtro principal.....	329
5.3.5 Revisión de la bomba de alimentación.....	330
5.4 Alarmas y tablas de mantenimiento.....	331
Conclusiones.....	350
Conclusiones finales.....	351
Bibliografía.....	353
Anexos.....	355

Índice de ilustraciones y cuadros

Tablas:

Tabla 1: Datos de la bomba de inyección tipo A (necesarios para efectuar la selección del motor eléctrico).....	70
Tabla 2: Ficha con los datos técnicos de la bomba de inyección PESA95D410RS2886	71
Tabla 3: Aceros de alto carbono y de aleación para resortes.....	75
Tabla 4: Coeficientes de fricción para aplicaciones del acero.....	81
Tabla 5: Factores de convergencia de potencia.....	95
Tabla 6: Datos de la bomba de inyección tipo P (necesarios para efectuar la selección del motor eléctrico).....	97
Tabla 7: Propiedades mecánicas del material seleccionado para el eje de transmisión.....	114
Tabla 8: Parámetros del coeficiente de condición de acabado.....	115
Tabla 9: Ecuaciones para el factor de tamaño Kb.....	116
Tabla 10: Valores del efecto de la temperatura de operación en la resistencia a tensión del acero (DT/STR).....	117
Tabla 11: Parámetros de Heywood.....	118
Tabla 12: Materiales dúctiles (SAE/AISI).....	123
Tabla 13: Dimensiones en pulgadas para algunas aplicaciones de cuñas cuadradas y rectangulares estándar.....	124
Tabla 14: Valores requeridos de vida nominal L (10h) para rodamientos.....	128
Tabla 15: Factor de vida útil (FL) de esfuerzo dinámico (número de horas).....	128
Tabla 16: Factor de velocidad (Fn).....	129
Tabla 17: Valores de la constante de sujeción C.....	161
Tabla 18: Principales elementos que constituyen el banco de pruebas diseñado....	165
Tabla 19: Características nominales del motor principal del banco de pruebas.....	188
Tabla 20: Características nominales del variador de velocidad.....	190
Tabla 21: Lista de parámetros importantes para la programación del variador.....	197
Tabla 22: Proceso de control ejecutado por el PLC.....	204
Tabla 23: Características del PLC S7-200.....	205
Tabla 24: Características nominales del motor secundario.....	215
Tabla 25: Ficha técnica con los datos y condiciones de calibración de la bomba PES6A85C321RS2000NP tipo A.....	240
Tabla 26: Datos y condiciones de calibración de la bomba PE6P100A7-20RS15 tipo P.....	242
Tabla 27: Resultados obtenidos en la prueba de pre-stroke de la bomba tipo P.....	261
Tabla 28: Resultados obtenidos en la prueba de control de inicio y fin de la inyección de la bomba tipo P.....	263
Tabla 29: Resultados obtenidos en la prueba de ajuste básico de la bomba tipo P.....	266
Tabla 30: Datos obtenidos en la verificación del regulador de la bomba tipo P.....	268
Tabla 31: Datos obtenidos en la verificación del regulador de la bomba tipo P (en altas revoluciones).....	268
Tabla 32: Datos obtenidos en la verificación del regulador de la bomba tipo P (a bajas revoluciones).....	269

Tabla 33: Datos obtenidos de la verificación del caudal inyectado a plena carga de la bomba tipo P.....	270
Tabla 34: Resultados obtenidos en la verificación del caudal de arranque de la bomba tipo P.....	272
Tabla 35: Homologación de los resultados obtenidos durante la verificación del estado de los elementos de la bomba tipo P.....	273
Tabla 36: Homologación de los resultados obtenidos durante la prueba de pre-stroke de la bomba tipo P.....	273
Tabla 37: Homologación de los resultados obtenidos durante la prueba de control del inicio y final de la inyección y del desfase de la bomba tipo P.....	274
Tabla 38: Homologación de los resultados obtenidos durante la prueba de ajuste básico de la bomba tipo P.....	275
Tabla 39: Homologación de los resultados obtenidos durante la verificación del regulador de la bomba tipo P.....	276
Tabla 40: Homologación de los resultados obtenidos durante la verificación del caudal a plena carga de la bomba tipo P.....	277
Tabla 41: Homologación de los resultados obtenidos durante la prueba de corte de combustible de la bomba tipo P.....	278
Tabla 42: Homologación de los resultados obtenidos durante el control del caudal de arranque de la bomba tipo P.....	279
Tabla 43: Resultado obtenido en la prueba pre-stroke (recorrido del elemento) de la bomba tipo A.....	285
Tabla 44: Resultados obtenidos en la prueba de control de inicio y fin de la inyección de la bomba tipo A.....	287
Tabla 45: Datos obtenidos en la prueba de ajuste básico de la bomba tipo A.....	291
Tabla 46: Resultado de la prueba del regulador obtenida durante la verificación de corte de la inyección de la bomba tipo A.....	293
Tabla 47: Resultado de la calibración de corte de la inyección de la bomba tipo A.....	294
Tabla 48: Resultado de la calibración del regulador en condiciones de plena carga de la bomba tipo A.....	295
Tabla 49: Resultados obtenidos durante la calibración del regulador en ralentí de la bomba tipo A.....	296
Tabla 50: Resultados obtenidos con el diafragma LDA sin la aplicación de aire en la bomba tipo A.....	299
Tabla 51: Resultados obtenidos con el diafragma LDA aplicando aire en la bomba tipo A.....	300
Tabla 52: Resultado de la prueba de control del caudal de arranque de la bomba tipo A.....	301
Tabla 53: Homologación de los resultados obtenidos durante la verificación del estado de los elementos de la bomba tipo A.....	303
Tabla 54: Homologación de los resultados obtenidos durante la prueba de pre-stroke de la bomba tipo A.....	303
Tabla 55: Homologación de los resultados obtenidos durante la prueba de control del inicio y final de la inyección y del desfase de la bomba tipo A.....	304
Tabla 56: Homologación de los resultados obtenidos durante la prueba de ajuste básico de la bomba tipo A.....	305
Tabla 57: Homologación de los resultados obtenidos durante la verificación del regulador de la bomba tipo A.....	306

Tabla 58: Homologación de los resultados obtenidos durante las pruebas con el diafragma LDA de la bomba tipo A.....	307
Tabla 59: Homologación de los resultados obtenidos durante la verificación del caudal de arranque de la bomba tipo A.....	308
Tabla 60: Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos mecánicos (48horas-semanal).....	332
Tabla 61: Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos eléctricos y electrónicos (48horas-semanal).....	334
Tabla 62: Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos hidráulicos (48horas-semanal).....	336
Tabla 63: Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos mecánicos (192horas-trimestral).....	338
Tabla 64: Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos eléctricos y electrónicos (192horas-trimestral).....	340
Tabla 65: Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos hidráulicos (192horas-trimestral).....	342
Tabla 66: Operaciones generales de mantenimiento correctivo en los elementos del banco.....	344
Tabla 67: Actividades emergentes de mantenimiento correctivo de los elementos mecánicos.....	345
Tabla 68: Actividades emergentes de mantenimiento correctivo de los elementos eléctrico y electrónicos.....	347
Tabla 69: Actividades emergentes de mantenimiento correctivo de los elementos hidráulicos.....	349

Gráficos:

Figura 1: Sección de una bomba en línea de un motor de seis cilindros.....	3
Figura 2A: Esquema del conjunto bomba-inyector.....	4
Figura 2B: Esquema de funcionamiento bomba-inyector.....	4
Figura 3: Esquema de un inyector diesel.....	5
Figura 4A: Bomba Bosch PF.....	6
Figura 4B: Bomba Bosch PF.....	6
Figura 5A: Bomba Bosch PE..A.....	7
Figura 5B: Bomba Bosch PE..B.....	7
Figura 6A: Bomba Bosch PES...4M.....	8
Figura 6B: Bomba Bosch PES...4M.....	9
Figura 7A: Bomba Bosch PES...P.....	10
Figura 7B: Bomba Bosch...P.....	11
Figura 8: Bomba PM AF.....	11
Figura 9: Tipos de pistones de la bomba PM.....	12
Figura 10: Bomba Sigma tipo CMS.....	13
Figura 11A: Elemento de la bomba tipo N.....	14
Figura 11B: Dispositivo de reglaje del caudal.....	14
Figura 12: Bomba Simms SPE.....	15
Figura 13A: Bomba Simas MINIMEC.....	16
Figura 13B: Bomba Simms minimec.....	17
Figura 14: Mecanismo de impulsión y regulación del caudal.....	18
Figura 15: Fases de funcionamiento de un elemento de bola.....	19
Figura 16: Fresados en la cabeza del pistón.....	20

Figura 17: Pistón con rampa de auto-avance.....	20
Figura 18: Pistón con ranura de auto-avance.....	21
Figura 19: Pistón con doble rampa helicoidal.....	21
Figura 20: Posiciones de funcionamiento del pistón.....	22
Figura 21: Eje de levas.....	23
Figura 22: Funcionamiento de la varilla de regulación.....	24
Figura 23: Ubicación del regulador.....	25
Figura 24: Válvula de impulsión en la posición abierta y cerrada.....	26
Figura 25: Válvula de impulsión de asiento.....	27
Figura 26: Válvula de impulsión de bola.....	27
Figura 27: Funcionamiento de la válvula de impulsión de asiento.....	28
Figura 28: Disposición de la válvula de impulsión de bola.....	29
Figura 29: Regulador mecánico RQ.....	30
Figura 30: Esquema de un regulador mecánico en posición de paro del motor.....	31
Figura 31: Esquema de un regulador mecánico en la posición de arranque del motor.....	32
Figura 32: Esquema de un regulador mecánico en la posición de ralentí.....	33
Figura 33: Esquema de un regulador mecánico en la posición de régimen máximo.....	34
Figura 34: Funcionamiento de los muelles reguladores.....	34
Figura 35: Esquema de un regulador de velocidad continua.....	36
Figura 36: Esquema de un regulador continuo en la posición de arranque del motor.....	37
Figura 37: Esquema de un regulador continuo en la posición de marcha en vacío.....	37
Figura 38: Esquema del regulador continuo en la posición de media carga del motor.....	38
Figura 39: Esquema de un regulador continuo en la posición de plena carga del motor.....	39
Figura 40: Esquema de funcionamiento de un regulador neumático.....	40
Figura 41: Esquema del regulador neumático en la posición de marcha en vacío.....	41
Figura 42: Válvula de mariposa de un regulador neumático.....	42
Figura 43: Esquema de un regulador neumático en la posición normal y de máxima del motor.....	43
Figura 44: Esquema de un regulador neumático en la posición de paro del motor.....	43
Figura 45: Esquema de funcionamiento de un regulador hidráulico (tipo fuga).....	44
Figura 46: Ubicación del mecanismo variador de avance en la bomba de inyección.....	45
Figura 47: Esquema del mecanismo variador de avance.....	46
Figura 48: Vista en conjunto de un variador de avance Bosch.....	47
Figura 49: Despiece de un sistema variador de avance Bosch.....	48
Figura 50: Variador de avance provisto de muelles de láminas.....	48
Figura 51: Fuerza (F) producida por la presión de inyección.....	72
Figura 52: Eje de levas de la bomba de inyección PES6A95D410RS2886.....	74
Figura 53: Dimensiones de un muelle helicoidal.....	76
Figura 54: Tipos de extremos empleados en resortes.....	77
Figura 55: Contacto leva-taqué en el cilindro 1 (0 grados).....	80
Figura 56: Contacto leva-taqué en el cilindro 5 (60 grados).....	82
Figura 57: Contacto leva-taqué en el cilindro 3 (120 grados).....	85
Figura 58: Contacto leva-taqué en el cilindro 6 (180 grados).....	87
Figura 59: Contacto leva-taqué en el cilindro 2 (240 grados).....	90

Figura 60: Contacto leva-taqué en el cilindro 4 (300 grados).....	92
Figura 61. Fuerzas del regulador que actúan en el eje de levas.....	93
Figura 62: Configuración de diseño del eje.....	103
Figura 63: Fuerzas resultantes de la polea ubicada en el punto D.....	104
Figura 64: Representación mediante un diagrama de cuerpo libre de las fuerzas resultantes y torques que se producen en el eje de transmisión.....	106
Figura 65: Diagrama de las fuerzas cortantes producidas en el eje de transmisión.....	108
Figura 66: Diagrama del momento flector producido en el eje de transmisión.....	109
Figura 67: Diagrama del momento torsor producido en el eje de transmisión.....	110
Figura 68: Análisis de las fibras del eje sometidas a esfuerzos fluctuantes.....	112
Figura 69: Diagrama del factor de concentración de esfuerzo teórico K_t	118
Figura 70: Fuerzas y dimensiones consideradas en la construcción de cuñas tipo cuadrada.....	120
Figura 71: Fuerza (F) que actúa sobre la chaveta.....	121
Figura 72: Ubicación de los puntos de apoyo para los rodamientos.....	126
Figura 73: Tipos de rodamientos de una hilera de rodillos cilíndricos.....	126
Figura 74: Pesos considerados en el diseño y construcción de la estructura.....	132
Figura 75: Cargas distribuidas producidas por los elementos montados en la estructura del banco de pruebas.....	137
Figura 76: Diagrama de cuerpo libre (D.C.L.) de las fuerzas producidas por el peso de los elementos montados en la estructura del banco de pruebas.....	138
Figura 77: Diagrama de fuerzas (reacciones) que se generan en los extremos de la viga analizada.....	139
Figura 78: Diagrama de fuerzas generadas por el corte 1-1.....	140
Figura 79: Cálculo del momento de inercia I_X del perfil empleado en la estructura.....	147
Figura 80: Gráfico del momento flexionante que actúa en la viga analizada.....	151
Figura 81: Columnas principales de la estructura sometidas a pandeo.....	153
Figura 82: Fuerzas que producen pandeo sobre las columnas de la estructura.....	153
Figura 83: Dimensiones del perfil de las columnas principales de la estructura.....	154
Figura 84: Momento de inercia I_y del perfil empleado en las columnas del banco.....	157
Figura 85: Estructura metálica del banco de pruebas.....	166
Figura 86: Base de apoyo del banco de pruebas.....	167
Figura 87: Cubiertas exteriores del banco de pruebas.....	167
Figura 88: Eje de transmisión.....	168
Figura 89: Placas de soporte para el eje de transmisión.....	168
Figura 90: Conjunto eje-placas-cabezal.....	169
Figura 91: Cabezal del banco.....	169
Figura 92: Mecanismo selector de grados.....	170
Figura 93: Elementos de sujeción para la bomba de inyección.....	170
Figura 94: Elementos de sujeción elásticos montados en el cabezal.....	171
Figura 95: Placa base.....	171
Figura 96: Mesa de sujeción.....	172
Figura 97: Malla de protección.....	172
Figura 98: Recolector del líquido de ensayo.....	173
Figura 99: Esquema de la caja porta-probetas.....	173
Figura 100: Caja porta-probetas construida.....	174
Figura 101: Esquema de las placas porta-probetas.....	174

Figura 102: Placa porta-probetas.....	175
Figura 103: Eje y manijas de las placas porta-probetas.....	175
Figura 104: Mecanismo de traba del eje porta-probetas.....	176
Figura 105: Conos porta-inyectores.....	176
Figura 106: Placa del sistema de corte de combustible.....	177
Figura 107. Base de sujeción para la bomba tipo A.....	177
Figura 108: Base de sujeción para la bomba tipo P.....	178
Figura 109: Base construida para la bomba tipo A.....	178
Figura 110: Base construida para la bomba tipo P.....	178
Figura 111: Conos de transmisión.....	179
Figura 112: Cono de transmisión montado en la bomba de inyección.....	179
Figura 113: Polea de transmisión.....	180
Figura 114: Proceso de ensamble del banco de pruebas.....	181
Figura 115: Proceso de ensamble del banco de pruebas.....	182
Figura 116: Proceso de ensamble del banco de pruebas.....	183
Figura 117: Proceso de ensamble del banco de pruebas.....	184
Figura 118: Proceso de ensamble del banco de pruebas.....	185
Figura 119: Motor eléctrico principal (Tipo Invertir Duty).....	187
Figura 120: Elementos del motor eléctrico (maratón invertir duty).....	189
Figura 121: Partes externas del variador de velocidad GS2-27P5.....	190
Figura 122: Teclado del variador.....	192
Figura 123: Circuito básico del variador de frecuencia GS2.....	193
Figura 124: Diagrama de cableado del variador de frecuencia GS2.....	194
Figura 125: Cableado externo para la conexión del variador de frecuencia.....	195
Figura 126: Esquema de programación del variador de velocidad.....	196
Figura 127: Sensor de pulsos (encoder).....	201
Figura 128: Montaje del encoder en el eje del motor principal.....	202
Figura 129: Elementos del sistema de corte de combustible.....	203
Figura 130: Autómata programable (PLC).....	203
Figura 131: Elementos necesarios para programar el PLC.....	204
Figura 132: Comunicación PC/PLC.....	205
Figura 133: Proceso básico de un circuito simple en el S7-200.....	206
Figura 134: Pantalla TD-200C.....	206
Figura 135: Teclado diseñado para el panel TD-200C.....	207
Figura 136: Tablero de conexiones y componentes eléctrico/electrónicos.....	208
Figura 137: Termocupla.....	209
Figura 138: Transmisor.....	210
Figura 139: Esquema del sistema hidráulico del banco de pruebas (baja presión)..	212
Figura 140: Esquema del sistema hidráulico del banco de pruebas (alta presión)..	213
Figura 141: Despiece del motor secundario.....	214
Figura 142: Esquema de la bomba hidráulica de rodillos.....	215
Figura 143: Bomba de alimentación hidráulica.....	216
Figura 144: Válvula reguladora de presión de accionamiento mecánico.....	216
Figura 145: Elementos y válvulas del sistema hidráulico.....	217
Figura 146: Diseño del depósito de combustible.....	218
Figura 147: Medidor de nivel de combustible.....	219
Figura 148: Niquelinas y dispositivos del tanque de combustible.....	219
Figura 149: Cañerías de combustible.....	220
Figura 150: Inyector de pruebas.....	221
Figura 151: Ubicación de los inyectores en el banco de pruebas.....	221

Figura 152: Dispositivos de inyección.....	222
Figura 153: Ubicación de las probetas pequeñas.....	223
Figura 154: Ubicación de las probetas grandes.....	223
Figura 155: Punta de recolección y dispositivos anti-dispersión.....	224
Figura 156: Interruptor de encendido general del banco de pruebas.....	225
Figura 157: Esquema del proceso de funcionamiento del banco de pruebas.....	226
Figura 158: Pantalla 0 (Bomba hidráulica apagada -0).....	228
Figura 159: Pantalla 0 (Bomba hidráulica prendida -1).....	228
Figura 160: Pantalla 1 (Niquelinas apagadas -0).....	229
Figura 161: Pantalla 1 (Niquelinas prendidas -1).....	229
Figura 162: Pantalla 2 (Giro adelante -0).....	230
Figura 163: Pantalla 2 (Giro atrás -1).....	230
Figura 164: Pantalla 3 (Motor principal apagado -0).....	231
Figura 165: Pantalla 3 (Motor principal prendido -1).....	231
Figura 166: Pantalla 4 (Conteo: apagado -0).....	232
Figura 167: Pantalla 4 (Conteo: iniciar -1).....	233
Figura 168: Pantalla 5 (Fijar revoluciones: bloqueado -0).....	234
Figura 169: Pantalla 5 (Fijar revoluciones: activado -1).....	234
Figura 170: Pantalla 6 (Fijar vueltas o strocks: bloqueado -0).....	236
Figura 171: Pantalla 6 (Fijar vueltas o strocks: activado -1).....	236
Figura 172: Pantalla 7 (Visualización: RPM, vueltas. °C).....	237
Figura 173: Pantalla 8 (Visualización: Horas de funcionamiento).....	237
Figura 174: Control de estanqueidad del elemento de inyección.....	248
Figura 175: Posiciones de la rampa helicoidal del elemento de bombeo.....	249
Figura 176: Medición de la carrera útil del elemento de bombeo.....	250
Figura 177: Reglaje del recorrido del elemento de bombeo.....	250
Figura 178: Reglaje de la carrera útil del elemento de bombeo.....	251
Figura 179: Medición del recorrido de la cremallera.....	252
Figura 180: Banco de pruebas construido.....	255
Figura 181: Montaje de la bomba de inyección tipo A en el banco de pruebas.....	256
Figura 182: Montaje de la bomba de inyección tipo P en el banco de pruebas.....	256
Figura 183: Montaje de la bomba PE6P100A720RS15 tipo P en el laboratorio diesel.....	257
Figura 184: Conexión de la manguera de alimentación.....	258
Figura 185: Conductos auxiliares de las cañerías.....	258
Figura 186: Movimiento del cabezal a mano.....	259
Figura 187: Montaje del comparador sobre la cremallera.....	259
Figura 188: Desmontaje del racor y de la válvula de impulsión del cilindro Nro.1.....	260
Figura 189: Montaje del comparador para medir la carrera útil del elemento Nro.1.....	260
Figura 190: Laminas de calibración de la carrera útil del elemento de bombeo.....	261
Figura 191: Montaje del racor con una herramienta de torque.....	262
Figura 192: Acerado del tambor graduado.....	263
Figura 193: Medición y selección de la lana de corrección.....	264
Figura 194: Conexión de la manguera de retorno o rebose.....	264
Figura 195: Programación y aplicación de las condiciones de prueba.....	265
Figura 196: Medición del caudal inyectado (probetas 50ml).....	265
Figura 197: Calibración del caudal inyectado a través de los racores de la bomba.....	266

Figura 198: Montaje de la tapa del regulador mecánico.....	267
Figura 199: Control del recorrido de la cremallera.....	267
Figura 200: Calibración de los muelles antagónicos del regulador mecánico.....	268
Figura 201: Medición del caudal inyectado (probetas 250ml).....	269
Figura 202: Caudal medido en la prueba de arranque.....	271
Figura 203: Conexión de la manguera de alimentación y cañerías en la bomba tipo A.....	280
Figura 204: Conducto auxiliar de la cañería abierto.....	281
Figura 205: Giro manual del cabezal.....	281
Figura 206: Montaje del comparador sobre la cremallera para controlar su recorrido.....	282
Figura 207: Desmontaje de la tapa lateral de la bomba de inyección.....	283
Figura 208: Desmontaje del racor y válvula del cilindro Nro 1.....	283
Figura 209: Montaje del tubo cuello de cisne y comparador en el cilindro Nro1....	284
Figura 210: Fijación del recorrido de la cremallera.....	284
Figura 211: Lectura de la carrera útil del elemento de bombeo 1.....	285
Figura 212: Calibración de la carrera útil del electo de bombeo 1.....	286
Figura 213: Apriete de la tuerca racor del cilindro Nro 1.....	286
Figura 214: Calibración del inicio y final de la inyección de los elementos (2,3,4,5 y 6).....	288
Figura 215: Verificación de la holgura entre la leva y el taqué de empuje.....	288
Figura 216: Conexión de la manguera de retorno de combustible.....	289
Figura 217: Cierre de los conductos auxiliares de las cañerías.....	289
Figura 218: Lubricación de los taques de empuje.....	290
Figura 219: Introducción de las condiciones de prueba en el banco.....	290
Figura 220: Medición del caudal inyectado (probetas 250ml).....	291
Figura 221: Calibración del caudal inyectado por los elementos de bomba.....	292
Figura 222: Desmontaje de la tapa posterior del regulador mecánico.....	292
Figura 223: Calibración del perno tope de la varilla del acelerador.....	293
Figura 224: Calibración del tornillo regulador de recorrido de la cremallera.....	294
Figura 225: Calibración del tornillo de plena carga.....	295
Figura 226: Calibración del tornillo cápsula de ralenti.....	296
Figura 227: Calibración del tornillo de tope para ralenti.....	297
Figura 228: Verificación del tornillo tope de la cremallera.....	297
Figura 229: Montaje del diafragma LDA de la bomba de inyección.....	298
Figura 230: Alimentación de aire al diafragma LDA de la bomba de inyección...	299
Figura 231: Medición del caudal de arranque (probetas 50ml).....	301
Figura 232: Dispositivos de engrase del eje principal.....	311
Figura 233: Mecanismo selector de grados.....	312
Figura 234: Verificación de los dispositivos de unión elástico.....	313
Figura 235: Control del mecanismo de traba del eje y placa porta-probetas.....	314
Figura 236: Bases de sujeción de las probetas.....	314
Figura 237: Verificación de la placa de corte de combustible.....	315
Figura 238: Verificación de las cubiertas del banco.....	315
Figura 239: Inspección de elementos mecánicos del banco.....	316
Figura 240: Inspección de los motores eléctricos.....	317
Figura 241: Verificación de los elementos y dispositivos electrónicos.....	318
Figura 242: Cables de conexión para alimentar al banco de pruebas.....	319
Figura 243: Verificación y control del sistema de corte de combustible.....	320
Figura 244: Control de las niquelinas de calentamiento del combustible.....	321

Figura 245: Verificación de la conexión de las niquelinas.....	322
Figura 246: Verificación de la termocupla.....	322
Figura 247: Verificación del transmisor de temperatura.....	323
Figura 248: Inspección del sensor encoder.....	324
Figura 249: Canaletas de cableado.....	324
Figura 250: Verificación del tanque de combustible.....	326
Figura 251: Verificación de las válvulas hidráulicas de control.....	327
Figura 252: Inspección de los inyectores del banco.....	328
Figura 253: Comprobación de los inyectores en el banco.....	328
Figura 254: Limpieza de los inyectores del banco de pruebas.....	329
Figura 255: Inspección del filtro principal.....	329
Figura 256: Inspección de la bomba de alimentación.....	330
Figura 257: Inspección general del sistema hidráulico.....	331

Índice de anexos

Fotografías de la secuencia del trabajo de tesis.....	355
---	-----

Resumen:

El presente trabajo de tesis trata de la elaboración de un banco de pruebas para bombas de inyección diesel de los tipos A y P de hasta seis cilindros. Su construcción parte de un diseño sencillo respaldado por los cálculos matemáticos y el análisis de la factibilidad de adquisición de los recursos y materiales idóneos para su conformación, de modo que éste sea capaz de efectuar todas las pruebas de verificación en las bombas para las que ha sido diseñado. El banco construido está implementado con dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos y especialmente electrónicos; elementos del medio local que permiten un mejor control de las pruebas y abaratar los costos de fabricación con respecto a un banco mecánico original, haciendo que sea posible contar con una herramienta de comprobación y calibración muy útil.

Abstract:

The present work deals with the elaboration of a test bench for diesel injection pumps (A and P type) up to six cylinders. The build up of this device was developed based on mathematical procedures and the analysis of suitable materials for its construction. The purpose was to ensure that the test bench will be able to proof all the variables involved in the verification of diesel injection pumps. The test device was implemented with mechanical, hydraulic, electrical and electronic parts. All the gadgets were achieved in local markets, lowering the fabrication costs and ensuring a better test control for diesel injection pumps.

Diseño y construcción de un banco de pruebas para bombas de inyección diesel

Introducción

Partiendo desde la curiosidad y el interés por efectuar un mayor control de las emisiones producidas por los vehículos de turismo diesel, se llega a establecer la necesidad de contar con una herramienta indispensable de comprobación, la misma que la poseen únicamente los laboratorios diesel y que no está fácilmente al alcance de los técnicos automotrices a diferencia del caso de los motores a gasolina; esta herramienta es el banco de pruebas de las bombas de inyección que es lo que diferencia básicamente al motor diesel del motor a gasolina. Un laboratorio diesel constituye un área de trabajo completamente aparte de lo que es un taller de mantenimiento mecánico; con una infraestructura que gira en torno a una máquina de comprobación como es el banco para las bombas de inyección diesel.

Por tales motivos, en el presente trabajo el objetivo planteado es el diseño y la construcción de un banco de pruebas capaz de cumplir con todas las verificaciones que las realiza un banco de un laboratorio diesel, empleando los recursos que están disponibles en el medio y que sustituyan eficazmente a los elementos que conforman a los bancos tradicionales.

El proyecto realizado, ha sido posible gracias a los conocimientos adquiridos durante los años de formación universitaria, a la investigación de campo y en los laboratorios, que constituye el pilar esencial para su diseño y construcción, pues por medio de la misma se logró reunir las suficientes bases para ordenar, organizar y clasificar las ideas de construcción y acoplar los recursos materiales para desarrollar y cumplir el propósito planteado.

CAPÍTULO I

BOMBA DE INYECCIÓN EN LÍNEA

INTRODUCCIÓN:

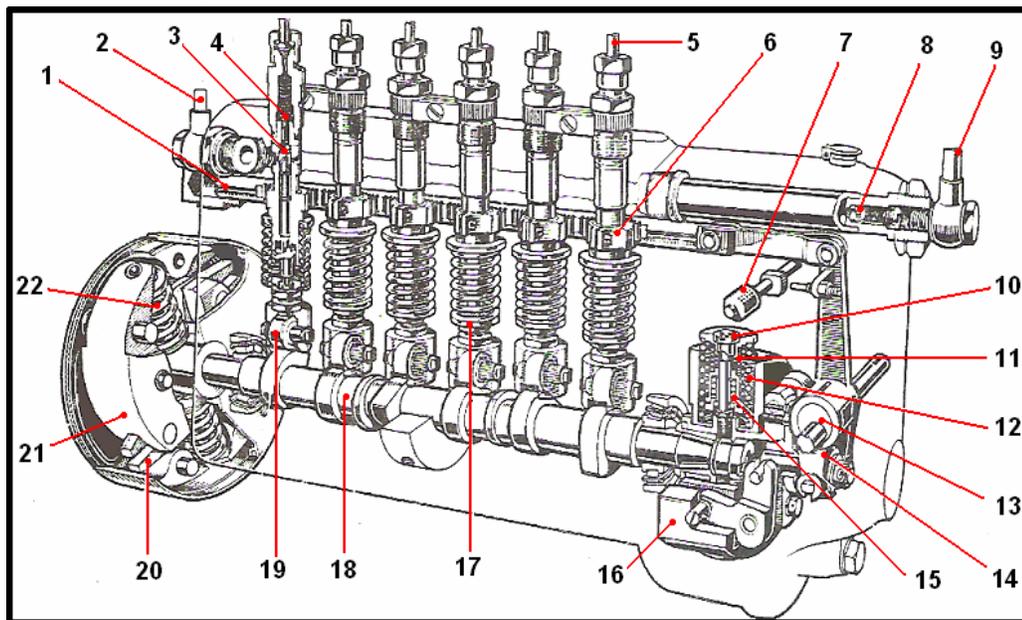
En el capítulo I, se realizará un estudio profundo del funcionamiento de la bomba de inyección en línea, describiendo todos los elementos y mecanismos que la constituyen para conocer mejor la forma en la que trabaja en un motor diesel, su principio de funcionamiento y los principales tipos que existen. El estudio y análisis del funcionamiento de la bomba de inyección en línea servirá también para determinar que comprobaciones deben realizarse en este elemento y saber el estado en el que se encuentra.

Además, la correcta comprensión del funcionamiento de la bomba de inyección en línea, va a constituir el punto de partida del diseño del banco de pruebas que es el objetivo final del presente trabajo, ya que dicho banco debe ser capaz de verificar el estado en el que se encuentra una bomba de inyección, para ello debe simular las condiciones de trabajo a las que se somete la bomba en el motor diesel. De este modo, el banco de pruebas debe ser diseñado de acuerdo a las dimensiones, forma, torque de trabajo, alimentación, sujeción, giro y toma de movimiento que posee una bomba de inyección en línea.

1.1 Principio de funcionamiento

De una manera general, los sistemas de bombas están basados en el principio leva-pistón, permaneciendo constante la carrera total de éste. Un pistón cilíndrico, accionado por una leva y apretado contra ésta por un resorte, se desliza en un cilindro. La leva accionada por la distribución del motor, está calada convenientemente.

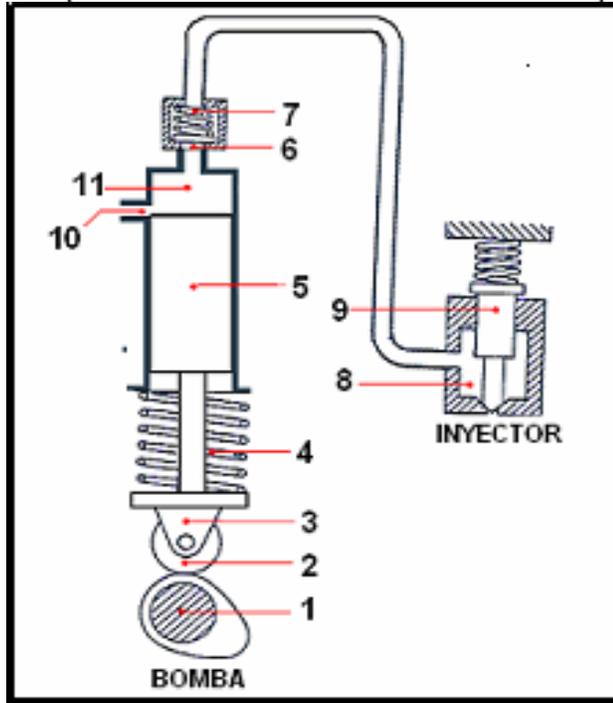
Figura 1. Sección de una bomba en línea de un motor de seis cilindros
(Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)



1.Cremallera 2.Llegada de combustible 3.Pistón del elemento nro.1 4.Válvula de impulsión
5.Cañería de impulsión hacia los inyectores 6.Manguito de reglaje 7.Mando de sobrecarga
8.Válvula de descarga 9.Retorno de combustible 10.Platillo de reglaje del muelle regulador
11,12 y 15.Muelles de regulador (régimen máximo,ralenti y corrector de par) 13.Eje de leva
14.Palanca de accionamiento 16.Contrapesos del regulador 17.Muelle del elemento nro.4
18.Arbor de levas 19.Rodillo del empujador 20,21 y 22.Conjunto del corrector centrífugo

En las bombas en línea (**Fig. 1**) el pistón (3) tiene en su parte superior una entalladura circular y una ranura; esta ranura, vertical en un lado, está tallada en forma de rampa por el otro. El cilindro lleva uno o dos conductos radiales de alimentación dispuestos a una cierta altura. Hay también una válvula (4) en la parte superior del cilindro para asegurar la impulsión.

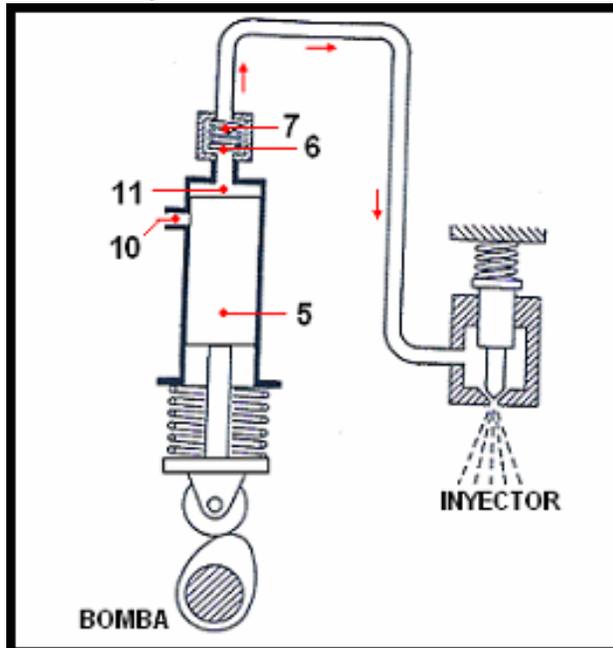
Figura 2A. Esquema del conjunto bomba-inyector
(Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)



En la **figura 2A**, se representa el árbol de levas (1), cada una de sus levas durante el giro va a producir en diferentes cilindros un movimiento de desplazamiento del pistón (5) a través del rodillo (2) sujeto a su vez al empujador (3) que se halla obligado a seguir el perfil de la leva por la presión que ejerce el muelle (4). En estas circunstancias, el émbolo (5) ocupa la posición más baja del cilindro, y el combustible,

presionado por la bomba de alimentación entra por el conducto (10) a llenar la cámara (11) sin poder tener acceso al inyector por cuanto la válvula de impulsión (6) está cerrada y el combustible no dispone de la suficiente presión para abrirla.

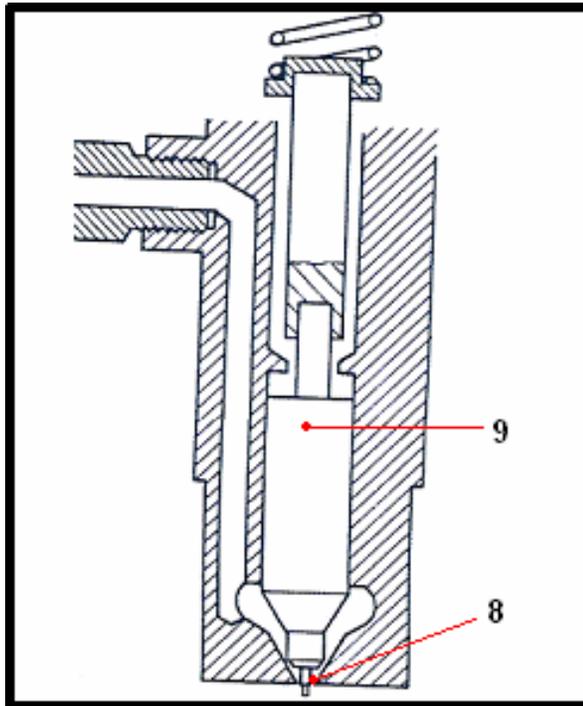
Figura 2B. Esquema de funcionamiento bomba-inyector
(Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)



Cuando la leva del eje del mismo se coloca de forma que el lóbulo haga ascender al empujador a través del rodillo, tal como muestra la **figura 2B**, el émbolo (5) se levanta, cierra en su carrera el orificio de entrada del combustible (10) y en la cámara (11) crea una gran presión que vence fácilmente la válvula de impulsión (6) y de su muelle (7).

La elevada presión del líquido que ha atravesado la válvula de impulsión, se transmite a lo largo de todo el conducto hasta llegar al inyector. Este, como puede verse en el esquema ampliado de la **figura 3**, consta de una aguja (9) que es móvil y que presiona sobre el orificio de la tobera (8) gracias a su muelle, de modo que la presión a que llega el combustible resulta suficiente no solo para levantar la aguja sino para lanzar un chorro adecuado de combustible hacia el interior de la cámara de combustión.

Figura 3. Esquema de un inyector diesel
(Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)



La duración de la inyección viene determinada por la diferencia de presión que haya en el conducto con respecto a la presión que ejerce el muelle de la aguja del inyector, ya que la válvula de impulsión no permite el retorno del combustible hacia el interior del cilindro de la bomba. Por otra parte atiende también a que no se produzca el descebamiento del circuito, que significaría una caída de presión para el combustible cedido por la bomba a cada embolada si el anterior tuviera opción al retorno. Así tenemos que tan pronto como el émbolo haya dejado de dar presión al combustible, la válvula (6) se cierra impelida por su muelle (7) de modo que el circuito permanece siempre lleno de combustible. ¹

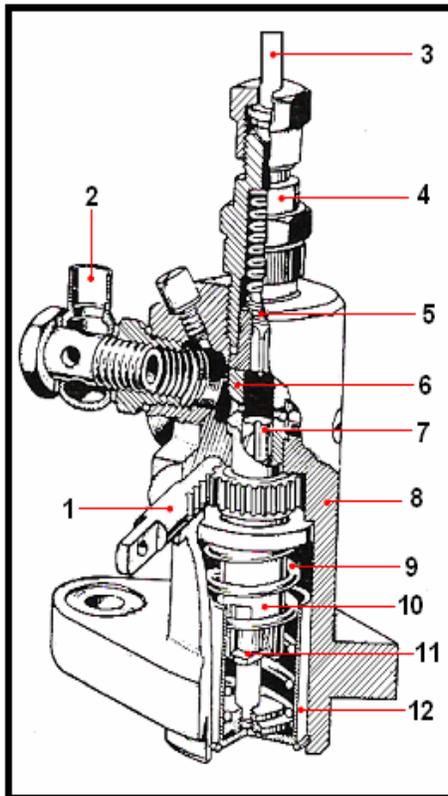
¹ RALBOVSKY. E. Motores Diesel. España. Edita Paraninfo. 2000. 288p.

1.2 Tipos de bombas en línea más empleados

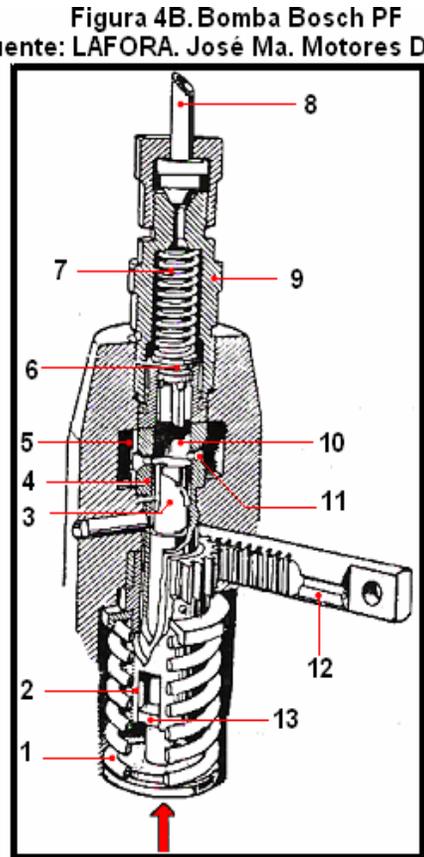
A continuación se describe brevemente las principales características de los diversos tipos de bombas en línea más empleados en la industria automotriz.

1.2.1 Bomba Bosch tipo PF (Fig.4A y 4B)

Figura 4A. Bomba Bosch PF (Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel) (Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel)



1.Cremallera 2.Llegada de combustible
3.Tubería de impulsión 4.Racor de impulsión
5.Válvula de reaspiración 6.Cilindro
7.Pistón 8.Cuerpo de la bomba
9.Muelle del pistón 10.Manguito de reglaje
11.Accionador 12.Manguito de guía



1.Muelle del pistón 2.Manguito de reglaje
3.Pistón 4.Cilindro 5.Galería de alimentación
6.Válvula de impulsión 7.Muelle de la válvula
8.Tubería de impulsión 9.Racor
10.Cámara de impulsión
11.Orificio de llegada del combustible
12.Cremallera 13.Accionador

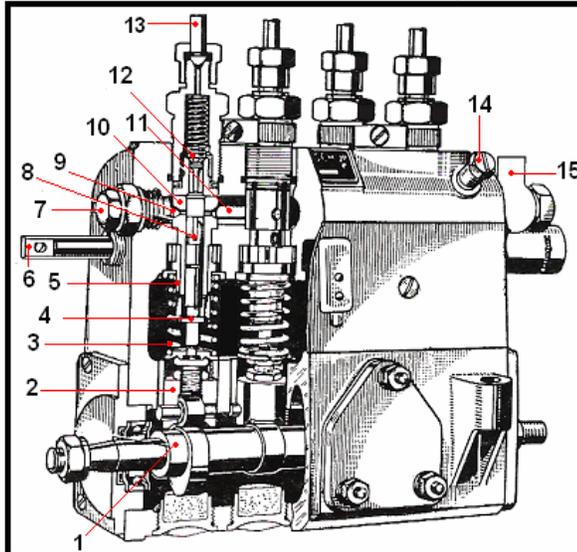
Características:

- No tienen árbol de levas propio para su funcionamiento.
- Lleva una señal en el cuerpo de la bomba y en la cremallera de dosado que indica el sentido de desplazamiento para que el caudal de la bomba sea nulo.

- Posee un tope montado sobre la cremallera que impide el caudal excesivo en servicio normal
- Está equipada con válvulas de impulsión del tipo de reaspiración
- Pueden ir montadas vertical y horizontalmente
- Para variar el caudal de la bomba entre cero y máxima se tiene una corona dentada sujeta a la parte inferior del manguito de reglaje, la misma que engrana con la cremallera, haciendo deslizar la cremallera puede hacerse girar los pistones sobre su eje gracias a las hendiduras practicadas en la parte inferior del manguito que guían al accionador del pistón.

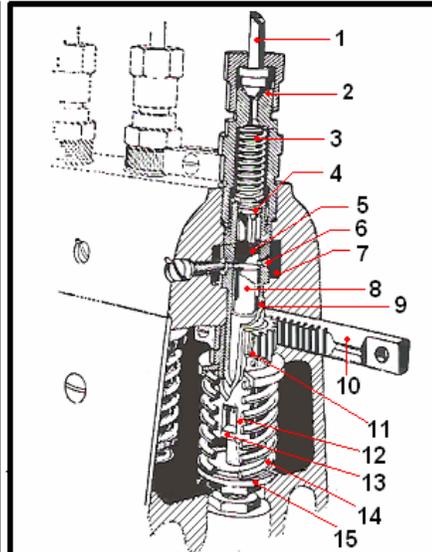
1.2.2 Bomba Bosch tipo PE (Fig. 5A y 5B)

Figura 5A. Bomba Bosch PE..A
(Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel.)



- 1.Árbol de levas 2.Empujador de rodillo 3.Muelle del pistón 4.Accionador 5.Manguito de reglaje
- 6.Cremallera 7.Tapón de llegada 8.Pistón 9.Orificio de llegada del combustible 10.Cilindro
- 11.Galería de alimentación 12.Válvula de impulsión 13.Tubería de impulsión 14.Tornillo de purga
- 15.Racor de llegada del combustible

Figura 5B. Bomba Bosch PE..B
(Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel.)



- 1.Tubería de impulsión 2.Racor de impulsión 3.Muelle de la válvula
- 4.Válvula de impulsión 5.Cámara de impulsión 6.Orificio de llegada del combustible
- 7.Galería de alimentación 8.Pistón 9.Cilindro 10.Cremallera
- 11.Corona dentada 12.Manguito de reglaje 13.Accionador 14.Muelle del pistón
- 15.Platillo del muelle

Características:

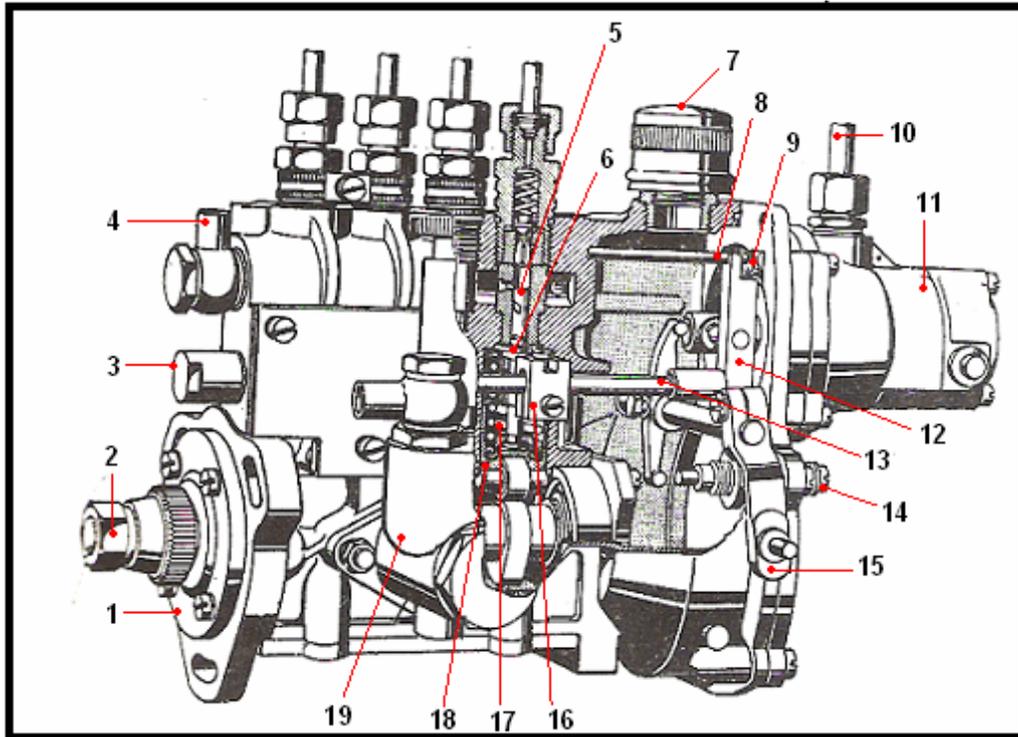
- Posee su propio eje de levas
- Su válvula de impulsión es del tipo de reaspiración
- Para la variación del caudal de combustible lleva atornillada al manguito de la parte inferior del cilindro una corona dentada que se engrana con los dientes de la

cremallera; haciendo desplazar la cremallera puede hacerse girar los pistones sobre su eje

- Las bombas PE de tamaños A, B y Z pueden equiparse con un regulador mecánico centrífugo o bien las de tamaño A, B y M llevan un regulador neumático y un dispositivo de avance.²

1.2.3 Bomba Bosch tipo PES...M (Fig. 6A y 6B)

Figura 6A Bomba Bosch tipo PES...M (Fig. 6A y 6B)
(Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel)



1. Cojinete delantero con retén centrador 2. Árbol de levas 3. Manguito y soporte del vástago de regulación y tope de sobrecarga 4. Llegada de combustible 5. Elemento de bombeo 6. Manguito de reglaje 7. Respiradero
8. Eje de guía 9. Membrana 10. Tubería de depresión 11. Cáster del regulador
12. Palanca del regulador 13. Vástago de regulación 14. Tope regulable
15. Palanca de accionamiento 16. Cursor de mando 17. Muelle del empujador
18. Empujador de rodillo 19. Bomba de alimentación

Características:

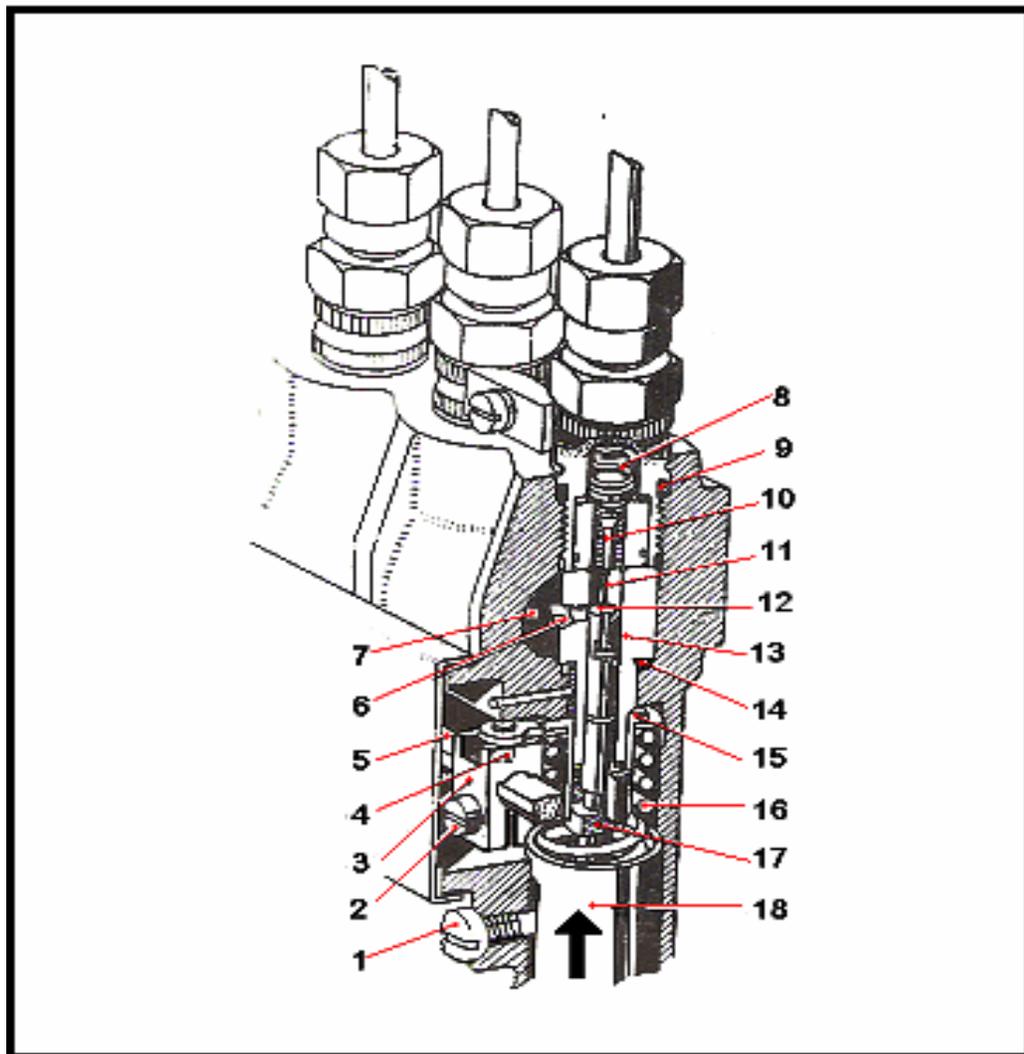
- Es más pequeña que la de tipo PE
- La cremallera es sustituida por un vástago de regulación de caudal, al cual se sujetan por medio de tornillos una serie de elementos de mando llamados cursores.

² LAFORA. José Ma. Motores Diesel. España. H. Blume ediciones. 1978. 294 Pgs. 2da edición.

Cada cursor lleva una ranura en la que se aloja un talón solidario del manguito de reglaje, que determina la posición del pistón respecto de su cilindro. Los pistones descansan directamente sobre empujadores de rodillos, sin tornillos de ajuste intermedio

- El cárter del regulador es solidario con el cárter de la bomba
- El llenado de aceite para la lubricación se realiza por el orificio roscado, el cual también sirve para fijar el filtro de purga de aire.

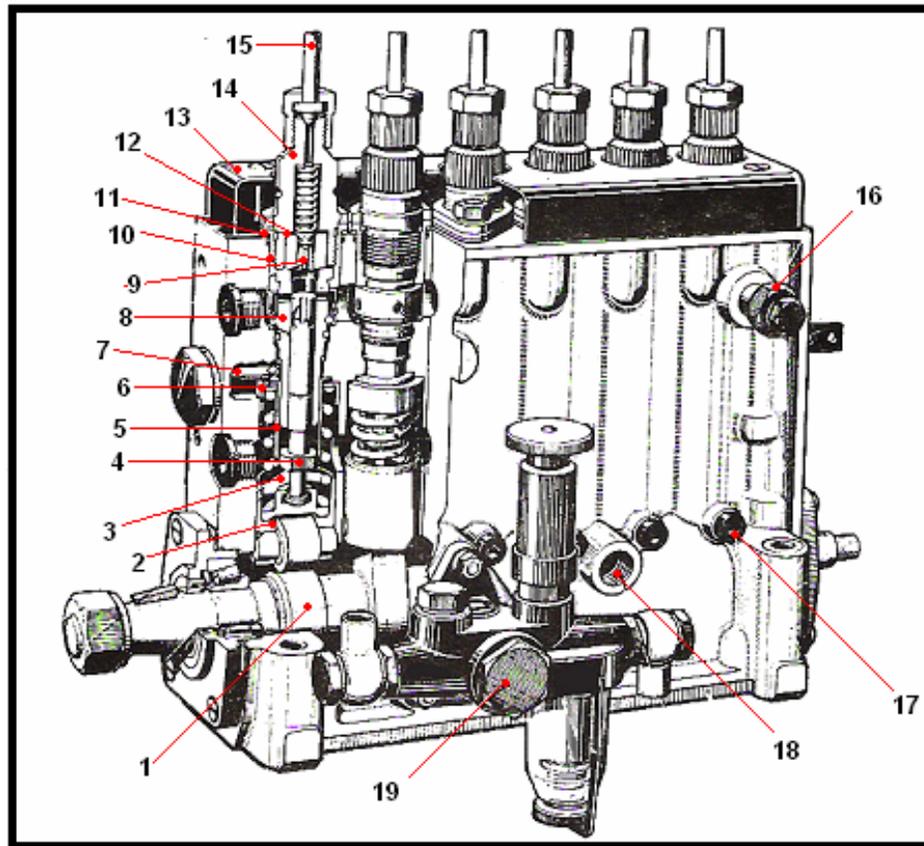
Figura 6B. Bomba Bosch PES...4M (Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)



- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. Tornillo guía del empujador | 2. Tornillo de apriete del cursor |
| 3. Cursor del mando | 4. Tetón del manguito de reglaje |
| 5. Vástago de regulación | 6. Orificio de llegada del combustible |
| 7. Galería de alimentación | 8. Muelle de la válvula |
| 9. Junta | 10. Válvula de impulsión |
| 11. Cámara de impulsión | 12. Pistón |
| 13. Cilindro | 14. Junta |
| 15. Manguito de reglaje | 16. Muelle del empujador |
| 17. Accionador | 18. Empujador de rodillo |

1.2.4 Bomba Bosch tipo PES... y PE (Fig. 7A y 7B)

Figura 7A. Bomba Bosch PES...P (Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)

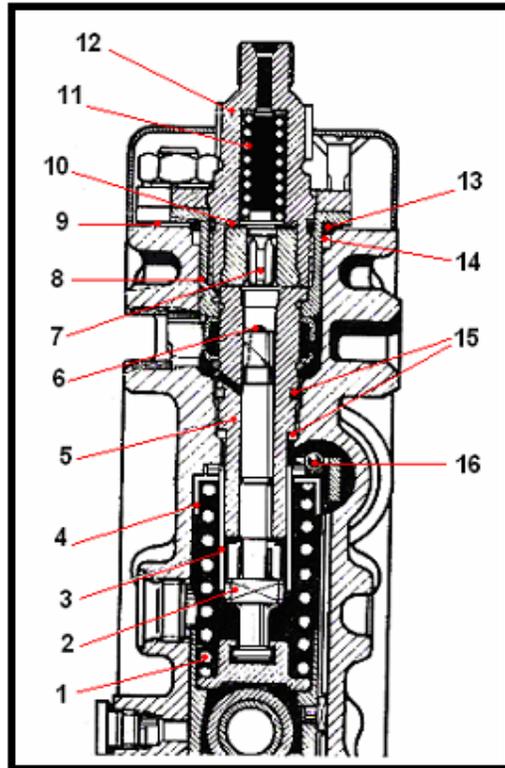


- | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 1.Árbol de levas | 2.Empujador de rodillo | 3.Muelle del pistón | 4.Talón de accionamiento |
| 5.Manguito de accionamiento | 6.Platillo del muelle | 7.Vástago de regulación | 8.Cilindro de la bomba (fijo) |
| 9.Válvula de impulsión | 10.Manguito fijado por brida | 11.Arandela de reglaje | 12.Junta |
| 13.Tapa | 14.Racor de impulsión | 15.Tubería de impulsión | 16.Tornillo de purga |
| 17.Tornillo de acceso para galgas | 18.Retorno del aceite | 19.Bomba de alimentación | |

Características:

- Posee una diferente disposición y montaje de los racores de impulsión y elementos de bombeo fijados por bridas y unidas por un manguito
- El reglaje del caudal se efectúa por rotación del manguito de reglaje de cada pistón y el principio de inyección por interposición de arandelas bajo la brida de fijación.
- El vástago de regulación con perfil en ángulo recto, tiene unas muescas en la que se alojan las bolas solidarias de los manguitos de reglaje
- El cárter de la bomba no tiene tapa lateral
- La lubricación se realiza por medio de una toma de aceite a presión en el sistema de lubricación del motor.

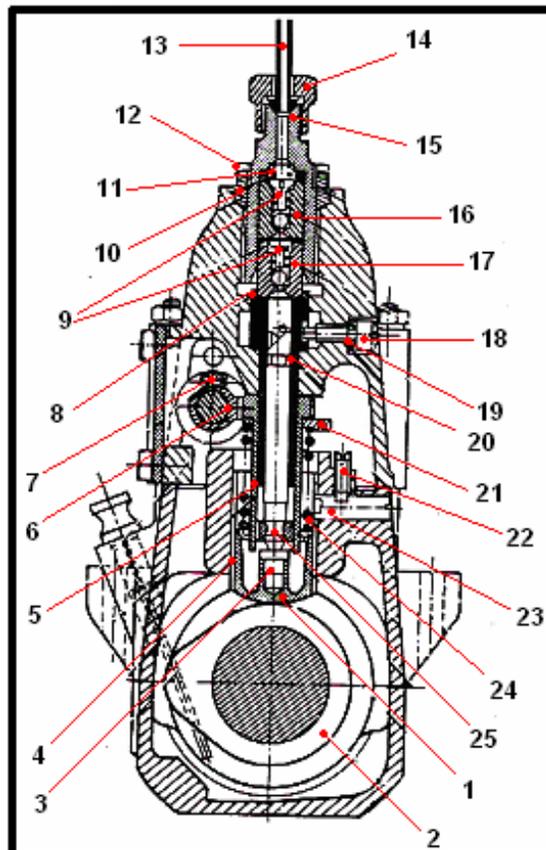
Figura 7B. Bomba Bosch...P (Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)



- 1. Muelle del pistón
- 2. Talón de accionamiento
- 3. Manguito de accionamiento
- 4. Platillo del muelle
- 5. Cilindro de la bomba (fijo)
- 6. Orificio de llegada del combustible
- 7. Válvula de impulsión
- 8. Manguito fijado por brida
- 9. Arandela de ajuste
- 10. Junta
- 11. Muelle de la vâlvula de impulsión
- 12. Racor de impulsión
- 13. Distanciador
- 14 y 15. Juntas de estanqueidad
- 16. Vástago de regulaci3n

1.2.5 Bomba PM tipo AF (Fig. 8)

Figura 8. Bomba PM AF (Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)

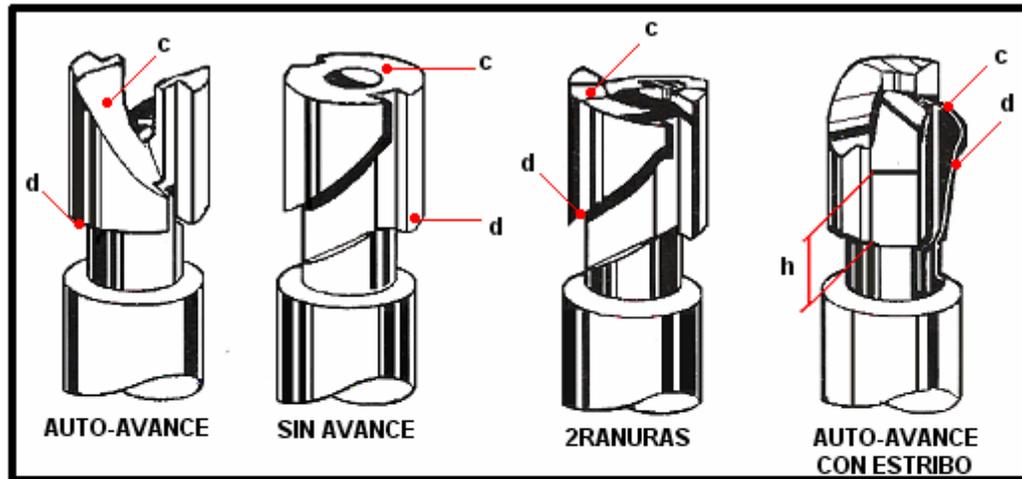


- 1. Empujador
- 2. Árbol de levas
- 3. Tet3n de empuje
- 4. Camisa guida del empujador
- 5. Cilindro
- 6. Manguito de reglaje
- 7. Tornillo de apriete del manguito
- 8. Junta
- 9. Vâlvula de impulsión doble
- 10. Junta
- 11. Muelle de la vâlvula
- 12. Tuerca del manguito
- 13. Tuberia de impulsión
- 14. Tuerca del racor
- 15. Manguito
- 16. Cuerpo superior de la vâlvula
- 17. Cuerpo inferior de la vâlvula
- 18. Tornillo guida
- 19. Junta
- 20. Cilindro
- 21. Platillo del muelle
- 22. Tornillo de fijaci3n
- 23. Plaquita guida del empujador
- 24. Muelle
- 25. Pist3n

Características:

- Posee pistones con comienzo de inyección variable, con comienzo de inyección fija y fin de inyección variable (**Fig. 9**)
- Tienen válvula de impulsión doble de bolas y en ciertos casos poseen una válvula de cebado fijada con un racor especial.³

Figura 9. Tipos de Pistones de la Bomba PM
(Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)



- c. Rampa de comienzo de la inyección
- d. Rampa de fin de la inyección

Las diferentes inclinaciones dadas a las rampas o ranuras respecto al eje del pistón permiten hacer variar al mismo tiempo que los caudales, los comienzos y fines de inyección, según las características de la cámara de combustión del motor

El pistón de auto-avance con estribo mejora los arranques en frío. La ranura c (en el detalle d) determina el avance y la ranura vertical (h) el caudal.

1.2.6 Bomba PM – CAC y CAF

- Empleado en motores de pequeña cilindrada y de regímenes rápidos
- Su eje de levas está montado sobre rodamientos de rodillos
- Puede llevar regulador de tipo mecánico o neumático y en versiones CAC variador automático de avance.
- Posee empujadores lisos, el reglaje del caudal se realiza por orientación de los pistones respecto a los cilindros por medio de tetones fijados rígidamente a los pistones.

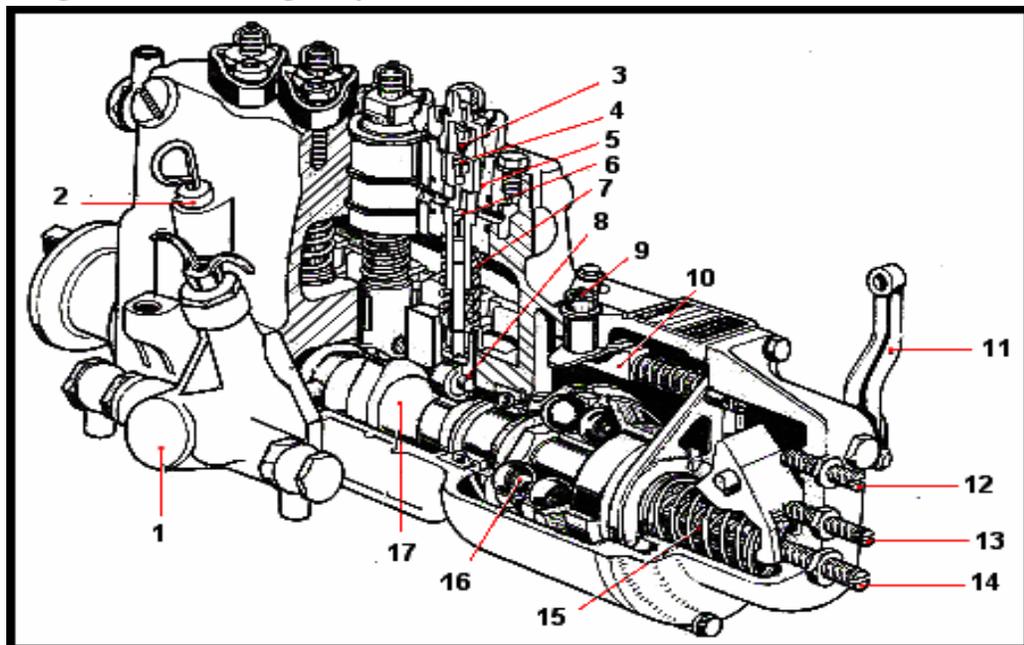
³ RALBOVSKY. E. Motores Diesel. España. Edita Paraninfo. 2000. 288p.

1.2.7 Bomba PM – CB

- Lleva la bomba de alimentación incorporada en la parte delantera del primer cilindro
- Tiene empujadores de rodillos
- Posee una plataforma que le brinda estabilidad al acelerar y desacelerar
- Existe en versiones con regulador de máxima y mínima (CBC) o con regulador continuo de velocidad (CBF)

1.2.8 Bomba monobloque Sigma CMS (Fig. 10)

Figura 10. Bomba Sigma tipo CMS (Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel.)



- 1.Bomba de alimentación 2.Varilla de nivel de aceite 3.Válvula 4.Válvula de impulsión 5.Manguito 6.Pistón 7.Las piezas de 3 a 7 forman el conjunto de cabeza hidráulica 8.Empujadores de rodillos 9.Palanca de parada 10.Vástago de regulación 11.Palanca de aceleración 12.Tornillo de tope de velocidad máxima 13.Tornillo de tope de ralenti 14.Reglaje del caudal 15.Muelles del regulador (sobrecarga, gran velocidad y ralenti) 16.Bolas del regulador 17.Árbol de levas

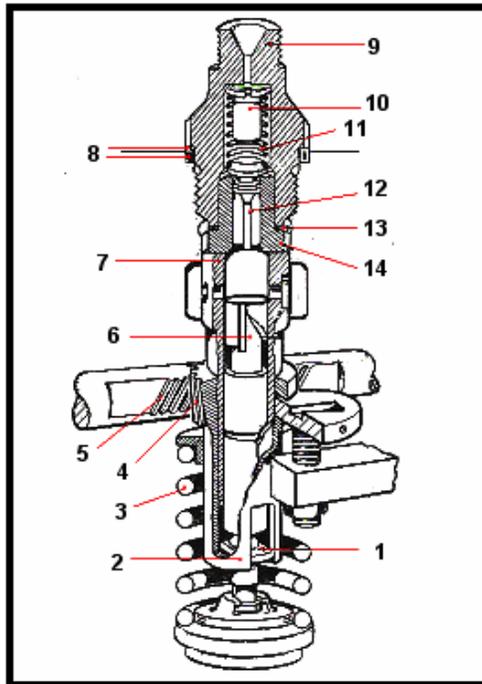
Características:

- Agrupa en un mismo cárter los elementos de bombeo con árbol de levas y el conjunto regulador.
- La estanqueidad del sistema de baja presión se realiza por medio de juntas tóricas y una junta especial permite la estanqueidad para la alta presión.

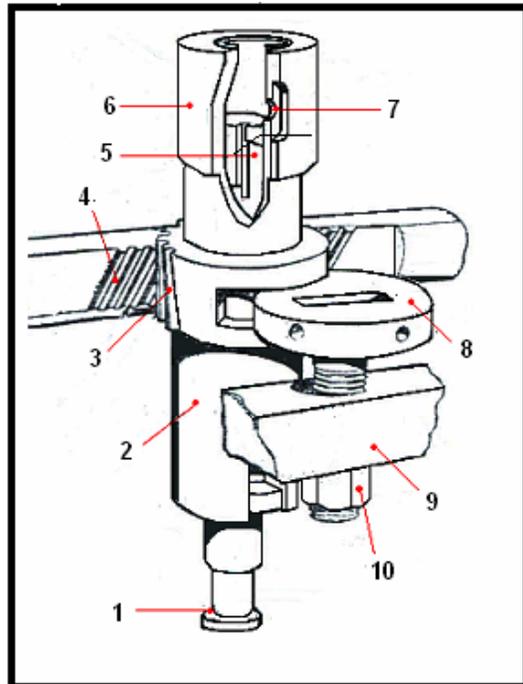
- No posee placa lateral de inspección
- El árbol de levas va montado sobre rodamientos de bolas
- Tiene empujadores del tipo de rodillo o barrilete guiados por tornillo con tetón; y el vástago de regulación es de sección rectangular

1.2.9 Bomba CAV tipo N (Fig. 11A y 11B)

Figura 11A. Elemento de la bomba tipo N Figura 11B. Dispositivo de reglaje del caudal (Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel)



1. Talón del vástago del pistón
2. Manguito de reglaje
3. Muelle del pistón
4. Sector dentado
5. Cremallera
6. Pistón
7. Cilindro
8. Juntas
9. Racor
10. Tope de centrado de la válvula de impulsión
11. Muelle de la válvula de impulsión
12. Válvula de impulsión
13. Junta
14. Cuerpo de la válvula de impulsión



1. Talón del pistón
2. Manguito de reglaje
3. Sector dentado
4. Dentado de la cremallera
5. Pistón
6. Cilindro
7. Conducto de entrada del combustible
8. Tornillo micrométrico
9. Vástago
10. Tuerca de reglaje

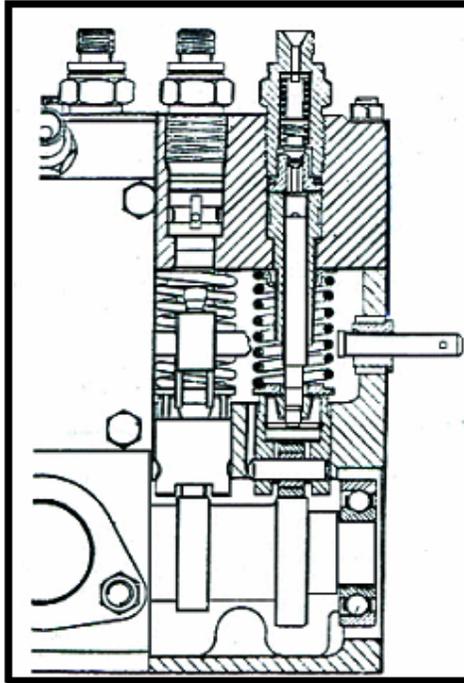
Características:

- Tiene su propio árbol de levas y es más corto que el de otras bombas
- Lleva un filtro incorporado que asegura una mejor protección de los elementos de la bomba

- El reglaje del caudal se realiza por medio de un tornillo micrométrico **(Fig. 11B)** montado en un vástago, la cabeza de este tornillo entra en una ranura del sector dentado del manguito de cada elemento de bomba; los dientes de engranaje del sector y la cremallera son helicoidales, debido a esto, cualquier movimiento hacia arriba o abajo representan una ligera rotación del conjunto cilindro-pistón.
- La sincronización de la inyección es por medio de arandelas calibradas, que se colocan entre el empujador y el platillo inferior.
- La estanqueidad se asegura por medio de juntas separadas de alta y baja presión
- El regulador más frecuente que se emplea en este tipo de bombas es el neumático.

1.2.10 Bomba Simms SPE (Fig.12)

Figura 12. Bomba Simms SPE
(Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel)

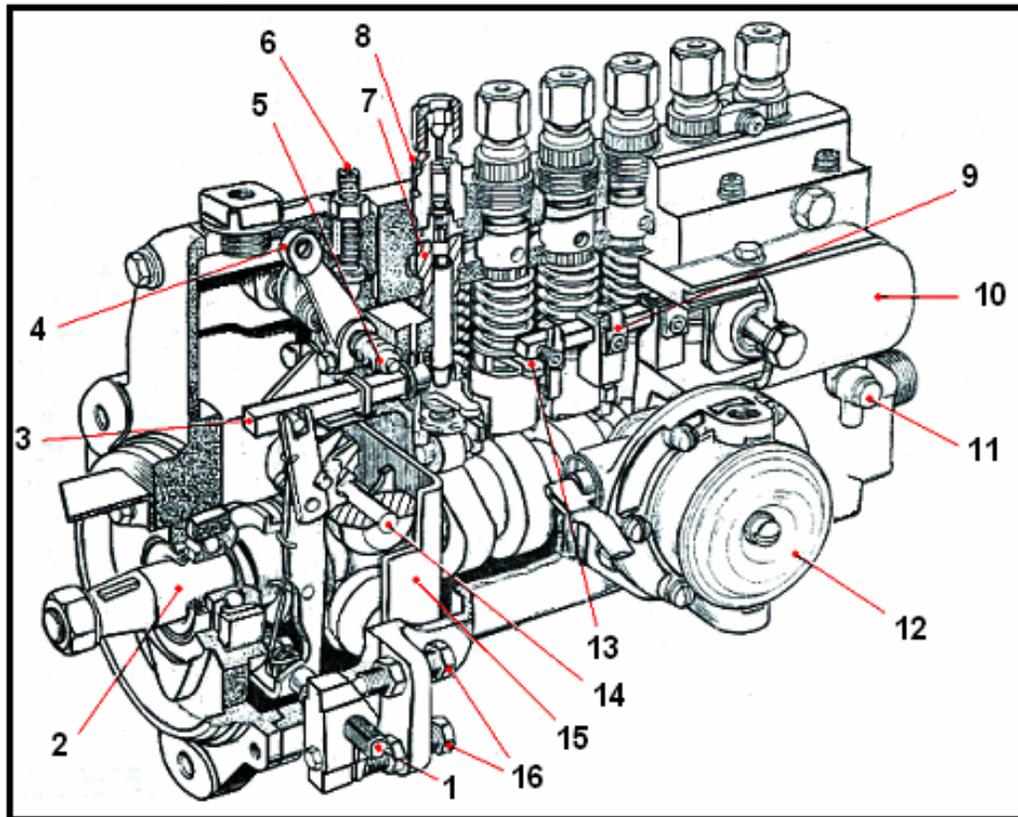


Características:

- El reglaje del caudal se realiza por medio de un tetón solidario al pistón que encaja en un cubo, el cual se une a su vez con tetón y tornillos al vástago de regulación que es de sección cuadrada.
- La cabeza del pistón no tiene ninguna ranura helicoidal, sino solamente un taladro axial.
- Su eje de levas posee un mecanizado especial para evitar que el motor arranque en sentido inverso.

1.2.11 Bomba Simms MINIMEC (Fig.13A y 13B)

Figura 13A. Bomba Simms MINIMEC
(Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel)



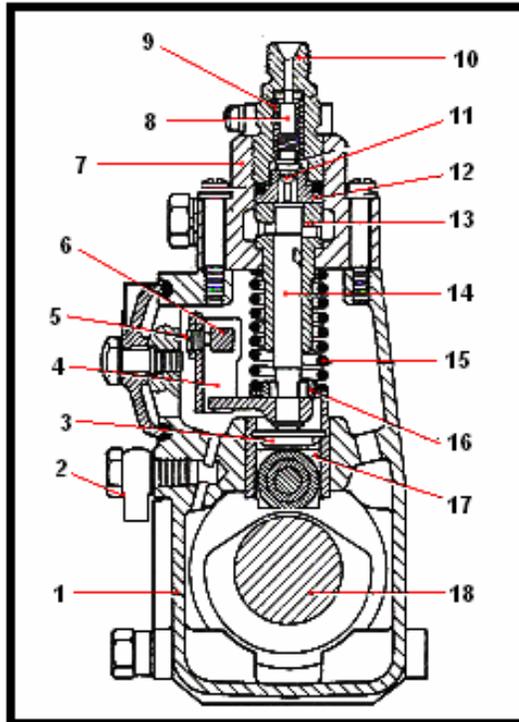
1.Eje de la palanca de aceleración 2.Árbol de levas 3.Vástago de regulación
4.Palanca de parada 5.Mando de sobrecarga 6.Tope de parada 7.Elemento de bombeo 8.Manguito de fijación 9.Dados de mando del pistón 10.Tapa de inspección 11.Retorno de fugas 12.Bomba de alimentación 13.Tetón de arrastre del pistón 14.Contrapeso del regulador 15.Placa trasera 16.Tornillos de tope máximo y ralenti

Características:

- Posee un regulador centrífugo incorporado
- Adecuado para motores de hasta 1.5 ltrs. de cilindrada unitaria
- El vástago de regulación es de sección cuadrada, al cual se fijan los dados que contienen a los tetones de reglaje solidarios de los pistones
- El reglaje de la inyección se realiza por medio de arandelas calibradas situadas entre el fondo del empujador y el pistón.⁴

⁴ LAFORA. José Ma. Motores Diesel. España. H. Blume ediciones. 1978. 294 Pgs. 2da edición.

Figura 13B. Bomba Simms minimec
 (Fuente: ALONZO PEREZ. José Manuel. Técnicas del automovil)



- 1.Cárter 2.Retorno de fugas 3.Placa del empujador 4.Dado de mando del pistón 5.Tornillo de fijación del dado 6.Vástago de regulación 7.Cuerpo superior 8.Cámara de impulsión 9.Muelle de válvula 10.Racor de impulsión 11.Válvula de re-aspiración 12.Cuerpo de la válvula de re-aspiración 13.Cilindro de la bomba 14.Pistón 15.Muelle del pistón 16.Platillo del muelle 17.Empujador de rodillo 18.Árbol de levas.

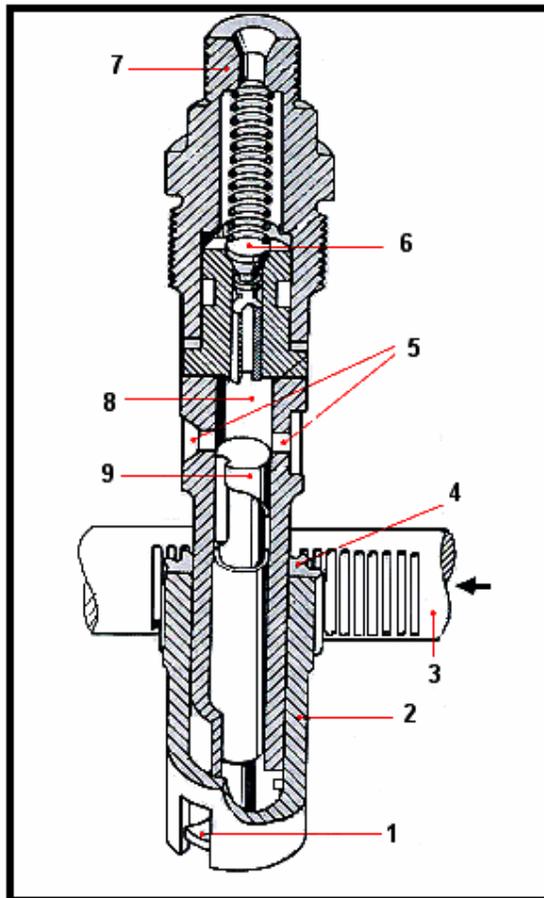
1.3 Constitución básica de las bombas de inyección en línea

De acuerdo con el principio mismo de su funcionamiento, el motor Diesel necesita una alimentación de combustible rigurosamente dosificada, no basta con inyectar siempre una cantidad de combustible, hay que disponer de un sistema que pueda regular el caudal de modo que la cantidad inyectada pueda variarse de acuerdo con las necesidades de carga del motor, es decir mandar mayor o menor cantidad de combustible de acuerdo con la potencia que se requiere en aquel momento. También hay que conseguir mantener siempre la presión en las tuberías de impulsión que llevan el combustible al inyector, pues es evidente que si ésta elevada presión

estuviera en contacto con la cámara del mismo dispositivo de inyección tendría tendencia a regresar a la bomba de alimentación cuando el pistón estuviera en su posición más baja. Por lo tanto, las bombas en línea están constituidas por ciertos mecanismos y elementos que permiten su correcto funcionamiento, a continuación se estudiarán los principales componentes de estas bombas:

1.3.1 Mecanismo de impulsión y regulación del caudal

Figura 14. Mecanismo de impulsión y regulación del caudal (Fuente: ALONZO PEREZ, José Manuel. Técnicas del automóvil)



El mecanismo de impulsión y el de regulación de caudal actúan combinados para conseguir la dosificación de la mezcla. En la **figura 14**, se ilustra al émbolo (9) que se puede mover dentro de un cilindro (8) en virtud del mecanismo de la leva. La entrada del combustible se produce por el orificio 5 de la izquierda y por el 5 de la derecha la salida del mismo de vuelta al depósito por el conducto de rebose. Al hallarse el pistón en PMI la cámara 8 se llena de combustible y al subir el pistón tapa las lumbreras (5) obligando al líquido a vencer la presión del muelle de la válvula de impulsión (6) de forma que el líquido pasa al

tubo de impulsión (7) y desde aquí al inyector. Este es el mecanismo de impulsión.

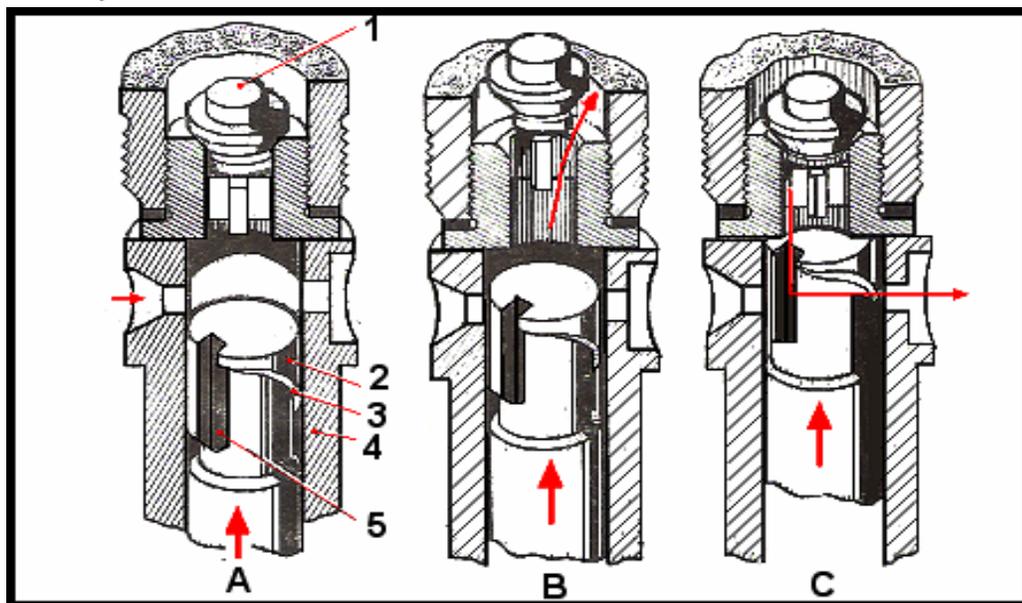
El mecanismo de regulación del caudal, consta de un manguito dentado (2) que puede desplazarse a derecha o izquierda movido por una varilla con cremallera (3) que se acopla a la corona dentada (4) que lleva labrada en su parte superior. El manguito dentado (2) sujeta por la parte inferior y por una entalla, a un talón de la pieza del pistón (1) de modo que éste, si bien puede desarrollar su carrera completa,

puede ser desplazado por el manguito (2) si a su vez, desde la cremallera (3) se modifica la posición de éste. De este modo queda claro que el pistón puede girar sobre sí mismo según la posición de la cremallera.

1.3.2 Elemento de bomba

El principio de funcionamiento⁵ de un elemento de la bomba de inyección se representa en la siguiente figura:

Figura 15. Fases de funcionamiento de un elemento de bomba
(Fuente: ALONZO PEREZ. José Manuel. Técnicas del automóvil)



A. Aspiración

B. Comienzo de inyección

C. Fin de inyección

1.Válvula de impulsión
5.Ranura vertical

2.Pistón

3.Rampa helicoidal

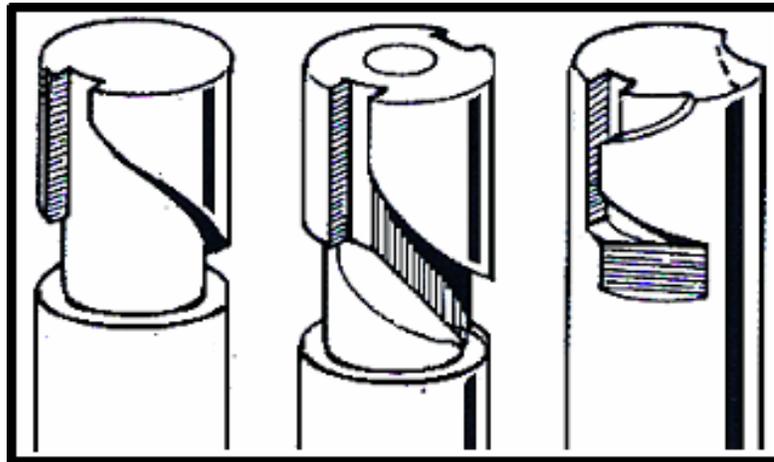
4.Cilindro

Características:

- El caudal es igual al producto de la superficie del pistón por la carrera útil.
- La variación del caudal se obtiene cambiando la orientación del pistón respecto a los orificios dispuestos en el cilindro, es decir cambiando la carrera útil.
- Su diámetro define el caudal máximo solicitado.

⁵ ALONZO PEREZ. José Manuel. Técnicas del Automóvil: Sistemas de Inyección de Combustible en los motores Diesel. 312 Pgs.

Figura 16. Fresados en la cabeza del pistón
(Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)

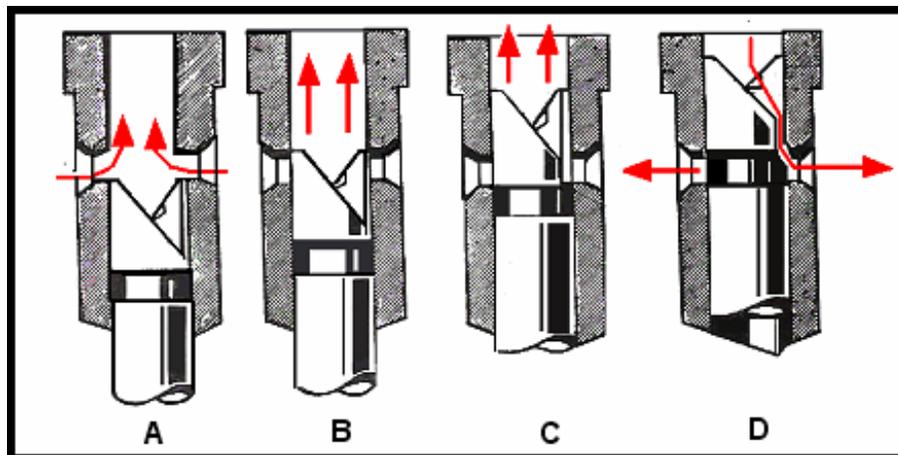


En la cabeza del pistón (**Fig. 16**) se practican unos fresados que forman una canal vertical y una rampa helicoidal que puede tener diferentes formas y permitir así funciones particulares, tales como:

a. Rampa de auto-avance

Esta disposición (**Fig. 17**) permite avanzar el comienzo de la inyección a medida que aumenta el caudal.

Figura 17. Pistón con rampa de auto-avance
(Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)

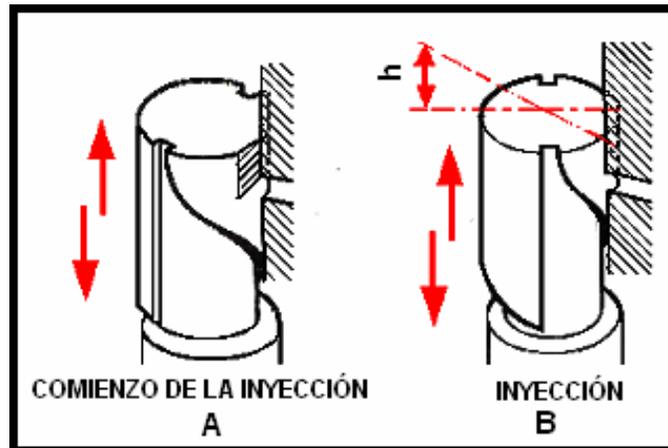


- A. Pistón en el punto muerto inferior
- B. Comienzo de la inyección
- C. Cese de la inyección
- D. Pistón en el punto muerto superior (caída brusca de la presión)

b. Ranura de retraso

Esta disposición (**Fig.18**), permite cuando el pistón está en posición de sobrecarga en el arranque, retrasar el principio de la inyección.

Figura 18. Pistón con ranura de auto-avance
(Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)

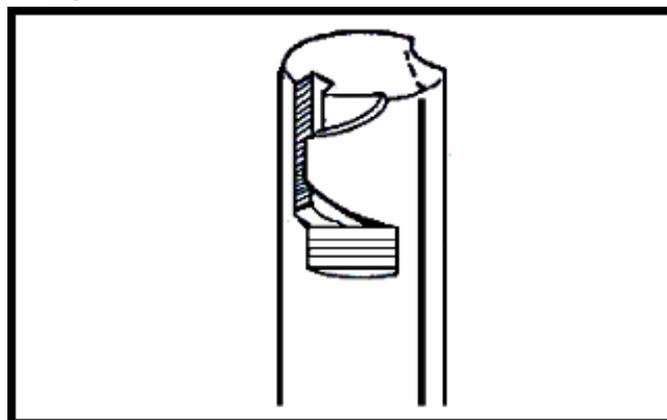


A. Posición del pistón en sobrecarga
B. Posición del pistón en marcha normal
h. Carrera del pistón que corresponde a un retraso de 6 a 8° en el motor.

c. Doble rampa helicoidal

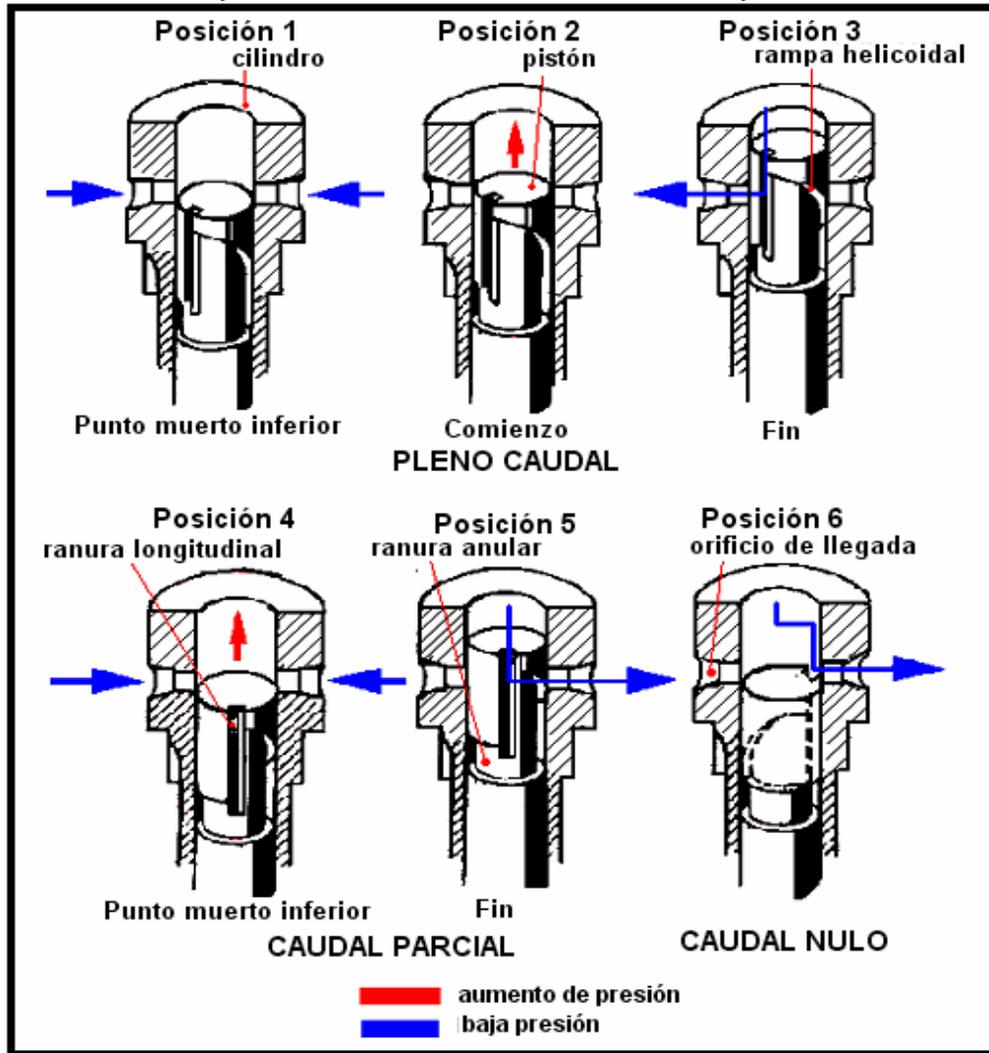
Aquí (**Fig.19**), las rampas van dispuestas una orientada hacia abajo y otra hacia arriba, la primera para conseguir una variación al final del suministro y la segunda para la variación del principio de suministro.

Figura 19. Pistón con doble rampa helicoidal
(Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)



Como se ha visto, la carrera del pistón es invariable, pero basta con modificar la posición del pistón en sentido rotatorio por medio de la cremallera, se obtiene más o menos caudal de combustible según los requerimientos del motor. Dada la presión de alimentación de combustible, al hallarse el pistón (**Fig.20**) en el PMI (**posiciones 1,4 y 6**) el combustible penetra sin dificultad a llenar la cámara de aspiración por los orificios de entrada.⁶

Figura 20. Posiciones de funcionamiento del pistón
(Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)



En cuanto el pistón inicia su carrera ascendente pasa a tapar las lumbreras de entrada de combustible (**posición 2**) y comienza a inyectar combustible a través de la válvula de impulsión hacia el conducto de salida; aunque el gasóleo baje a través de la canal fresada no hay pérdida de presión ya que las lumbreras de entrada del combustible

⁶ RALBOVSKY. E. Motores Diesel. España. Edita Paraninfo. 2000. 288p.

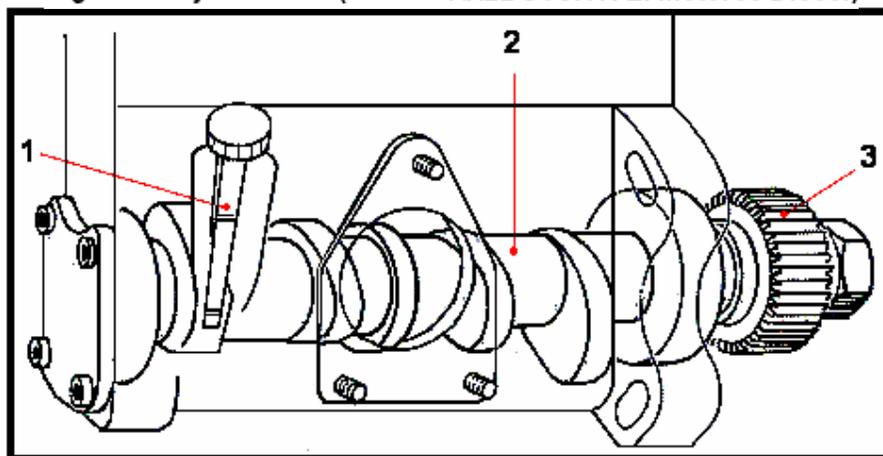
permanecen tapadas por una zona no fresada del cuerpo del pistón. La impulsión cesa en el momento en el que la rampa helicoidal descubre uno de los orificios de llegada (**posiciones 3 y 5**) porque entonces la cámara de impulsión está en comunicación con la cámara de aspiración por medio de las ranuras longitudinal y anular y el combustible es impulsado hacia la cámara de aspiración.

Al girar al pistón (**Fig.20**) y aproximar su ranura longitudinal a los orificios de entrada (**posición 5**) en este caso a la mitad de su carrera aproximadamente, se encuentra con que buena parte del combustible puede escapar a través de la rampa helicoidal hacia los orificios de entrada, consiguiendo solamente alimentar al motor para un régimen de funcionamiento a media carga o de marcha lenta. Por último, existe la posibilidad de que la ranura del pistón coincida con la lumbrera de llegada (**posición 6**), en cuyo caso la presión de combustible inyectado es nula porque escapa por la lumbrera con mayor facilidad que por la válvula de impulsión por lo que el motor se para.

1.3.3 Eje de levas

Por medio del eje de levas se produce el desplazamiento de los pistones inyectoros y el orden en el que debe efectuarse la inyección de combustible. El eje de levas (**Fig.21**) ocupa siempre la posición más baja de la bomba múltiple, va provisto de tantas levas como bombas unitarias posea el conjunto, más una excéntrica que se destina a mover la bomba de alimentación de combustible.

Figura 21. Eje de levas (Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)



1. Varilla para medir el aceite 2. Eje de levas 3. Piñón para la toma de movimiento

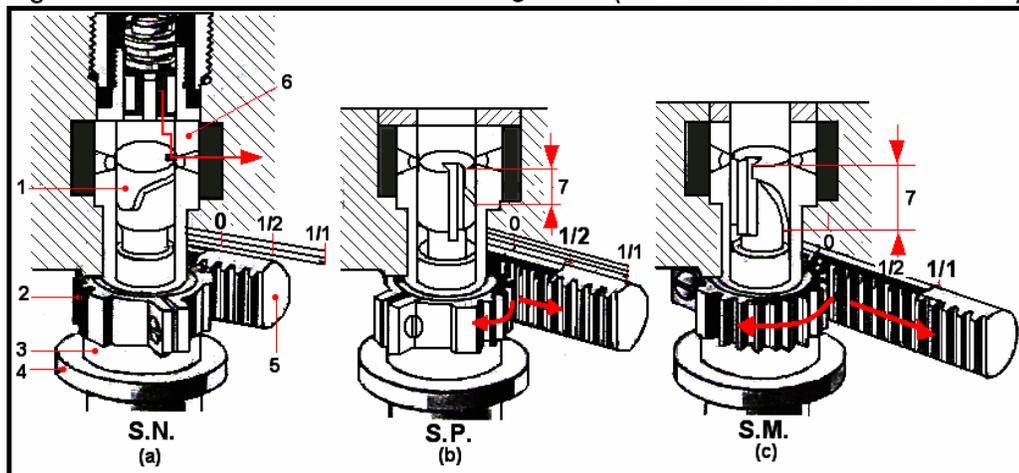
El eje de levas gira soportado por cojinetes en sus extremos y su alineación tiene que ser perfecta para conseguir la máxima precisión en el accionamiento de los pistones. El perfil de la leva permite elevar con mayor o menor rapidez cada uno de los pistones. El movimiento del eje de levas se efectúa por medio de un piñón colocado en uno de sus extremos u otro tipo de acoplamiento que se conecta con una toma de fuerza del motor mediante la cual se tenga una exacta referencia del giro del cigüeñal, de modo que el giro del eje de levas quede sincronizado con el del motor. Este elemento funciona en su pequeño cárter sumergido en aceite para conseguir reducir al máximo su desgaste.

1.3.4 Cremallera de control

La posición de la varilla de regulación (cremallera) determina la cantidad de gasóleo que se manda a los inyectores en cada inyección por los elementos de bomba. Controlando la posición de esta cremallera tenemos un sistema posible para efectuar las variaciones de carga del motor, es decir, la aceleración o desaceleración por mayor o menor aportación de combustible.

A continuación se describe el funcionamiento de la varilla de regulación provista de cremallera, en la **figura 22**, S.N. significa suministro nulo y es el momento representado en **a**. La cremallera se encuentra en posición de reposo y el pistón (1) queda encarado con su canal orientado frente a la lumbrera de rebose (6) de modo que el combustible no tiene presión.

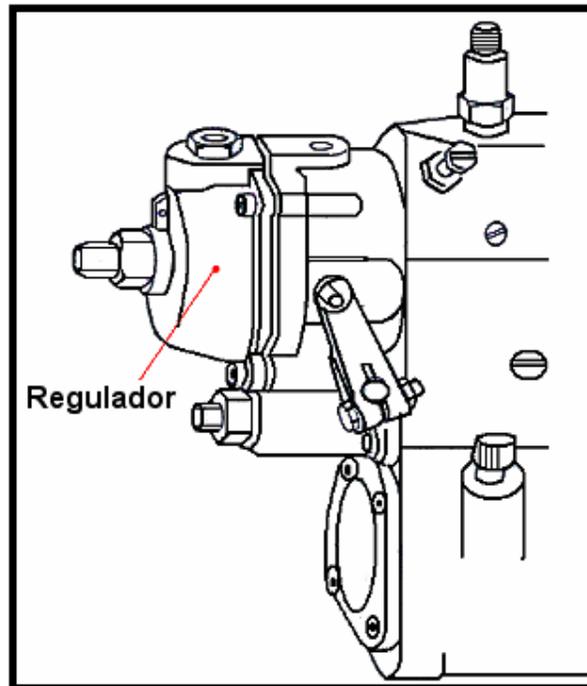
Figura 22. Funcionamiento de la varilla de regulación (RALBOVSKY. E. Motores Diesel.)



Cuando la cremallera (5) adelanta, arrastra la rueda dentada (2) con la camisa (3) modificando la posición del pistón (1) representado en **b** (S.P. Suministro parcial) de modo que la situación de la rampa helicoidal o del canal fresado ya no es la misma con respecto a la lumbrera de rebose. Ahora la cantidad de combustible inyectado será de un 50% de las posibilidades del mecanismo.

En el detalle **c** (**Fig.22**) de suministro máximo (S.M), se observa que la cremallera ha accionado al máximo a la rueda dentada (2) de modo que la carrera útil del pistón (7) es la mayor posible.⁷

Figura 23. Ubicación del regulador
(Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)



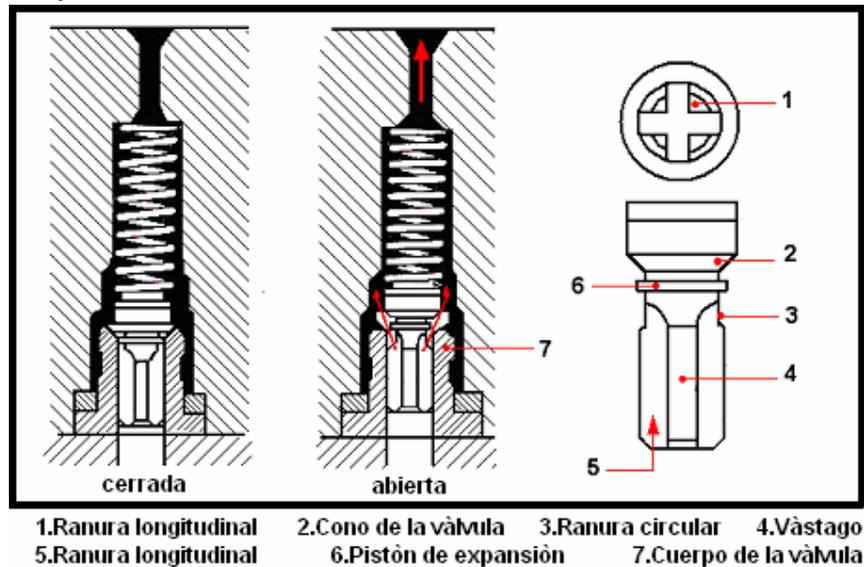
La regulación del suministro de combustible a través de la cremallera viene determinada de modo automático por el regulador (**Fig. 23**), el cual determina la posición más favorable de acuerdo con la situación de giro ó depresión del colector de admisión.

⁷ RALBOVSKY. E. Motores Diesel. España. Edita Paraninfo. 2000. 288p.

1.3.5 Válvula de impulsión

Este elemento resulta fundamental para el funcionamiento del equipo de inyección. La válvula de impulsión (**Fig. 24**) va colocada en la parte alta del cilindro de la bomba y se conoce también con el nombre de válvula de descarga, válvula de presión, de reaspiración o de distribución.

Figura 24. Válvula de impulsión en la posición abierta y cerrada (Fuente: HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel)



1.3.5.1 Función

La bomba de inyección debe obtener en cada uno de sus bombeos una elevada presión para que la pequeña cantidad de combustible que cada vez ha de inyectar tenga la suficiente fuerza para abrir la aguja del inyector y penetrar en la densa atmósfera de la cámara de combustión. Esta elevada presión se transmite a través de los tubos de impulsión por lo que éstos han de permanecer absolutamente estancos y además permanentemente llenos de líquido, es decir cebados, ya que la presión debe transmitirse a través del líquido y a gran velocidad. Para que estos tubos de alta presión estén siempre cebados es necesario contar con una válvula que impida el retroceso del combustible y que pueda mantener en el interior de los tubos el mismo exacto volumen de líquido. Así, la cantidad de combustible que penetre procedente de la bomba será la misma que saldrá por los orificios del inyector hacia la cámara de combustión, función que es cumplida por dicha válvula.

1.3.5.2 Tipos

Las válvulas de presión utilizadas en las bombas en línea suelen ser o bien de asiento (**Fig.25**) o bien de bola (**Fig.26**).

Figura 25. Válvula de Impulsión de asiento
(Fuente:HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel)

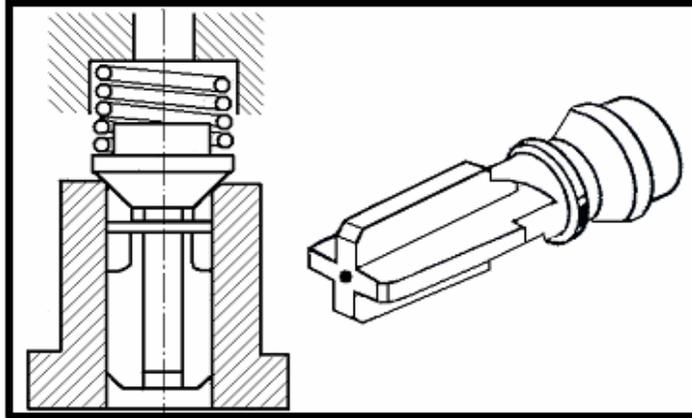
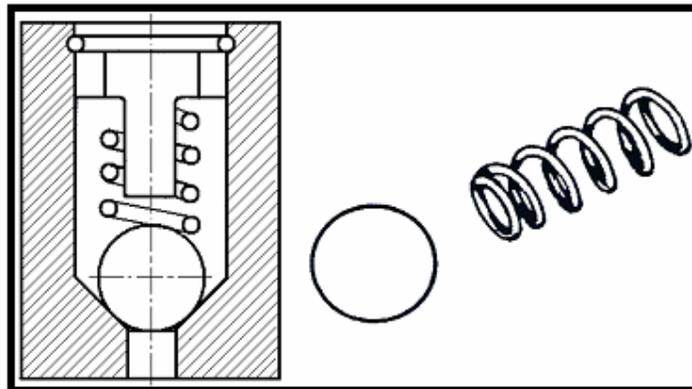


Figura 26. Válvula de Impulsión de bola
(Fuente:HERMOGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel)



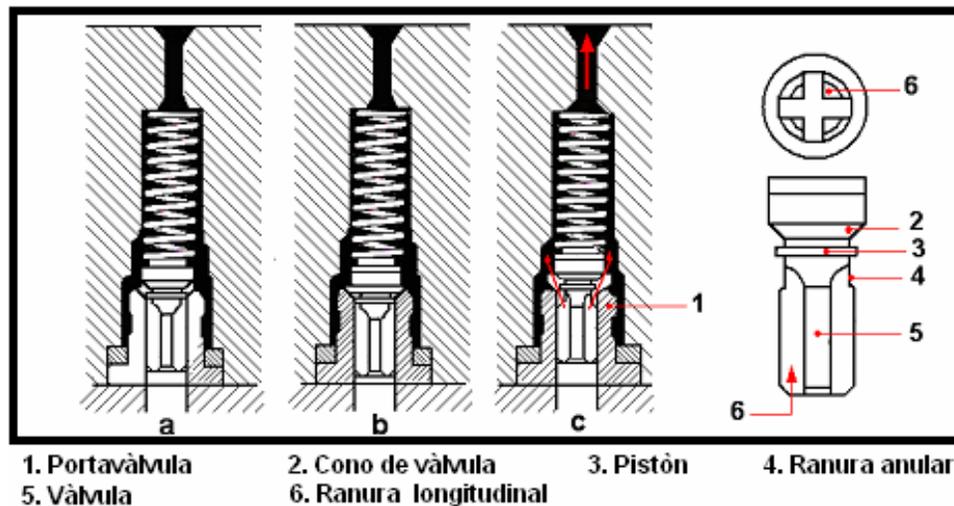
A. Válvula de asiento:

Consta de un portaválvula (1), dentro de cuyo cilindro entra ajustada la propia válvula (5). El cono de la válvula (2) y el pistón de la misma (3) forman las superficies de apoyo sobre el porta-válvulas que harán estanca la conducción cuando no hay presión por parte de la bomba, gracias a la acción de empuje que ejerce el muelle, que es otra de las piezas importantes. En la **figura 27**, se observa el momento en el que el émbolo de la bomba está produciendo una elevada presión. La válvula se abre comprimiéndose el muelle y deja penetrar la cantidad exacta de combustible que la bomba ha seleccionado de acuerdo con la posición de la cremallera y por lo tanto

de la ranura del pistón. El combustible penetra por la escotadura longitudinal (6) y a través de la ranura anular (4) sigue la dirección indicada por la flecha.

Cuando la presión de la bomba decrece por debajo de los valores del muelle se produce el cierre de la válvula impulsada por aquel. Este cierre se produce en dos etapas representadas por **a** y **b** (Fig.27). El muelle impulsa la válvula a su cierre al introducirla en el cilindro del porta-válvulas. El pistón (3) es el primero en hacer contacto con el cilindro y cerrar el paso del combustible, seguido por el apoyo del cono de la válvula que se ajusta a su vez sobre la superficie cónica (2). Esto es lo que se muestra en **b**.

Figura 27. Funcionamiento de la válvula de impulsión de asiento
(Fuente: HERMOGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel)



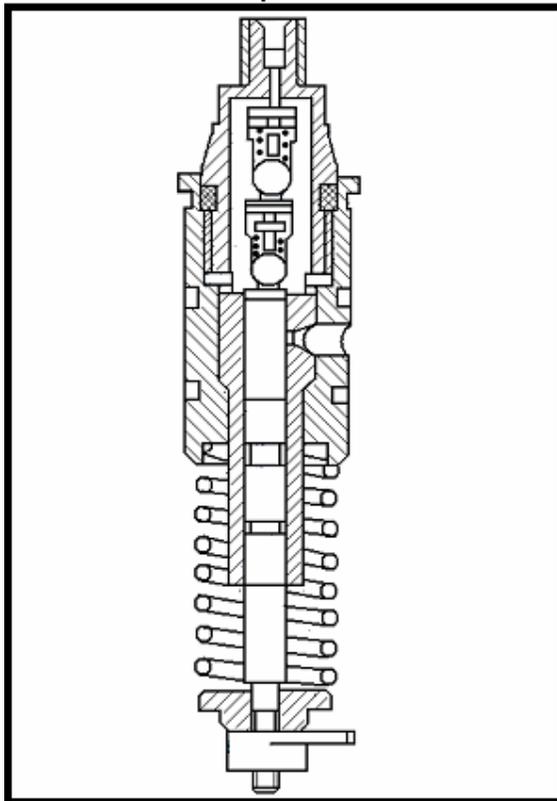
Por lo tanto, el cierre se efectúa en dos etapas lo cual responde a una necesidad funcional del mecanismo de transporte del combustible al inyector. En la primera fase de cerrado (**a**) se produce una caída de presión en el interior de la cañería de impulsión que hace posible el cierre instantáneo del inyector; mientras que en la segunda fase (**b**) de contacto con la superficie cónica (cerrado total) ha de recuperar el posible hinchamiento de la tubería para mantener la misma presión a que se halla normalmente el combustible en el interior de la cañería y el mismo volumen de combustible no debe ser variado a la espera de la próxima presión de inyección que se producirá con la entrada de la nueva cantidad de combustible. La válvula de impulsión de asiento debe destacar por la precisión del ajuste entre la válvula y el portaválvula que son fabricados y ajustados siempre emparejados y que no pueden

sustituirse independientemente sin correr riesgo de fugas. Por lo mismo tampoco pueden intercambiarse cuando se efectúe el desmontaje de estas válvulas.⁸

B. Válvula de bola:

Esta válvula al igual que la de asiento, tiene dos fases de cierre para permitir que la caída de presión que se produce en la primera fase permita el cierre del inyector, pero en la segunda fase se consigue que las cañerías recuperen su posición natural eliminando el hinchamiento de sus paredes.

Figura 28. Disposición de la válvula de impulsión de bola (Fuente: HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel)



En la **figura 28**, se tiene una disposición muy corriente de la válvula de impulsión de bola. En este caso suele disponerse de un equipo doble colocado en serie. La presencia de las dos válvulas actúa también en dos fases, al igual que lo hace la válvula de impulsión de asiento. Se cierra en primer lugar, la bola inferior produciendo la caída inicial de presión que determina el cierre del inyector. Se recupera la sobrepresión en la cañería con el cierre de la segunda bola.

⁸ HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel. Manuales técnicos del automóvil. España. Grupo editorial CEAC. 2002. 299Pgs.

1.4 Regulador de velocidad

La acción del regulador es automática y cumple las siguientes funciones:

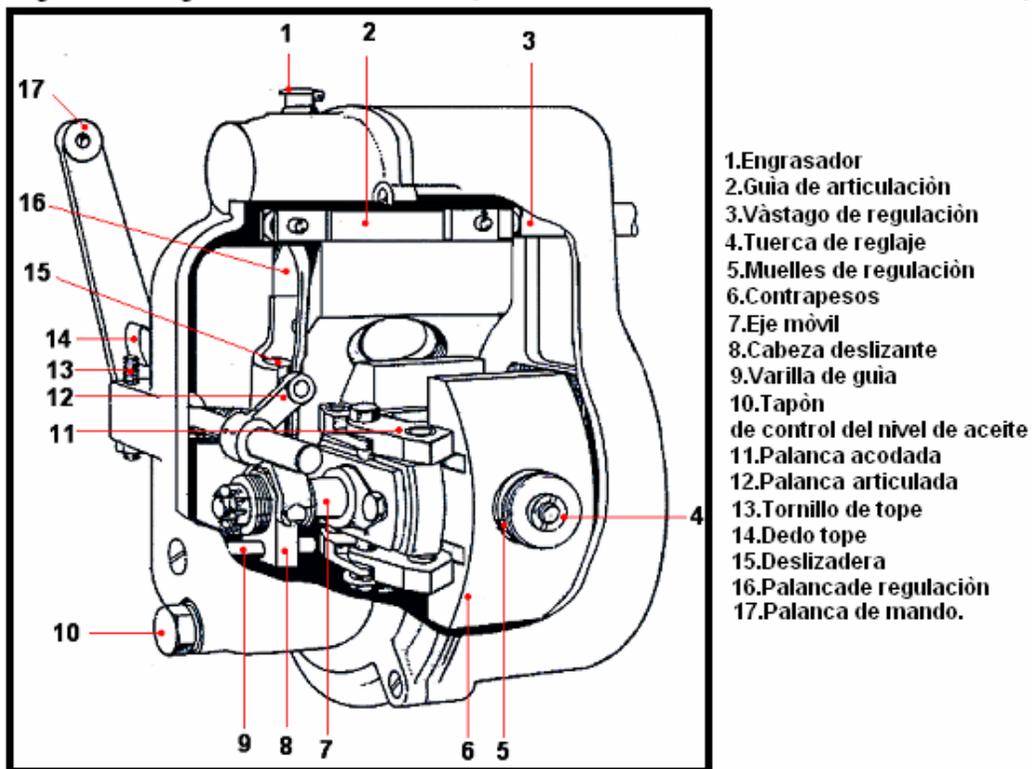
- limitación de la velocidad máxima (se trata de evitar el embalamiento)
- mantener la velocidad estable de ralentí
- mantener una velocidad intermedia, sea cual sea la carga
- puede ser el encargado de producir un sistema de parada del motor
- puede ser el encargado de proporcionar un caudal adicional de combustible para facilitar el arranque del motor.

1.4.1 Tipos

Existen tres tipos fundamentales de reguladores, estos son:

1.4.1.1 Reguladores mecánicos centrífugos

Figura 29. Regulador mecánico RQ (Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel)



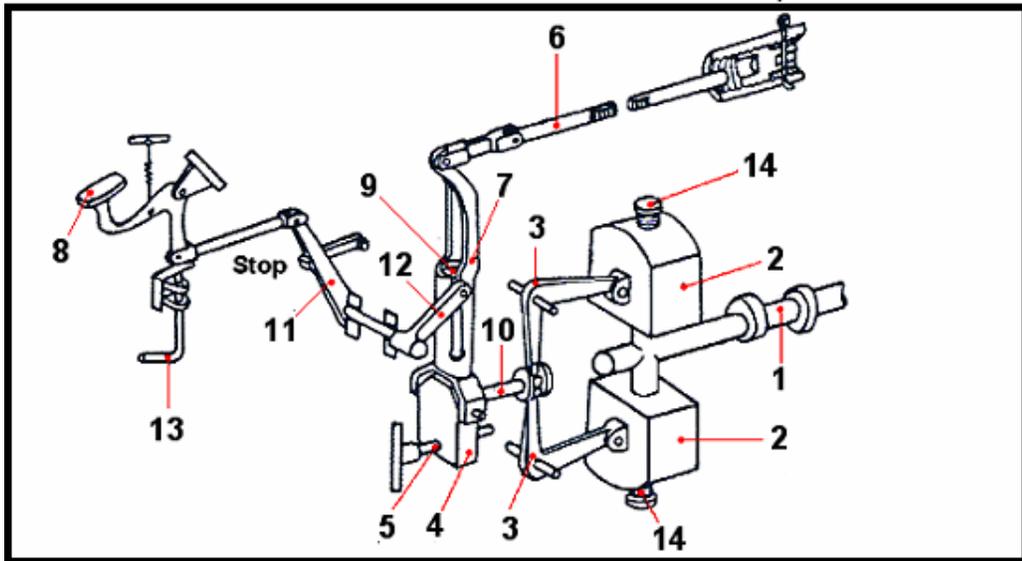
Este tipo de regulador es el más usado en las bombas de inyección en línea. El principio de funcionamiento de los reguladores mecánicos está basado en las características de la fuerza centrífuga, se trata de un sistema de contrapesos giratorios

accionados en general por el eje de levas de la bomba de inyección. Este tipo de regulador puede controlar el régimen del motor según dos sistemas principales:

a. Regulación de máxima-mínima

En la **figura 30**, se muestra en 1 el eje de levas que al girar, mueve las masas centrífugas (2) de modo que hace que estas puedan desplazarse a través de su eje, en cuyos extremos unos muelles regulan y amortiguan el desplazamiento. Las palancas anulares (3) atraen o empujan la pieza deslizante (4) provista de un perno guía (5). Este movimiento es transmitido a través de la palanca de regulación (7) a la varilla cremallera de la bomba (6) desde donde ejerce la función de modificación del caudal.

Figura 30. Esquema de un regulador mecánico en posición de paro del motor
(Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel)

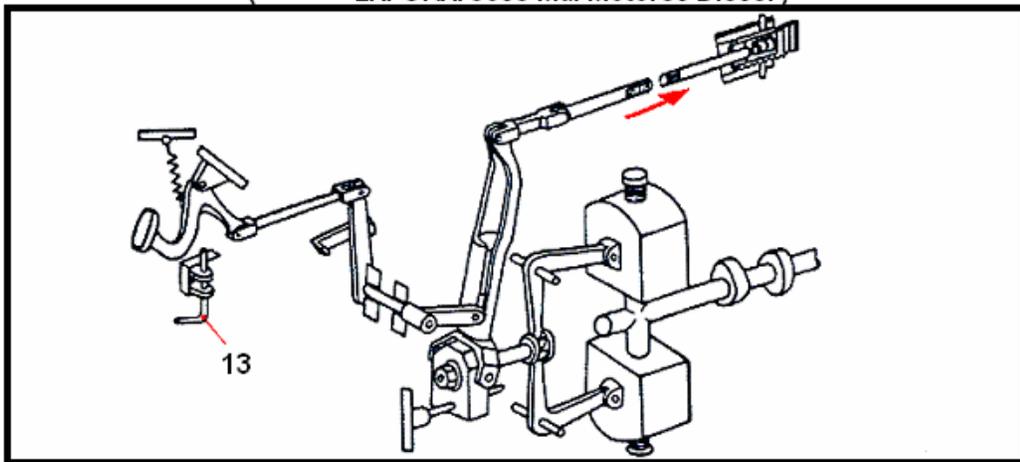


La intervención del conductor se establece a partir del pedal acelerador (8) cuyo desplazamiento a través de las palancas (11) y (12) va a parar también a la palanca de regulación (7). En este punto se encuentra la base de la intervención del doble sistema ya que por medio de la corredera (9), que representa un punto de articulación variable, la orden dada por el pedal acelerador del conductor (8) no se transmite directamente a la cremallera de dosado (6) si no por un estado de equilibrio proporcionado por el estado en que se encuentra la velocidad de giro del regulador. Así, la palanca (12) puede deslizarse a lo largo de la corredera (9) pero su accionamiento de la cremallera de dosado (6) depende también de la posición

adoptada por el manguito (10) directamente accionado por las palancas angulares (3) de las masas centrífugas. Por otra parte se observa como el acelerador está regulado por un tope (13), llamado en marcha en vacío, cuya posición determina el caudal mínimo de combustible necesario para mantener el motor con su giro a ralentí. También se encuentra en la palanca (11) un tope (stop) para el paro del motor.⁹

Para poner el motor en marcha se debe pisar el acelerador a fondo en este sistema. Como el motor aún no funciona el regulador no actúa y esto da lugar a una posición similar a la que representa la **figura 31**. El juego de palancas intermedias del pedal hacen que la última de estas palancas se deslice por la corredera hasta su tope, y la cremallera de dosado se desplace en el sentido de la flecha de modo que quede en posición de alimentación máxima. El tope de marcha en vacío (13) se conecta disparándose hacia arriba y evitando así que el pedal pueda volver a su posición de reposo. Este tope es automático en la mayoría de los casos.

Figura 31. Esquema de un regulador mecánico en la posición de arranque del motor (Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel)



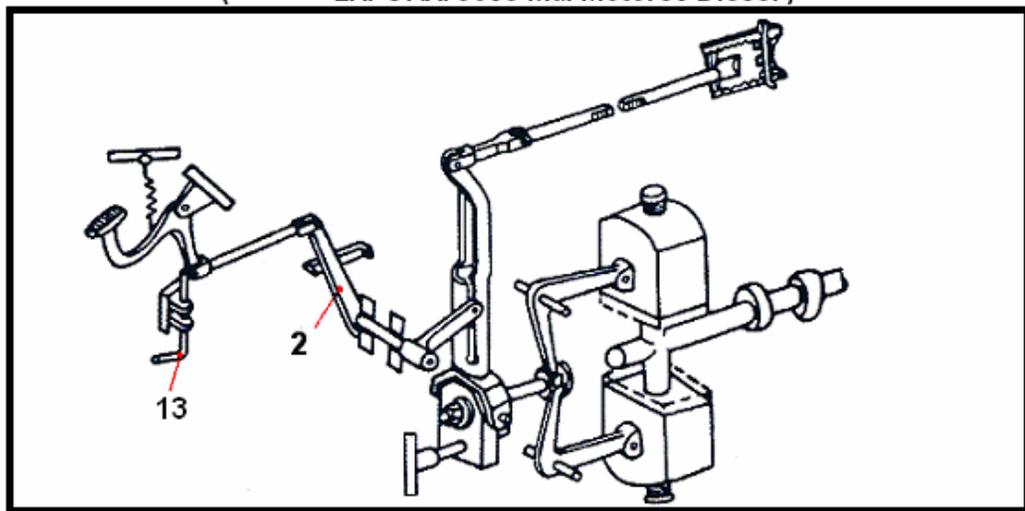
En cuanto el motor comienza a girar, la bomba de inyección comienza a girar también e inyecta la cantidad de combustible necesaria para la puesta en marcha del motor térmico. Cuando éste arranca, el conductor deja libre el acelerador con lo que éste vuelve a su posición de reposo arrastrando al conjunto de palancas que son solidarias de él. Por consiguiente, la cremallera regresa a su posición próxima a la de reposo manteniendo el bombeo de una cantidad mínima de combustible para

⁹ LAFORA. Ma Jose. Motores Diesel. Madrid. 198pags. 2 da Edición

aguantar la velocidad de marcha lenta. Todo esto lo ha hecho posible el tope de marcha en vacío (13) disparándose de modo que el acelerador ya no pueda regresar a la posición de stop. Esta es la situación que presenta la **figura 32**. El desplazamiento del tope de marcha en vacío impide a la palanca intermediaria (2) regresar a su posición máxima de reposo con lo que se establece una determinada posición de la cremallera que corresponde a ralentí.

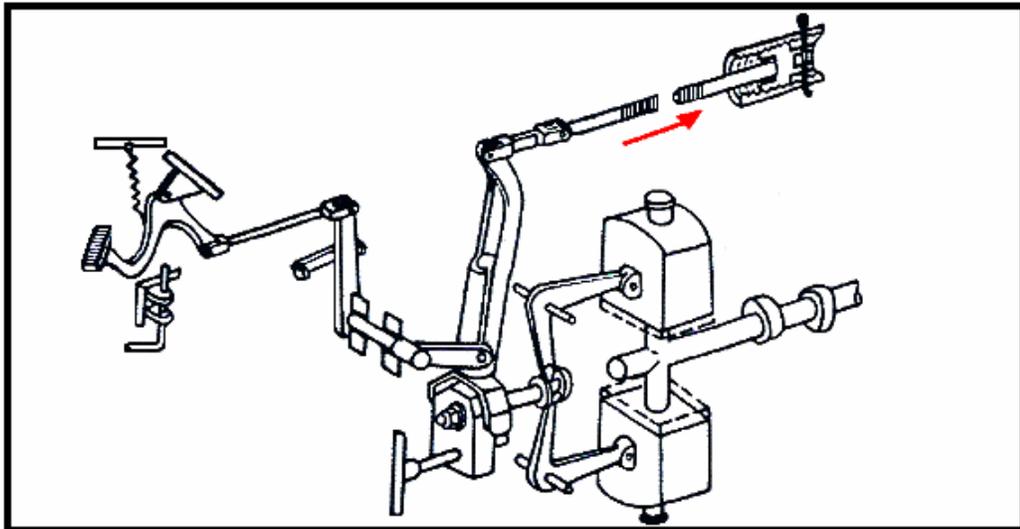
En la **figura 32**, se puede observar que las masas polares ya han comenzado a desplazarse puesto que están sometidas al giro de la marcha lenta. Aquí el regulador ya comienza a modificar la posición relativa de la palanca de regulación (7 en la **Fig.30**) para obtener un suministro que proporcione un giro estable al motor.

Figura 32. Esquema de un regulador mecánico en la posición de ralenti
(Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel)



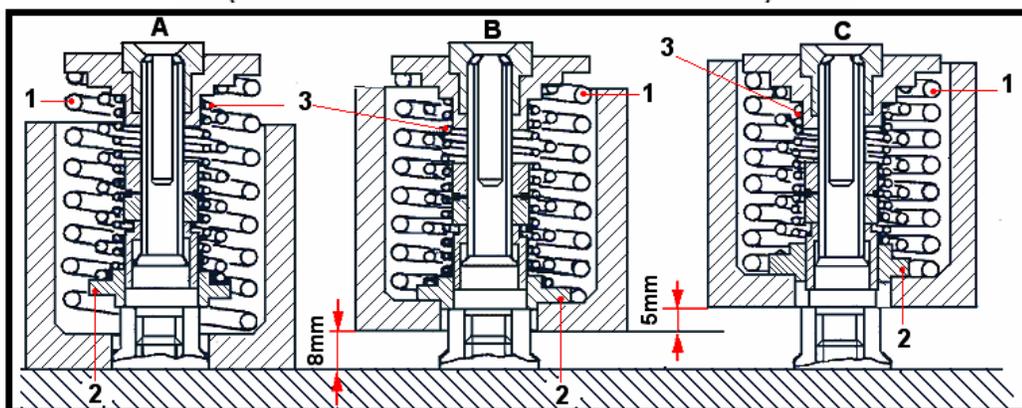
En la **figura 33**, se observa al regulador actuando cuando el motor se encuentra en régimen máximo. Para llegar a este punto el conductor ha ido pisando el acelerador hasta conseguir que el motor desarrolle cada vez más potencia. Esta aceleración ha provocado el aumento del régimen de giro del eje de levas de la bomba y con ello el desplazamiento de las masas centrífugas, pero éstas son frenadas por unos platillos que intervienen en la regulación de máxima carga, de modo que se permite el progresivo aumento de las rpm del motor hasta alcanzar un límite en el que los muelles reguladores, colocados en el interior de las masas centrífugas impiden sobrepasar el régimen máximo.

Figura 33. Esquema de un regulador mecánico en la posición de régimen máximo
(Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel.)



Los muelles reguladores están colocados en el interior de las masas centrífugas, las cuales están huecas. En la **figura 34**, se observan los diferentes momentos de funcionamiento de los muelles reguladores. En **A** se tiene la posición de reposo, en la que el motor se halla parado, la masa centrífuga permanece en la posición tope de cerrado gracias a la acción del muelle (1) que es el encargado de regular la marcha en vacío. En **B** se produce la regulación general de la marcha en vacío, la masa centrífuga se ha desplazado hacia arriba en el orden de unos 8mm y queda a tope con el platillo (2) sin llegar a vencer la resistencia de los muelles interiores (3). Finalmente en **C** se observa el efecto producido si la velocidad de giro aumenta aún más, la masa puede llegar a desplazar el platillo (2) y controlar su desplazamiento de acuerdo con el equilibrio creado entre la fuerza centrífuga que los hace girar y la fuerza antagonista de los muelles interiores (3). Ahora se está produciendo la

Figura 34. Funcionamiento de los muelles reguladores
(Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel)



Finalmente en **C** se observa el efecto producido si la velocidad de giro aumenta aún más, la masa puede llegar a desplazar el platillo (2) y controlar su desplazamiento de acuerdo con el equilibrio creado entre la fuerza centrífuga que los hace girar y la fuerza antagonista de los muelles interiores (3). Ahora se está produciendo la

regulación del régimen máximo, que puede oscilar entre los 5mm más de que consta la carrera máxima de las masas centrífugas.

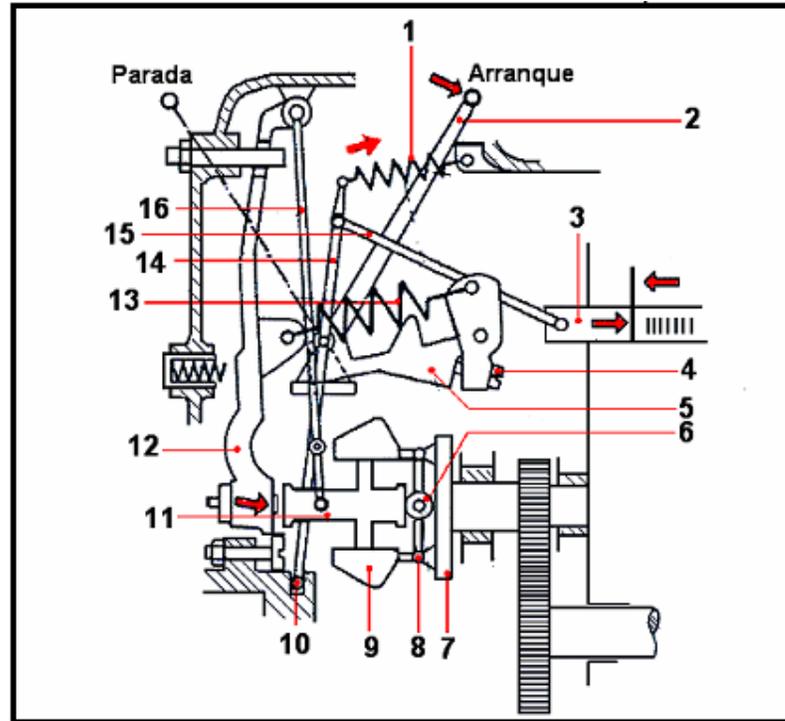
En la **figura 29** vista anteriormente, se muestra la disposición de un regulador de máxima – mínima tal como es en la realidad. En donde el eje de levas mueve las masas centrífugas (6), las cuales a través de las palancas angulares (11) actúan sobre el manguito (8) con su guía (9), todo ello por mediación del vástago (7) de unión del manguito y del regulador. En 16 se observa la palanca de regulación o ajuste y en 15 la corredera que se desliza por el interior de la misma por acción de la palanca (12) solidaria del varillaje del acelerador, cuyo extremo (17) corresponde a la palanca intermedia de mando. En 14 y 13 se tiene el tope de la palanca anterior fijada por su tornillo y contratuerca. También en 3 se identifica a la cremallera accionada a través de la bieleta (2) por la palanca reguladora (16). El tope de regulación de las masas polares se observa en 4 mientras y en 5 los hilos de sus muelles. En 1 se divisa el engrasador para el llenado de aceite del mecanismo y en 10 el tapón de vaciado o purga.

b. Regulación de velocidad continua

Estos reguladores controlan en todo momento el funcionamiento de la cremallera de dosado. En la **figura 35**, se muestra un esquema de los mecanismos de este regulador. Las masas centrífugas (9) basculan sobre pernos sujetos al buje (7), y al oscilar hacia fuera se separan de los extremos del manguito con guía (11) a la vez que lo presionan desde el rodillo (6) basculando desde los puntos móviles de sujeción de las palancas angulares (8). El manguito con guía (11) solamente tiene movimiento axial, está acoplado por medio de una articulación con la palanca de guía (16) que se halla suspendida en forma oscilatoria desde la tapa del regulador por el perno soporte, impidiéndose así la posibilidad de giro. A esta misma palanca está sujeta la palanca de regulación (14) cuyo extremo inferior va fijado por un pitón (10) mientras el otro extremo está fijado a una bieleta (15) directamente solidaria de la cremallera (3) de la bomba. De este modo cualquier movimiento proporcionado al manguito con guía (11) repercutirá, a través de la palanca (14) sobre la biela (15) y

consecuentemente, sobre el movimiento de la cremallera que es la encargada de determinar el caudal de combustible.¹⁰

Figura 35. Esquema de un regulador de velocidad continua
(Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel)

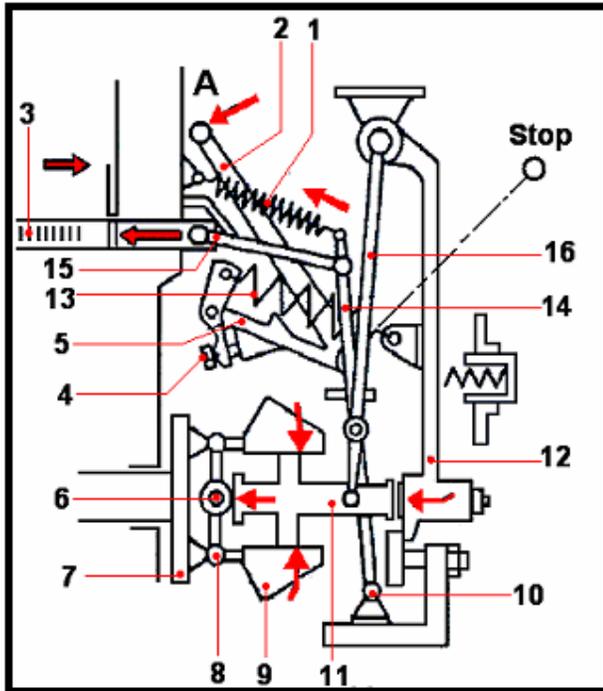


El resto de palancas y muelles que se observan en la figura, sirven para controlar los movimientos descritos. El muelle de arranque (1) está sujeto por un lado al cuerpo del regulador y por el otro a la palanca de regulación (14). Solamente actúa cuando el número de rpm del motor es inferior al correspondiente para la velocidad de giro de marcha lenta, obligando a la palanca en el sentido de la flecha. Ahora entra en acción otra de las piezas importantes de este conjunto, la palanca tensora (12) que se halla montada sobre el mismo soporte que el extremo de la palanca de guía (16). Al tensar el muelle regulador (13) se aprieta esta palanca sobre el perno de ajuste hasta equilibrar la fuerza centrífuga con la del muelle, si el motor está en marcha. La palanca oscilante (5) está apoyada en la tapa del cuerpo del regulador y unida formando una sola pieza, con la palanca de ajuste (2). La tensión del muelle regulador (13) se logra accionando la palanca de ajuste, que a su vez va conectada por medio de otro juego de palancas, al pedal acelerador. La tensión del muelle (13) puede verse variada ajustando el tornillo de reglaje (4).

¹⁰ LAFORA. Ma Jose. Motores Diesel. Madrid. 2 da Edición. 198pags.

* Posición de arranque: (Fig. 36)

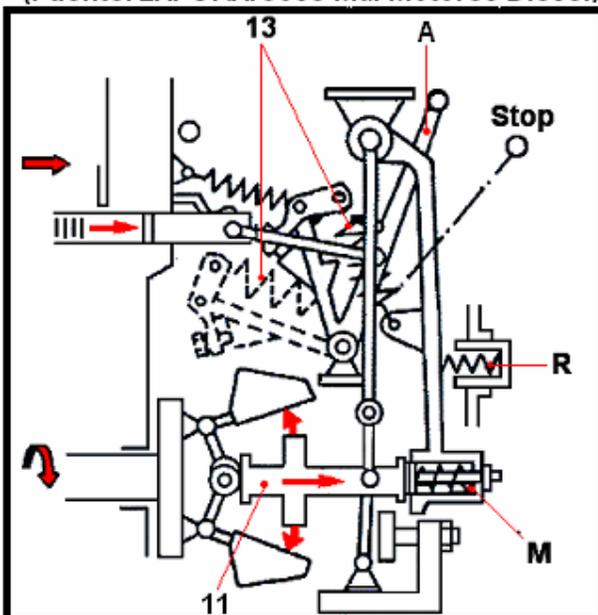
Figura 36. Esquema de un regulador continuo en la posición de arranque del motor.
(Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel)



Cuando el conductor acciona la palanca de arranque (A), la cremallera de dosado (3) se halla en posición de plena carga facilitando la máxima aportación de combustible.

* Posición de marcha en vacío: (Fig.37)

Figura 37. Esquema de un regulador continuo en la posición de marcha en vacío.
(Fuente: LAFORA. José Ma. Motores Diesel)

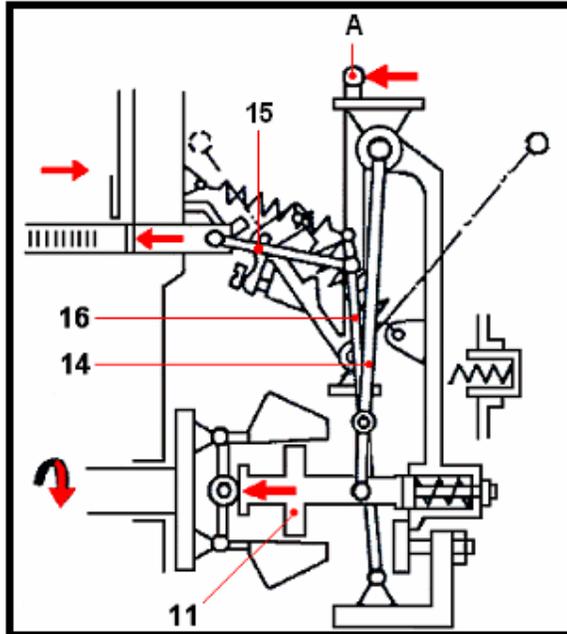


En cuanto el motor arranca el conductor pone la palanca de ajuste (A) en posición de marcha en vacío. El muelle regulador (13) se afloja y facilita el desplazamiento del perno de ajuste y el manguito con guía (11) siguiendo la dirección de las flechas. Los muelles adicionales (M) y (R) de marcha en vacío tienen la particularidad de ayudar a

inyectar más combustible cuando el motor está funcionando en vacío.¹¹

* **Funcionamiento normal:** (Fig. 38)

Figura 38. Esquema del regulador continuo en la posición de media carga del motor
(Fuente: HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección Diesel)

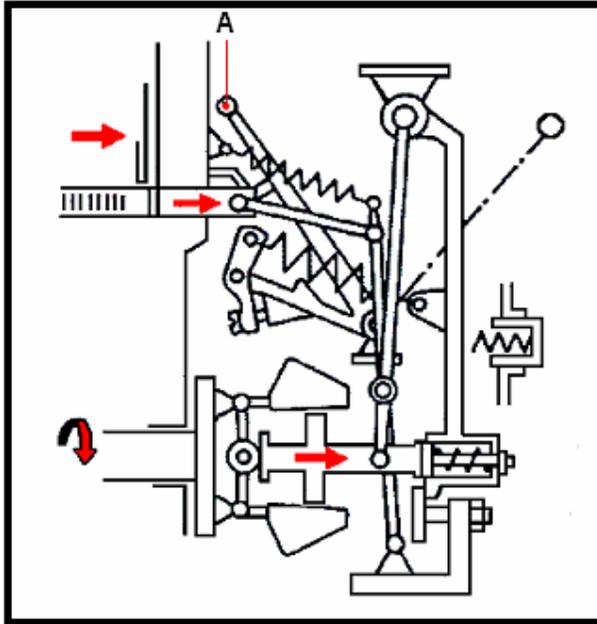


Partiendo de la posición de marcha en vacío y por medio del acelerador, el conductor lleva la palanca de ajuste (A) a la posición que indica la figura. Como consecuencia de ello aumenta la tensión del muelle regulador obligando a moverse a la palanca tensora hasta el tope de plena carga. Entonces la palanca aprieta sobre el perno de ajuste y el manguito con guía (11) y los desplaza con dirección al cuerpo de la bomba de inyección. La palanca de guía (16) y la de regulación (14) transmiten el desplazamiento a la cremallera que es impulsada a la posición de plena carga. Cuando el giro del motor aumenta y con ello la fuerza centrífuga, oscilan hacia fuera las masas y desplazan nuevamente el manguito con guía (11) con el perno de ajuste, la palanca de regulación y la varilla cremallera hacia la posición de menor caudal de suministro. Oscilando entre estas dos fuerzas el regulador se encarga de establecer una posición estable para el motor.

¹¹ HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel. Manuales técnicos del automóvil. España. Grupo editorial CEAC. 2002. 299Pgs.

* Posición de plena carga (Fig.39)

Figura 39. Esquema de un regulador continuo en la posición de plena carga del motor
(Fuente: HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel)



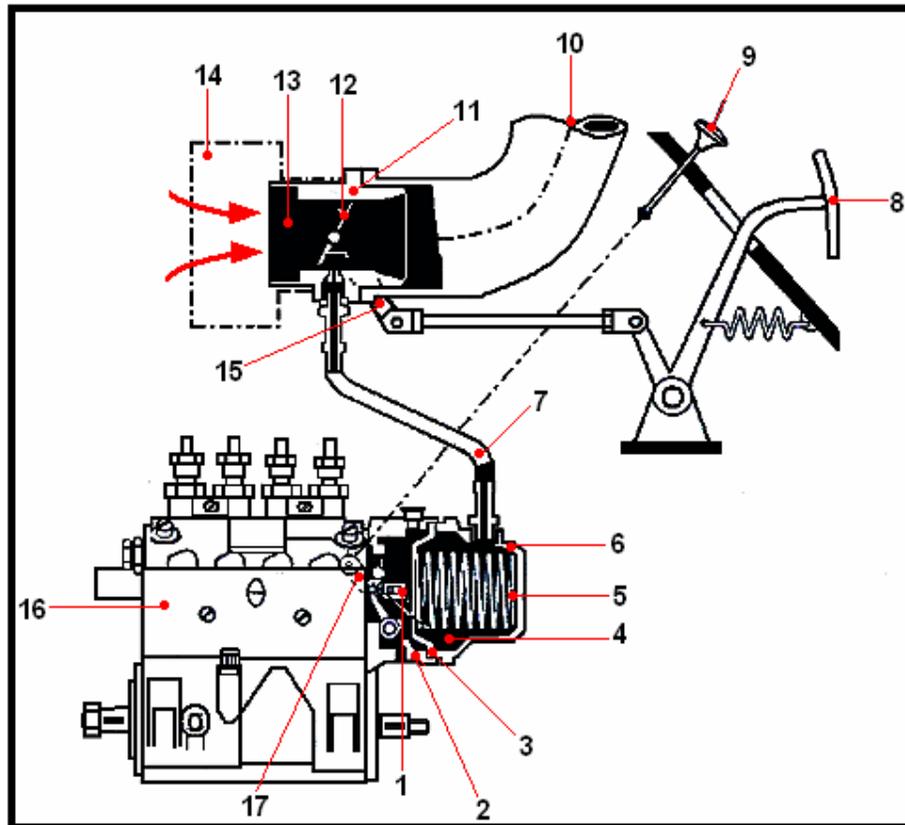
Si se lleva la palanca de ajuste (A) a la posición de máximas rpm, el regulador tensa completamente el muelle regulador tirando, por consiguiente, con más fuerza y llevando a la cremallera a plena carga.

1.4.1.2 Reguladores neumáticos

En los motores Diesel pequeños utilizados en furgonetas o automóviles que van provistos del sistema de bomba en línea se acude también con mucha frecuencia al uso de los reguladores neumáticos. Estos reguladores trabajan actuando sobre la cremallera de dosado de acuerdo al grado de depresión que existe en el colector de admisión.

En la **figura 40**, se observa una cámara (2) que se encuentra siempre a la presión atmosférica en una de sus partes. Esta cámara se encuentra dividida en dos zonas por medio de una membrana elástica (3), produciendo una separación estanca entre la cámara de depresión (4) y la cámara atmosférica (2), lleva en su parte central solidario un mecanismo de sujeción de la varilla de cremallera (3). El muelle (5) mantiene a la membrana (3) en su posición extrema.

Figura 40. Esquema de funcionamiento de un regulador neumático
(Fuente: HERMOGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel)



La caja (6) tiene un orificio que la pone en contacto con un tubo (7) que la conecta a un difusor que se encuentra en el tubo de admisión (13) de modo que toda corriente de aire que circule a través de este difusor (11) producirá una depresión a través de este tubo que robará aire de la cámara de depresión (4) con lo que la membrana (3) se contraerá hacia el interior de la cámara y arrastrará con ello a la cremallera (1) de acuerdo con las variaciones de depresión que se produzcan en el difusor.

El sistema de mando cuenta con un pedal acelerador (8) que actúa directamente sobre una válvula de mariposa (12) y según la posición de ésta deja pasar mayor o menor cantidad de aire. Esto origina diferentes valores de depresión en el tubo (10) que se transmiten a la cámara de depresión del regulador (6) por medio del tubo (7), así la membrana (3) se acerca o encoge arrastrando con ella a la cremallera (1), determinando el caudal que puede ir a los inyectores.

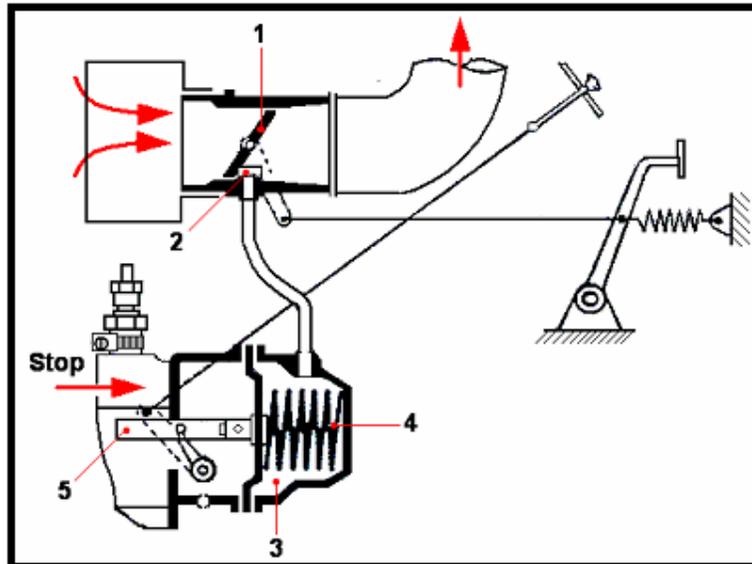
El sistema de paro consta de un mando (9) que tiene contacto con una palanca (17) que actúa sobre la cremallera independiente de la membrana, poniéndola en situación de combustible nulo, con lo que el motor se para. Otros elementos son: el filtro de aire (14), la palanca de mando de la mariposa (15) y la bomba de inyección (16).

Las posiciones de funcionamiento de este regulador son:

a. Posición de marcha en vacío:

En esta posición (**Fig. 41**), la mariposa (1) se halla cerrada por lo que la corriente de aire que circula solamente puede pasar a través de un pequeño orificio que se halla en su cuerpo. El aire es obligado a pasar por el difusor suplementario (2) por lo que el valor de la depresión es muy alto en este punto. Esta depresión succiona el aire que se encuentra en la cámara de depresión (3), la membrana vence la presión del muelle (4) y se contrae atrayendo con ella a la varilla de cremallera (5) de modo que el caudal proporcionado por la bomba está de acuerdo con la depresión reinante en 2.

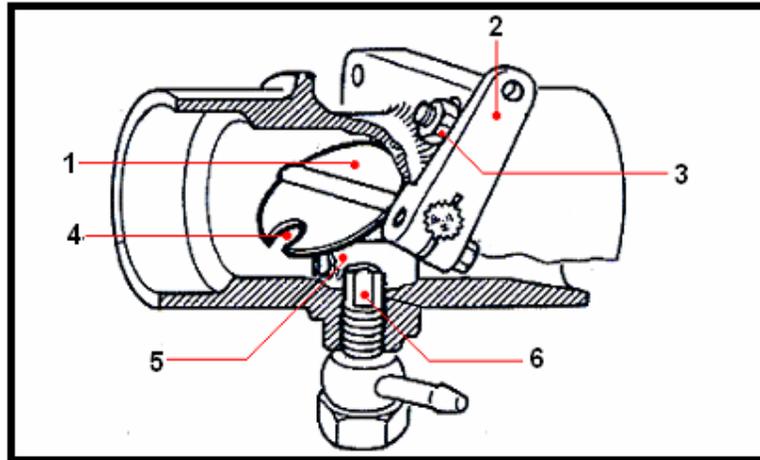
Figura 41. Esquema del regulador neumático en la posición de marcha en vacío.
(Fuente: HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel)



En la **figura 42**, se observa la válvula de mariposa (1) que puede girar movida por la palanca (2) solidaria del pedal acelerador y provista con un tornillo de tope (3) para su reglaje. En el extremo de la mariposa podemos ver el orificio (4) por medio del

cual no se cierra totalmente el paso del aire. Este orificio coincide con un difusor adicional (5) debajo del cual se encuentra la toma de depresión (6) que actúa sobre la cámara de depresión del regulador.¹²

**Figura 42. Válvula de mariposa de un regulador neumático
(Fuente: HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel)**



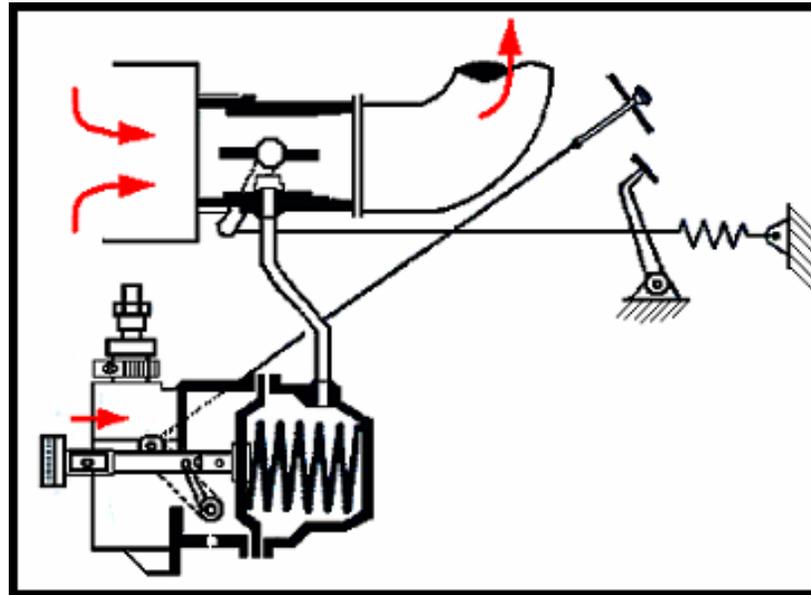
La regulación es la siguiente: si el motor tiende a embalsarse consume más aire y la depresión en el difusor adicional (5) aumenta por lo que la cremallera es atraída por la membrana y el caudal de suministro de la bomba disminuye. En el caso contrario, si el motor tiende a reducir su velocidad, su consumo de aire es menor y el valor de la depresión desciende de forma que la membrana se distiende ligeramente y empuja a la varilla de cremallera hacia una mayor alimentación de combustible. El juego entre estas dos fuerzas determina la regulación estable de la marcha en vacío.

b. Posición de marcha normal y máxima:

En la **figura 43**, se puede ver que la mariposa está totalmente abierta y la depresión en el difusor suplementario es ahora mínima debido a que el aire circula libremente por el conducto de admisión. El muelle vence la presión de la membrana y empuja a la cremallera hacia su posición de máximo caudal.

¹² HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel. Manuales técnicos del automóvil. España. Grupo editorial CEAC. 2002. 299Pgs.

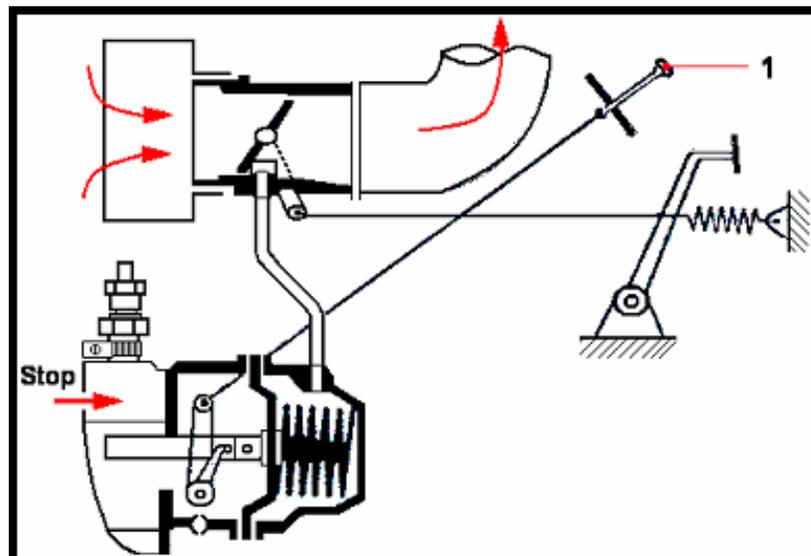
Figura 43. Esquema de un regulador neumático en la posición normal y de máxima del motor
(Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)



c. Posición de paro: (Fig. 44)

El pulsador (1) arrastra a la palanca de paro y ésta coloca a la varilla de cremallera en la posición de caudal nulo.

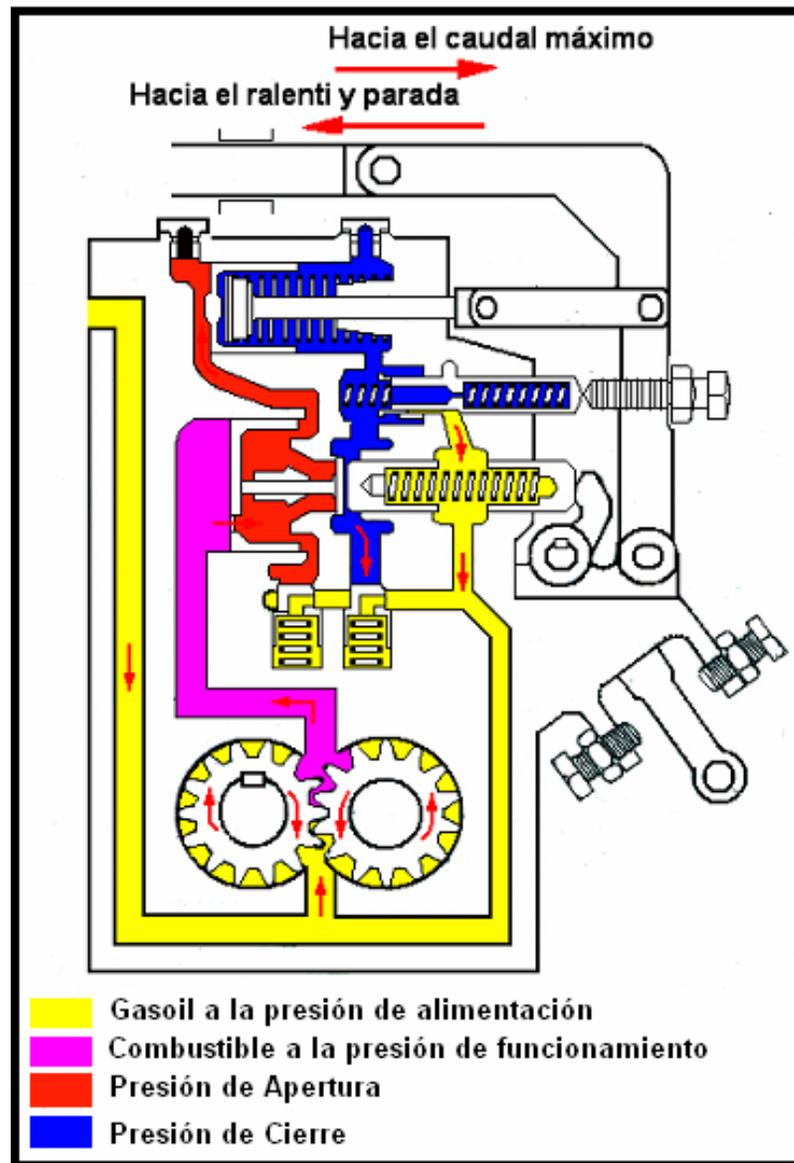
Figura 44. Esquema de un regulador neumático en la posición de paro del motor
(Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)



1.4.1.3 Reguladores hidráulicos

Este tipo de reguladores,¹³ son empleados en las bombas de inyección rotativas. Por tal motivo no serán tema de estudio en el presente trabajo. Sin embargo como referencia en la **figura 45**, se tiene un esquema de funcionamiento de este tipo de reguladores.

Figura 45. Esquema de funcionamiento de un regulador hidráulico (tipo fuga)
(Fuente: RALBOVSKY. E. Motores Diesel)



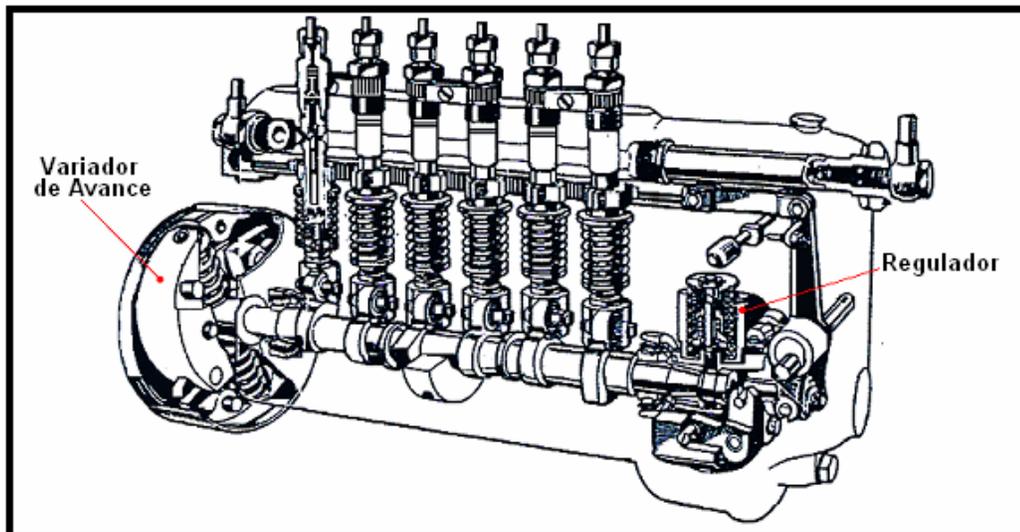
¹³ RALBOVSKY. E. Motores Diesel. España. Edita Paraninfo. 2000. 288p.

1.5 Variador de avance a la inyección

El variador de avance es un dispositivo por medio del cual se logra modificar automáticamente el calado de la bomba según la velocidad de giro del motor, de modo que cuanto más deprisa gire éste antes se produzca el punto de inicio de la inyección para dar tiempo a que la combustión se produzca en el PMS del émbolo del motor.

En la **figura 46**, se puede ver una bomba de inyección en línea seccionada, en donde en un extremo del árbol de levas va colocado el mecanismo que constituye el variador de avance. Se trata de un dispositivo automático que funciona por el principio de las masas centrífugas y está colocado entre el eje de levas de la bomba y la toma de fuerza de arrastre de la misma procedente del cigüeñal. De este modo se puede producir una variación de la sincronización, que da como resultado una variación en el momento de iniciarse la inyección en el motor.

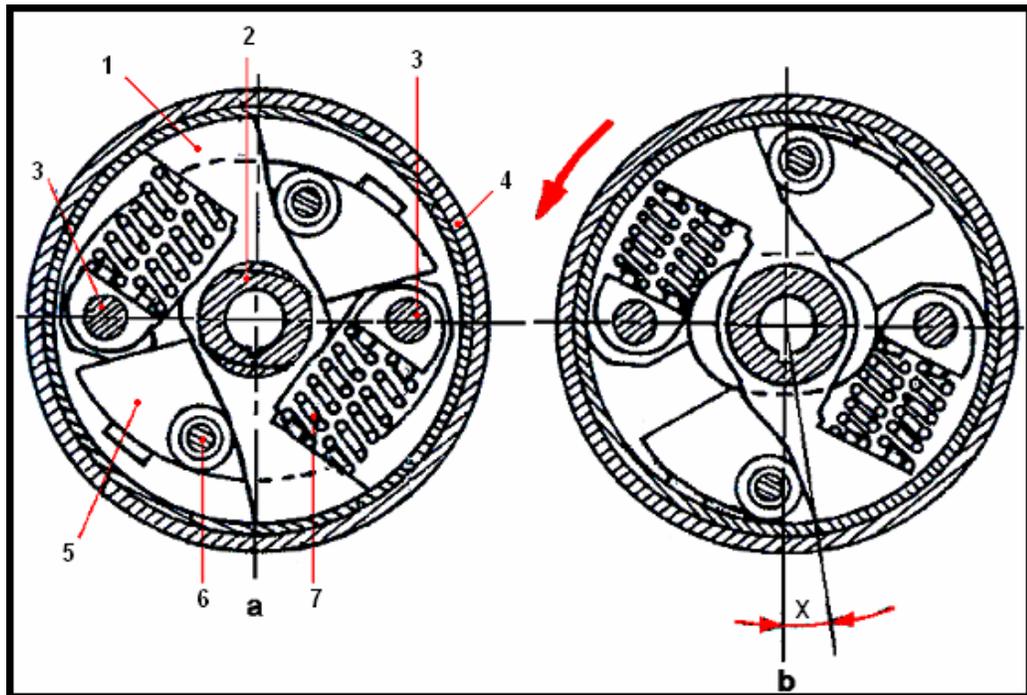
Figura 46. Ubicación del mecanismo variador de avance en la bomba de inyección
(Fuente: HERMOGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel)



El eje de levas va sujeto al cubo del variador y es arrastrado por él por medio de un mecanismo que se observa en la **figura 47**. En el detalle **a**, el variador no actúa y en el detalle **b**, se halla en la posición de avance máximo. Este dispositivo consta de: un disco de avance (1) sobre el que se adaptan los muelles (7) de las masas centrífugas

(5). El disco es solidario en su parte central del cubo (2) al que va sujeto el eje de levas, además se tiene el cuerpo del variador al que no va sujeto directamente el disco ya que es el encargado de recibir la fuerza de arrastre que sincroniza la bomba de inyección con el giro del cigüeñal. Entre el disco (1) y el cuerpo del variador (4) existen las masas polares (5) sujetas al cuerpo desde unos pivotes de articulación (3) que están fijos al cuerpo; el movimiento de arrastre debe ser transmitido al disco (1) a través de los contrapesos (5).¹⁴

Figura 47. Esquema del mecanismo variador de avance
(Fuente: HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel)



Los contrapesos van provistos de unos rodillos (6) cada uno de los cuales puede desplazarse más o menos de acuerdo al giro del motor, a través del perfil del disco (1). Por la parte opuesta, el contrapeso dispone de unos muelles (7) que se apoyan directamente sobre el disco (1) para amortiguar y suavizar los desplazamientos de los rodillos (6).

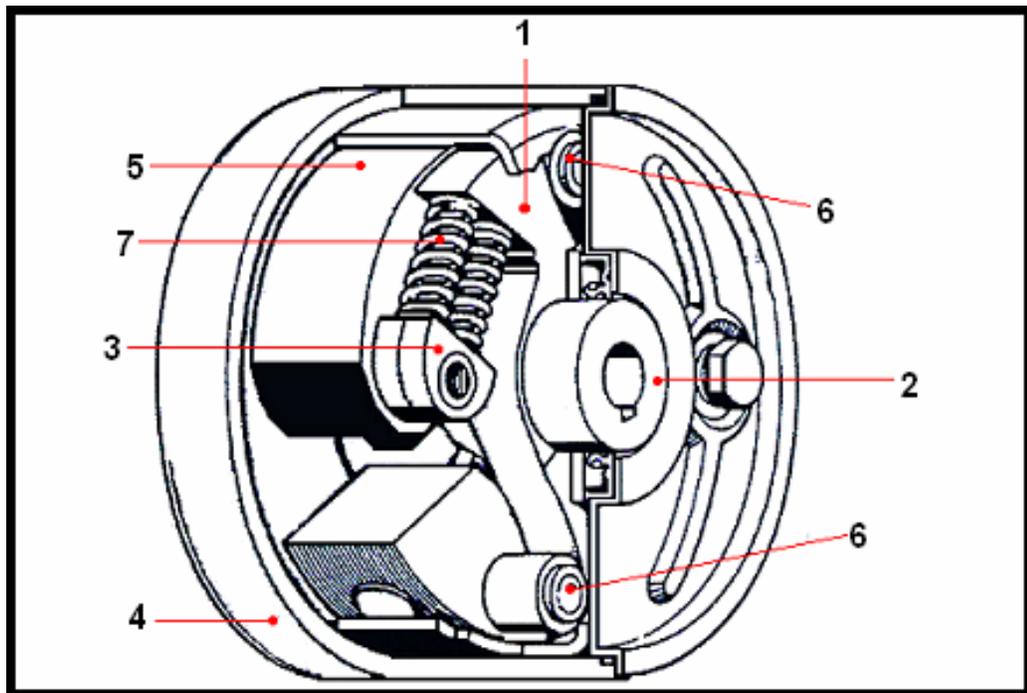
¹⁴ HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel. Manuales técnicos del automóvil. España. Grupo editorial CEAC. 2002. 299Pgs.

*** Funcionamiento: (Figura 47)**

En posición de reposo **figura 47 (detalle a)**, los contrapesos están contraídos por la acción de los muelles (7) y los rodillos (6) permanecen en su posición más alta, en este momento la transmisión del arrastre procedente del motor se comunica al eje de levas (el disco) perfectamente sincronizado con el giro del cigüeñal y con el avance inicial a que la bomba esté calada, no hay avance suplementario.

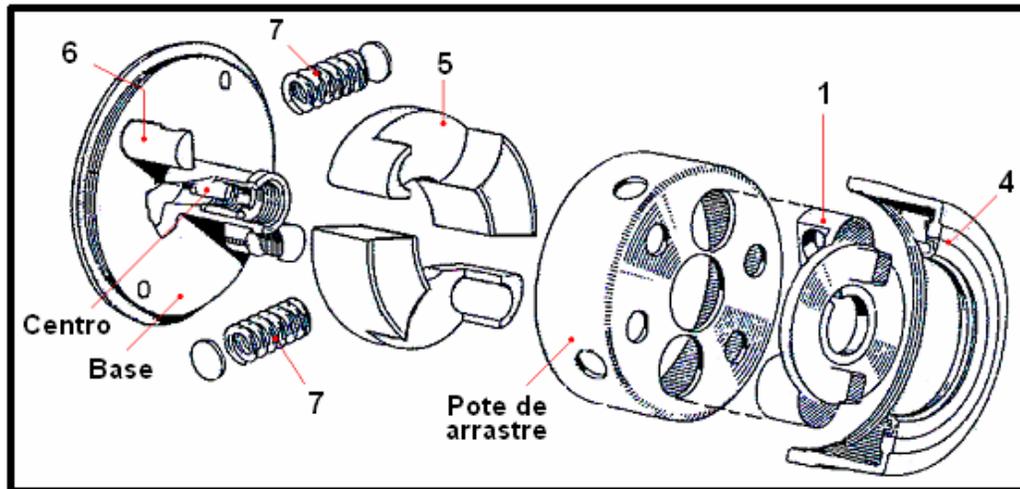
En cuanto el arrastre comienza a aumentar su velocidad de giro **figura 47 (detalle b)**, los contrapesos (5) empiezan a desplazarse hacia el exterior haciendo que los rodillos (6) muevan la posición relativa del disco y con él el cuerpo del mecanismo, provocando un avance en el momento de mandar el combustible a los inyectores ya que el eje de levas se adelanta un espacio (x) con respecto al cigüeñal.

**Figura 48. Vista en conjunto de un variador de avance Bosch
(Fuente: HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel)**



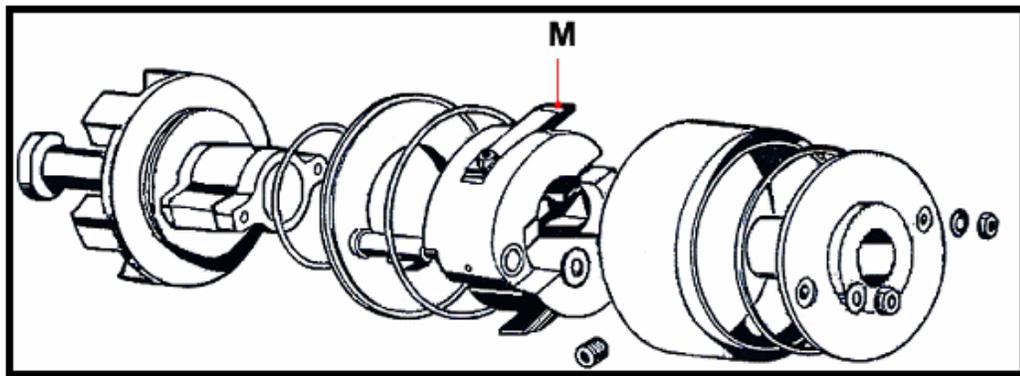
En las **figuras 48 y 49**, se puede observar este dispositivo en conjunto y en despiece general de sus elementos. El sistema de avance descrito corresponde a un modelo muy corriente de la casa BOSH. Por su puesto existen otro tipo de modelos parecidos al descrito anteriormente, sin embargo el funcionamiento es básicamente el mismo.

Figura 49. Despiece de un sistema variador de avance Bosch
(Fuente: HERMOGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel)



En la **figura 50**, se muestra un variador de avance de la casa IESA que utiliza muelles de láminas (M) en vez de helicoidales.

Figura 50. Variador de avance provisto de muelles de láminas
(Fuente: HERMOGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel)



No todas las bombas van provistas del variador de avance del tipo centrífugo, existen muchos casos en los que el mecanizado de la rampa que existe en la cabeza del pistón de cada una de las bombas puede determinar un adelanto o retardo con respecto a la inyección.¹⁵

¹⁵ HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel. Manuales técnicos del automóvil. España. Grupo editorial CEAC. 2002. 299Pgs.

CONCLUSIONES PARCIALES:

Luego de haber estudiado el principio de funcionamiento, elementos y sistemas constitutivos de las bombas de inyección en línea , se tienen las bases necesarias de su funcionamiento, lo que servirá como una guía para elaborar un banco de pruebas, cuya principal función es la de comprobar el estado en el que se encuentra una bomba de inyección por medio de la simulación de las condiciones de trabajo a las que la bomba de inyección está sometida en el motor diesel, por este motivo se ha visto necesario dedicar este primer capítulo al funcionamiento de la bomba de inyección en línea.

CAPÍTULO II

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

INTRODUCCIÓN:

El capítulo II, contiene los temas de trabajo más importantes de la presente tesis. Este capítulo es de gran interés porque en él están centrados los estudios de cálculo y diseño del banco de pruebas que van a permitir su construcción.

La construcción y ensamblaje de algunos elementos se basa y sustenta en el cálculo matemático y en la adecuada selección de dispositivos, aparatos y mecanismos de accionamiento, lo que permitirá elaborar un banco de pruebas fiable, económico y funcional, capaz de realizar las principales comprobaciones en bombas de inyección en línea de hasta 6 cilindros de los tipos A y P.

Además dentro del presente capítulo, se incluyen los planos de construcción, en los cuales se detallan las dimensiones y formas de los diferentes componentes mecánicos. Se ha buscado las mejores opciones de construcción para el banco de pruebas, proyectando alternativas de funcionamiento a través del diseño y el ingenio propios.

2.1 Finalidad, utilización, y características del banco de pruebas

La finalidad del banco de pruebas es la de realizar las comprobaciones en las bombas de inyección diesel tipos A y P de hasta 6 elementos, este instrumento es el que complementa y permite que el servicio de mantenimiento y verificación de los motores diesel sea completo.

El banco de pruebas debe permitir efectuar las siguientes operaciones:

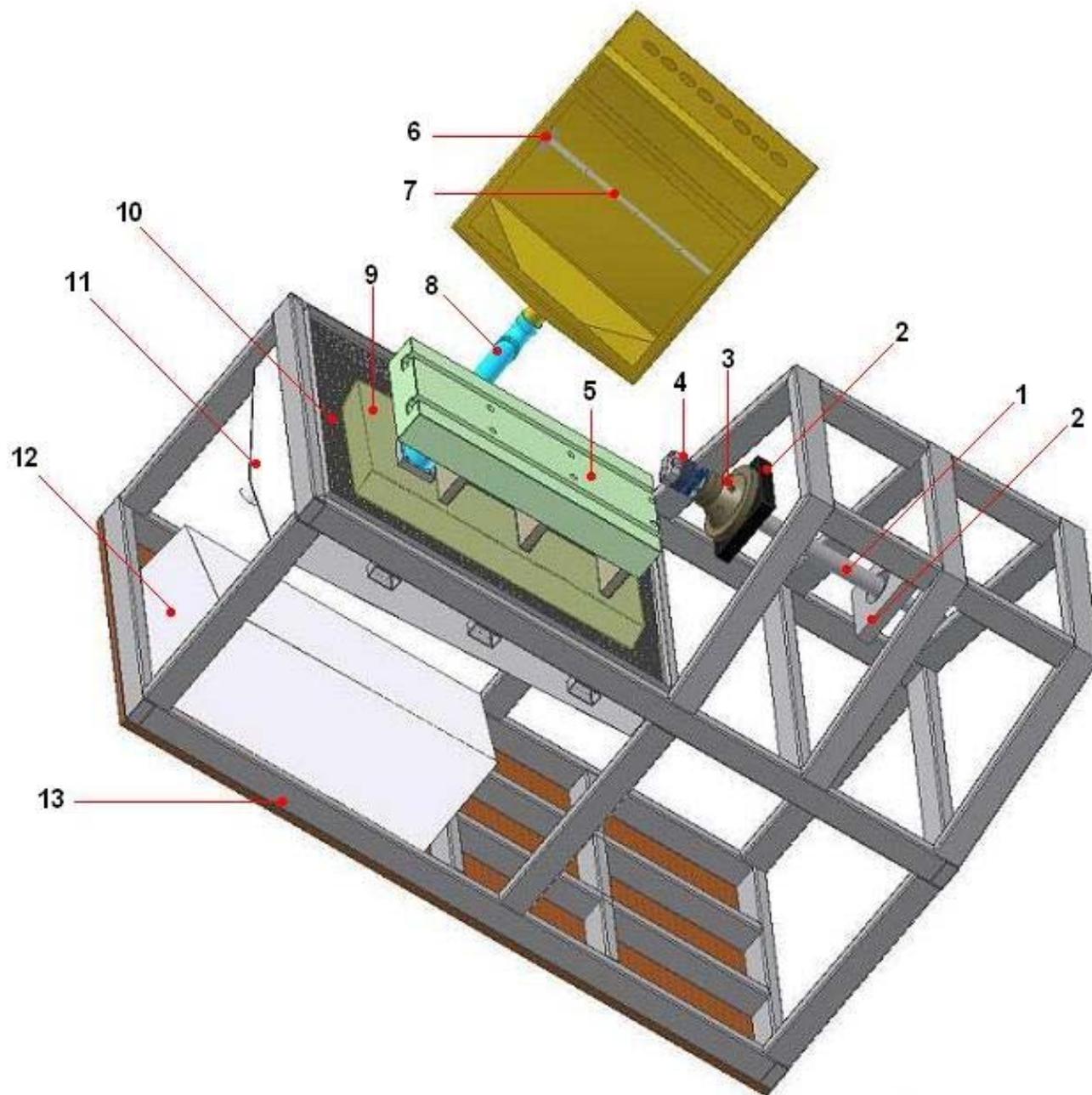
- reglaje y equilibrio de los caudales de cada elemento de la bomba
- sincronización de las inyecciones
- reglaje del regulador (mecánico)
- verificación del funcionamiento de los avances automáticos
- determinar el punto de inyección del primer cilindro

Las principales características que debe reunir el banco de pruebas son las de robustez, de tamaño reducido, y preciso; a fin de responder a las exigencias de prueba de las bombas de inyección; debe admitir diferentes regímenes de rotación, control del número de revoluciones, contar el número de emboladas que realiza la bomba de inyección y medir el caudal inyectado por cada elemento de bombeo.

2.2 Planos de construcción del banco y sus elementos

En este apartado se podrá observar las formas, detalles y el diseño de la parte estructural del banco de pruebas por medio de planos de construcción realizados con la ayuda del programa de dibujo Inventor¹⁶. También, se hacen constar los planos y dibujos de los elementos necesarios para la conformación del banco; los mismos que permiten proyectar su construcción y realizar el cálculo a través de diagramas de cuerpo libre (D.C.L.), para efectuar el acoplamiento adecuado de los dispositivos de trabajo. Los planos de construcción muestran básicamente las dimensiones, vistas y perspectivas de los principales elementos diseñados y construidos:

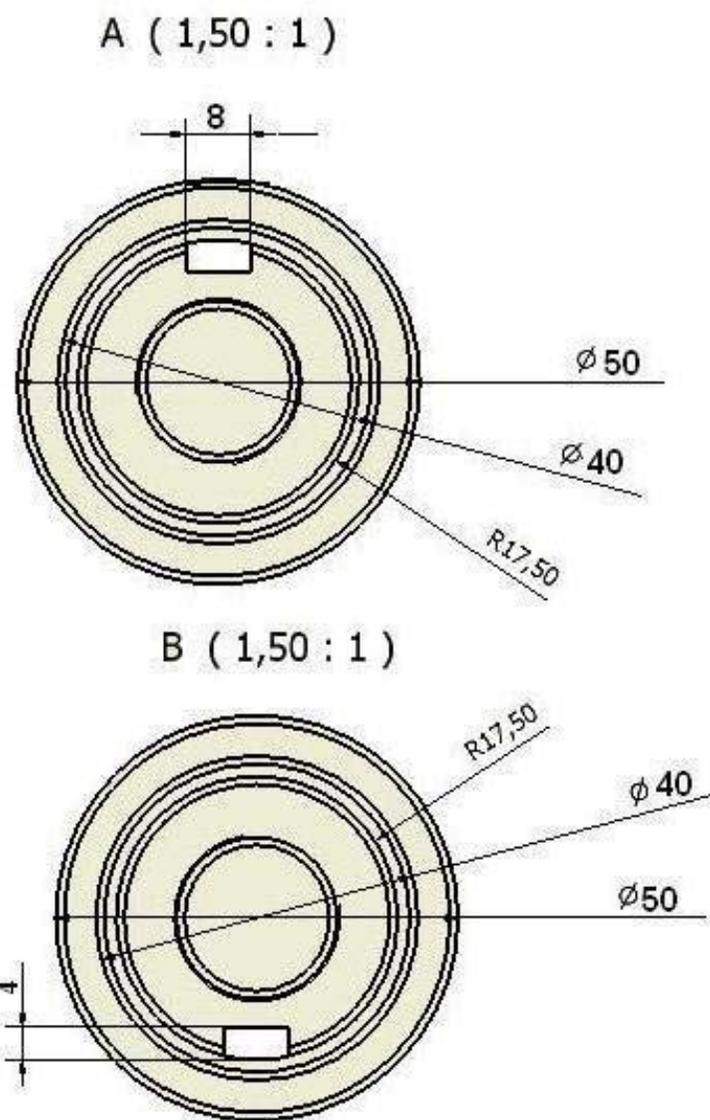
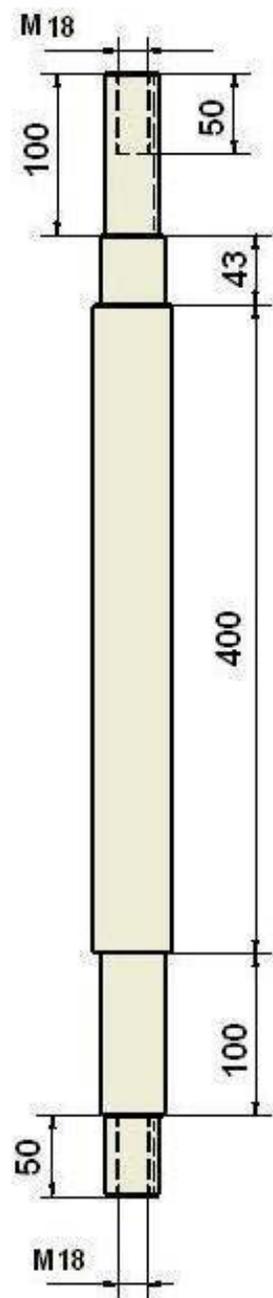
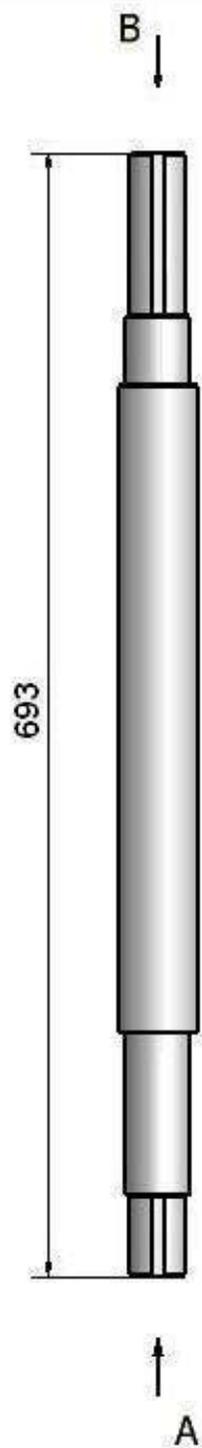
¹⁶ Programa de dibujo en 3D. Versión 9.0



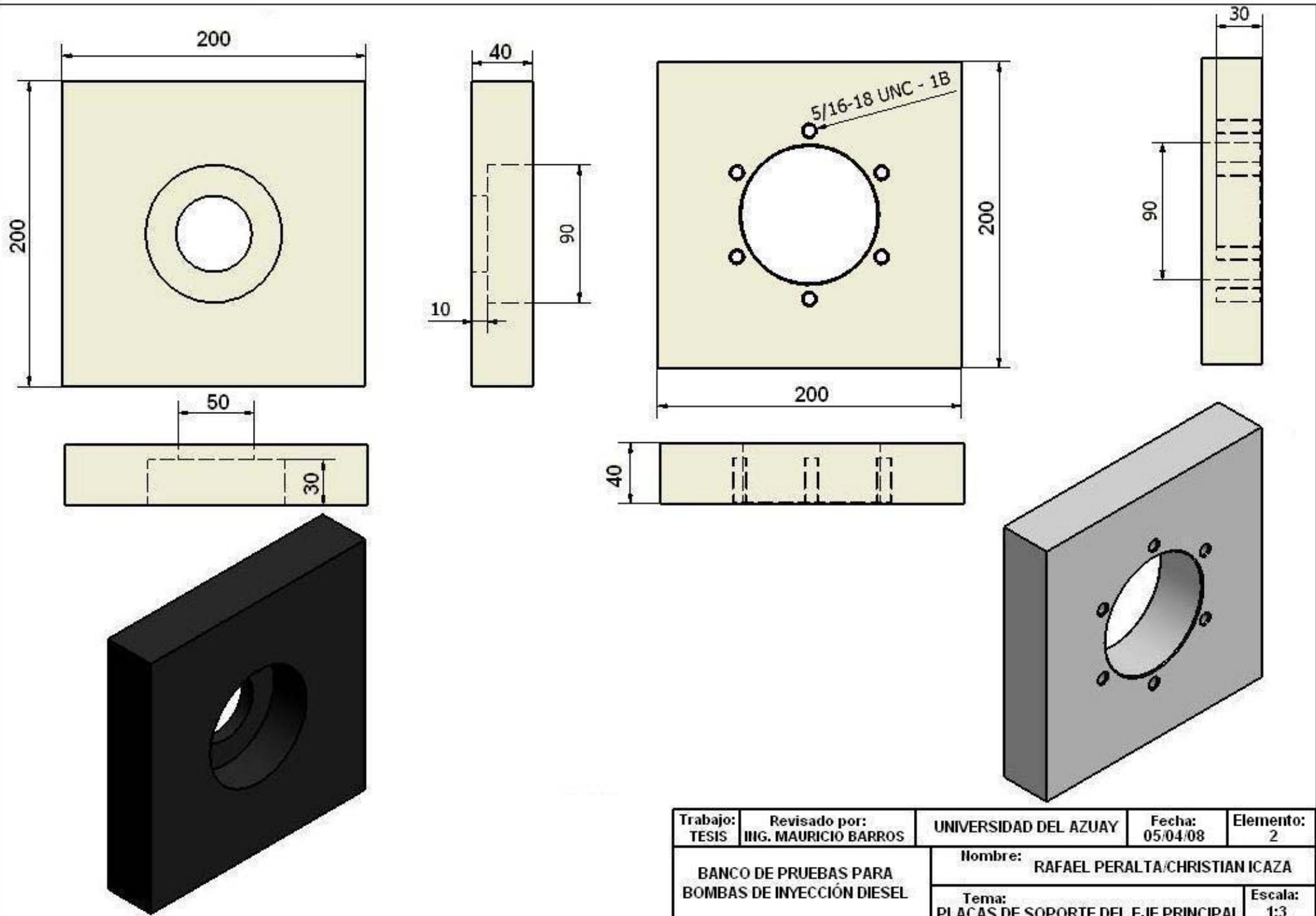
NOMENCLATURA

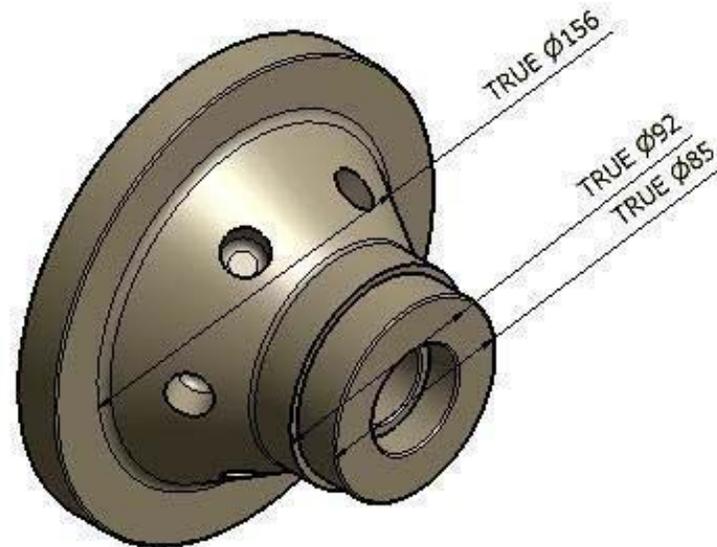
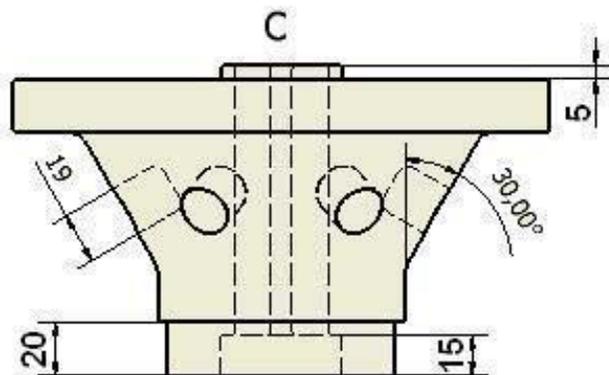
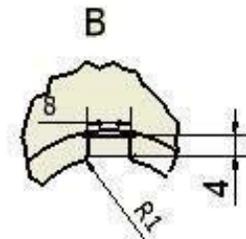
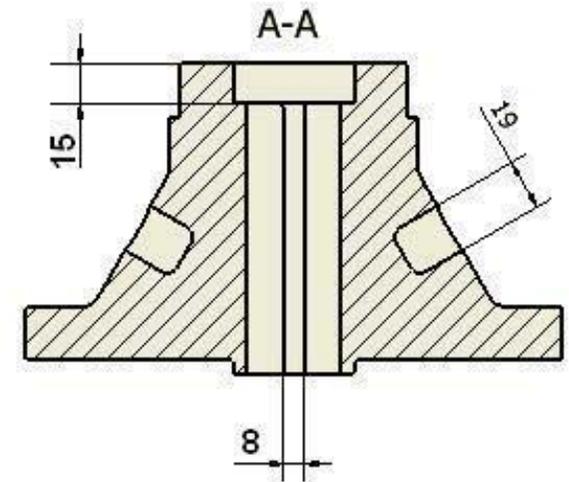
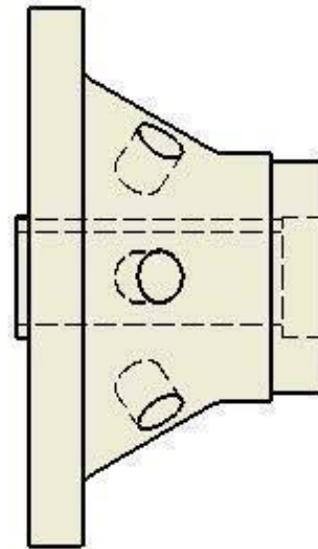
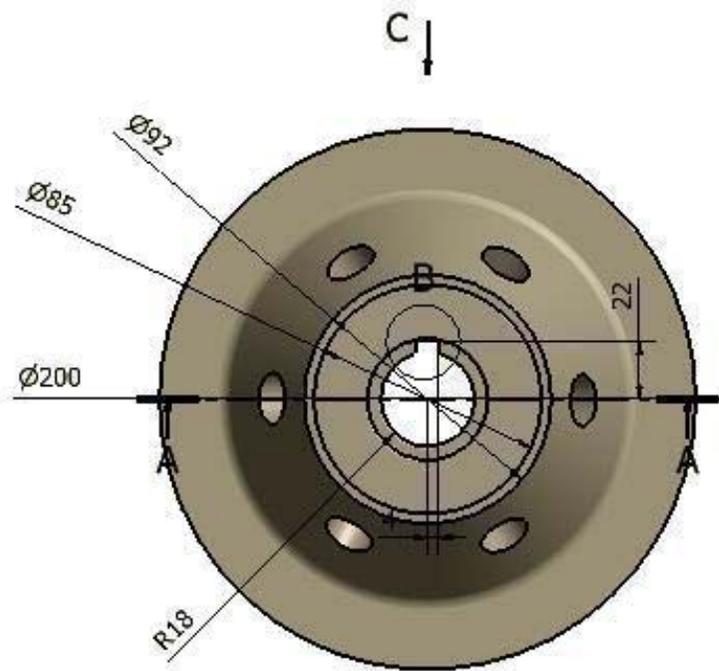
1. EJE PRINCIPAL.
2. PLACAS DE SOPORTE DEL EJE PRINCIPAL.
3. CABEZAL.
4. DISPOSITIVOS DE SUJECIÓN ELÁSTICOS.
5. MESA DE SUJECIÓN.
6. EJE DE LAS PLACAS PORTA-PROBETAS.
7. MECANISMO DE TRABA DEL EJE PORTA-PROBETAS.
8. TUBO DE RETORNO DE COMBUSTIBLE.
9. MESA BASE.
10. MALLA DE SOPORTE.
11. RECOLECTOR.
12. TANQUE DE COMBUSTIBLE.
13. ESTRUCTURA METÁLICA.

Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08	1
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL		Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA		Escala: 1:16
		Tema: ESQUEMA GENERAL		

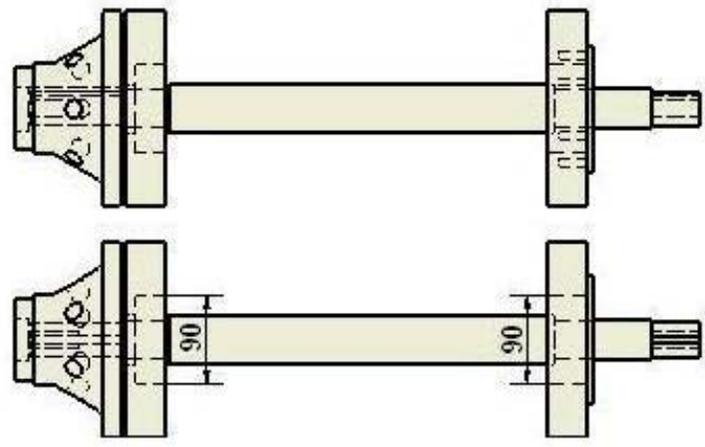
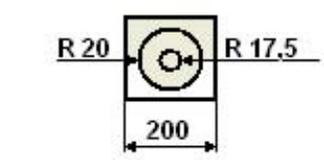
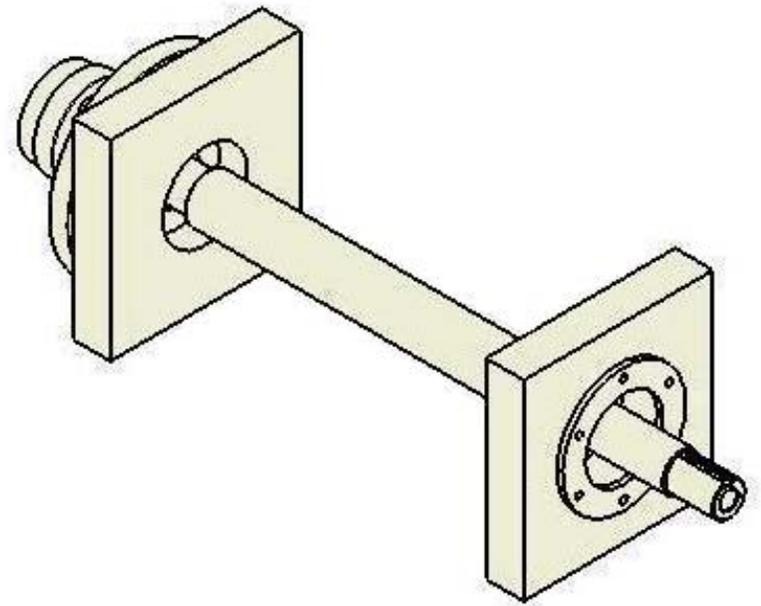
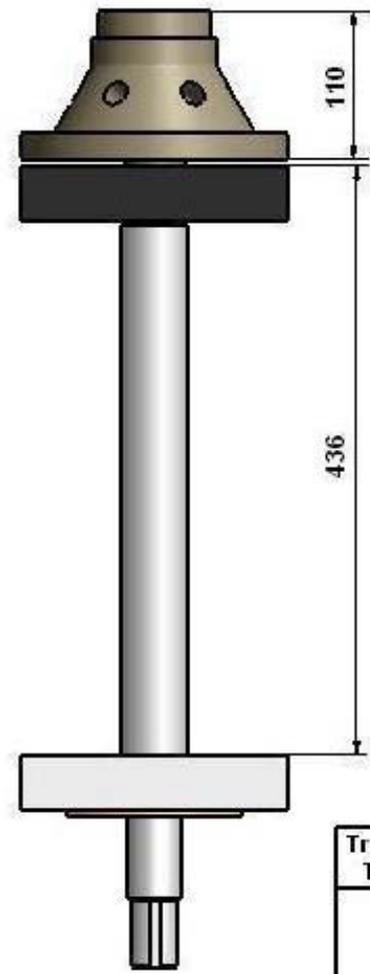
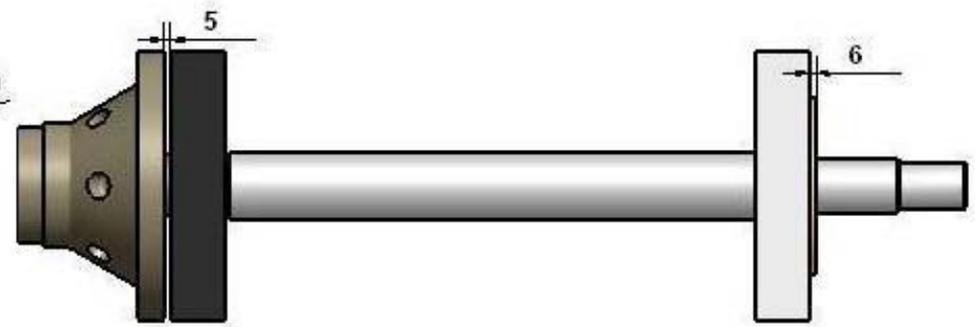
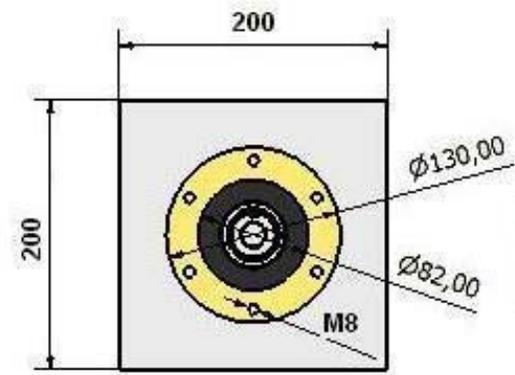
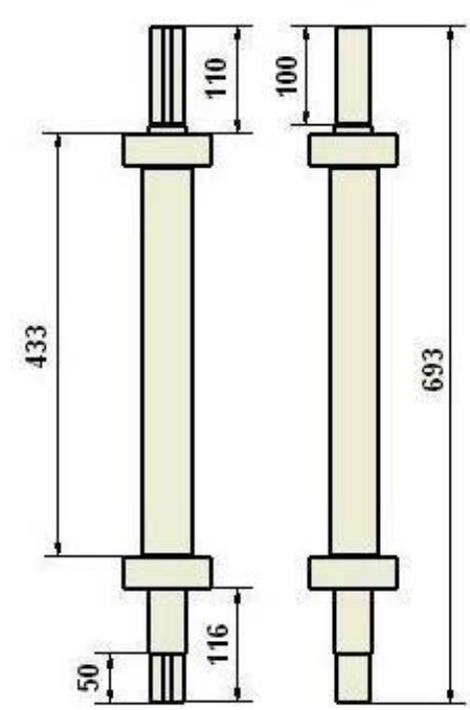


Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08	Elemento: 1
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL			Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA	
			Tema: EJE PRINCIPAL	Escala: 1:5

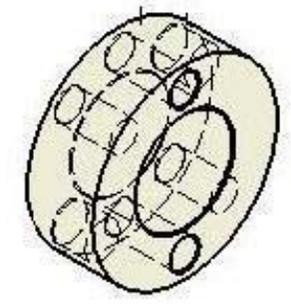
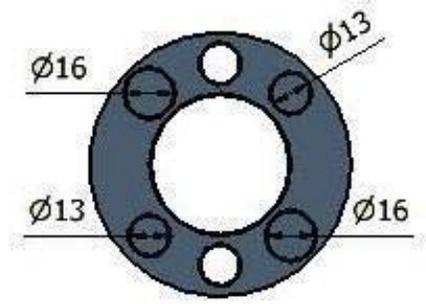
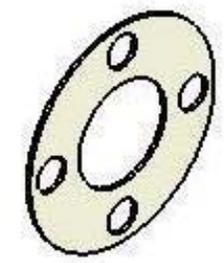
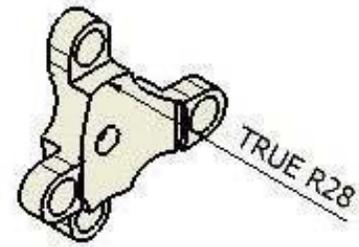
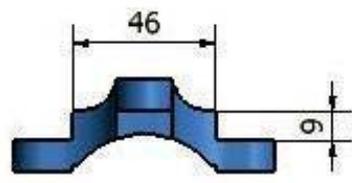
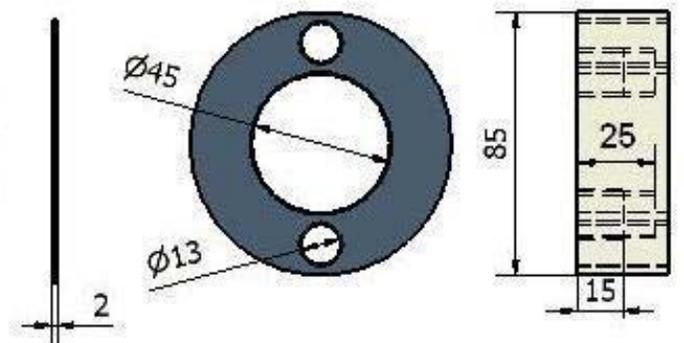
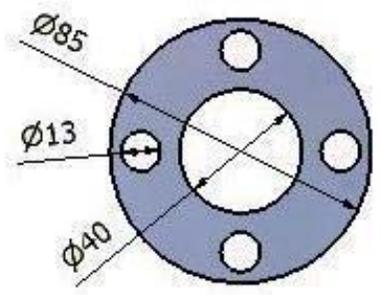
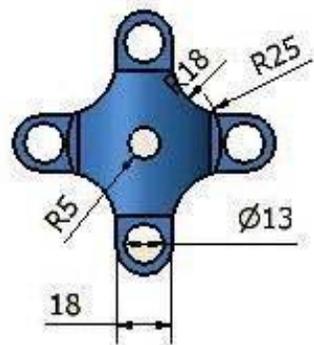




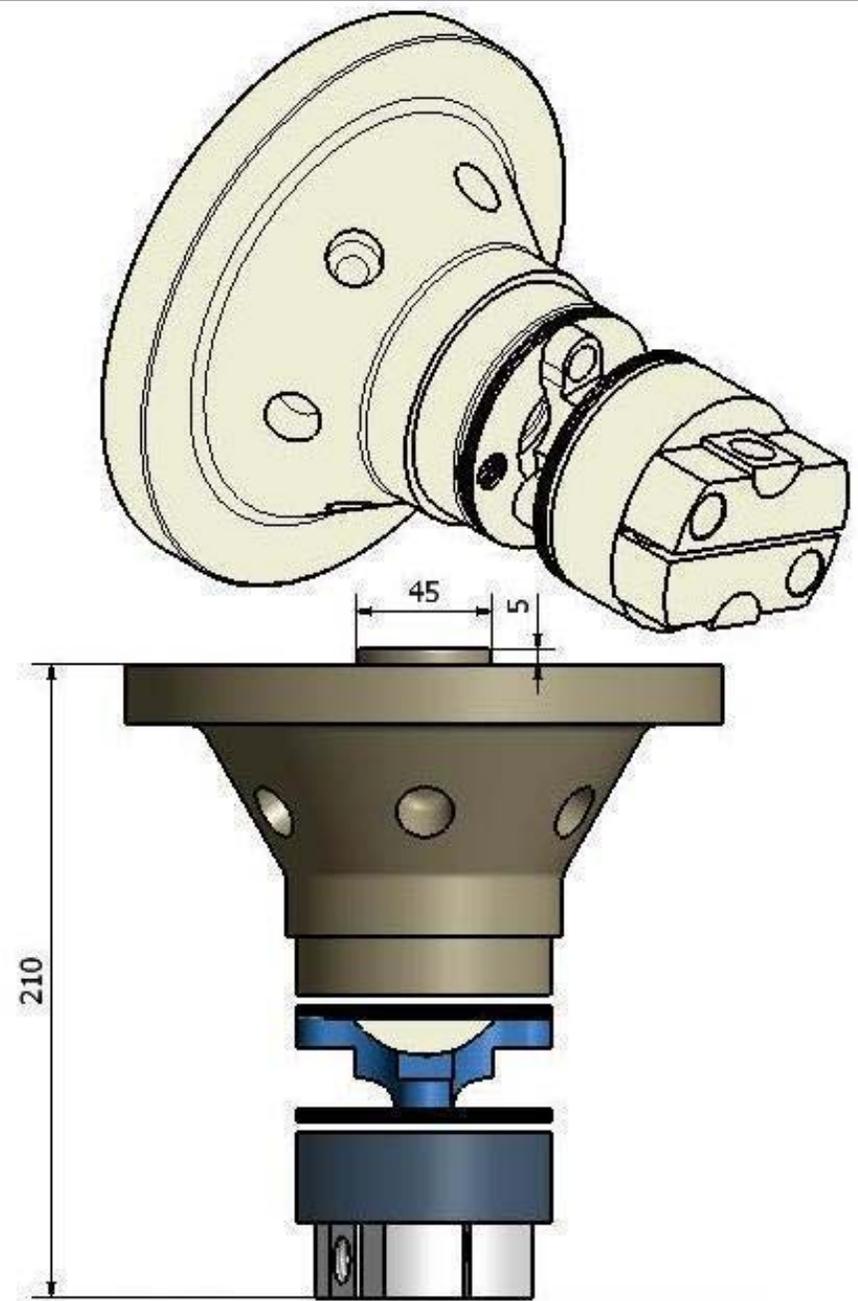
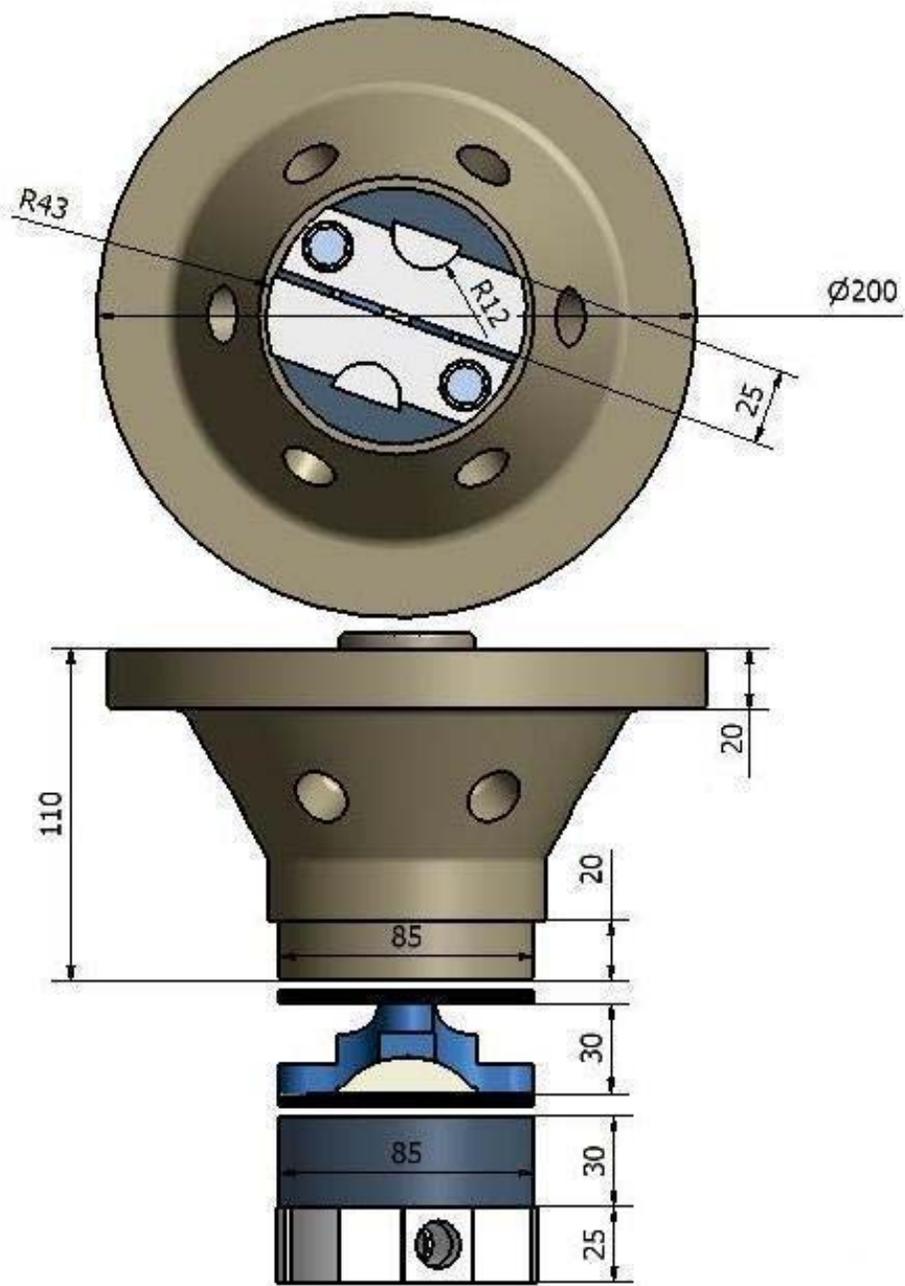
Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARRROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08	Elemento: 3
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL			Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA	
			Tema: CABEZAL	Escala: 1:3



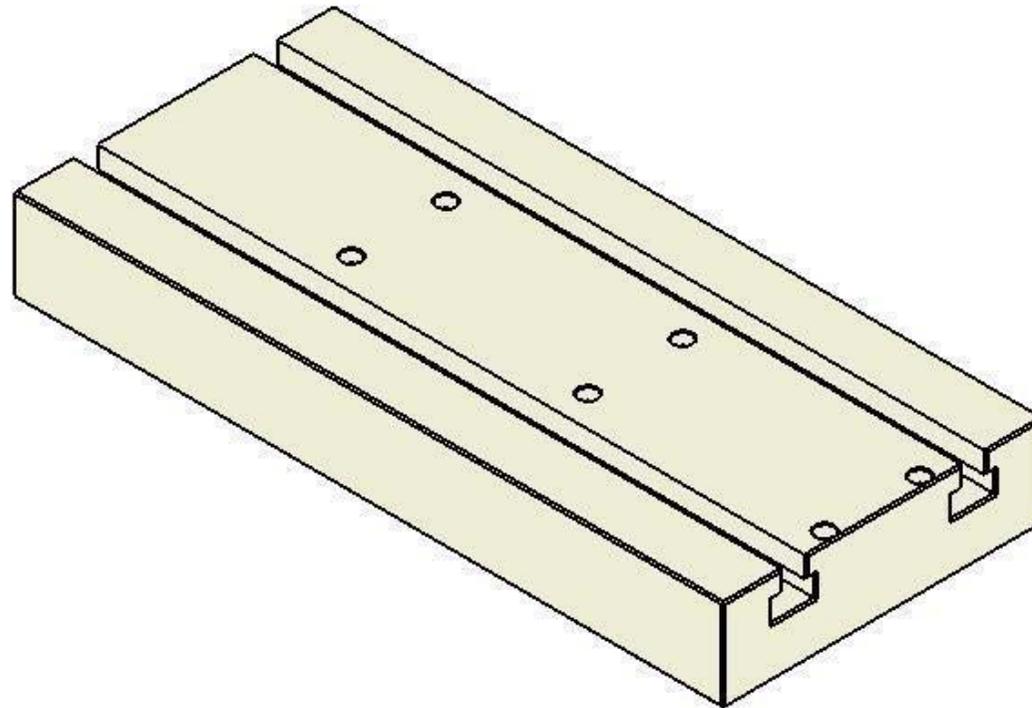
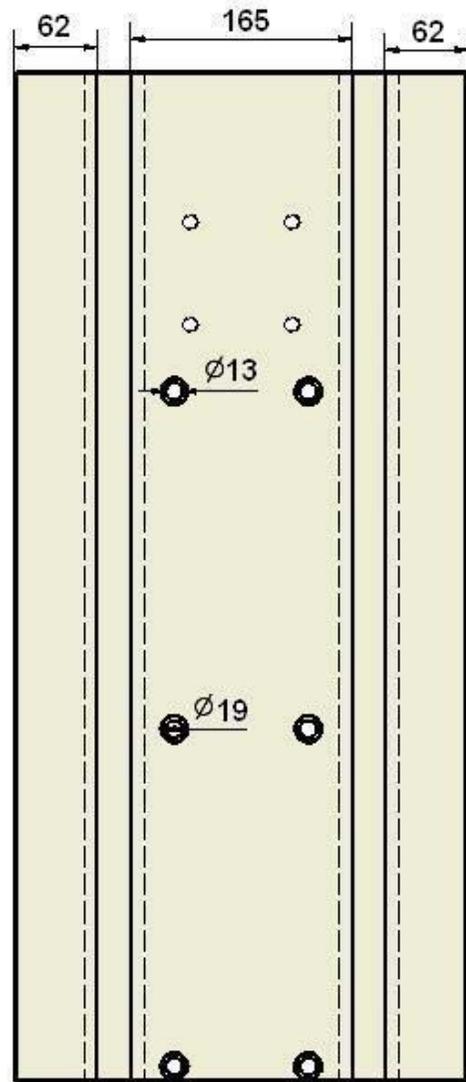
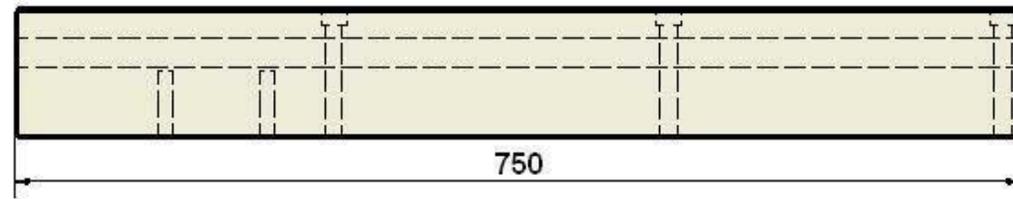
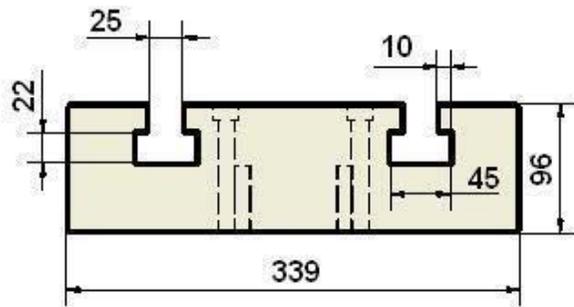
Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL		Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA	
		Tema: CONJUNTO EJE-PLACAS-CABEZAL	Escala: 1:6



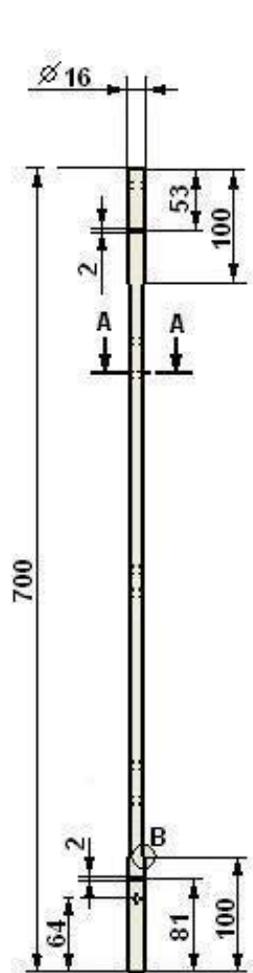
Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARRROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08	Elemento: 4
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL		Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA		
		Tema: DISPOSITIVOS DE SUJECIÓN ELÁSTICOS		Escala: 1:2



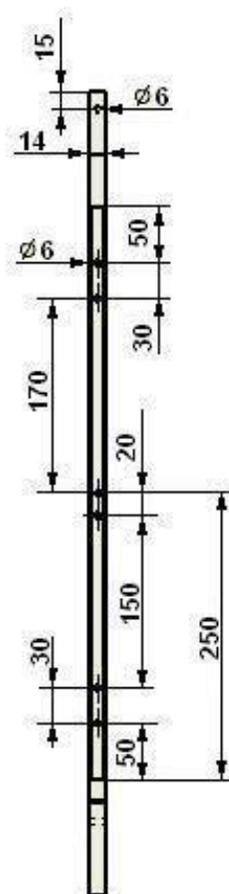
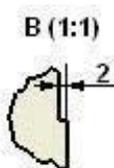
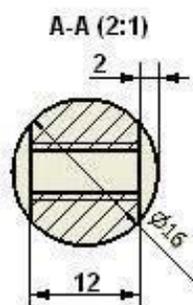
Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL		Hombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA	Escala: 1:3
		Tema: CONJUNTO CABEZAL DISPOSITIVOS DE SUJECIÓN S	



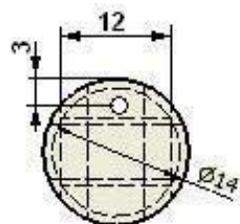
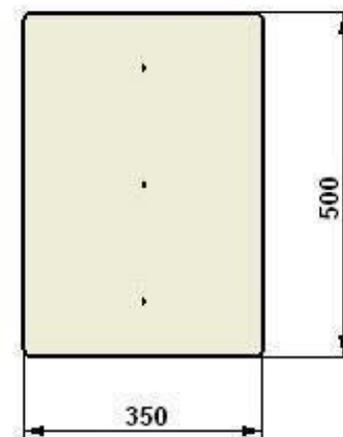
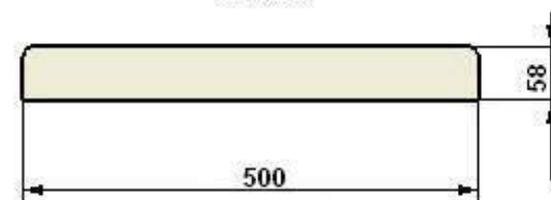
Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08	Elemento: 5
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL		Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA		
		Tema: MESA DE SUJECIÓN		Escala: 1:6



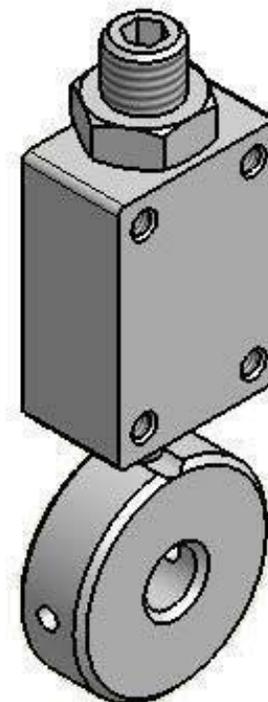
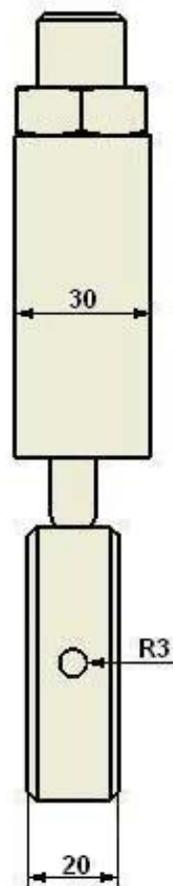
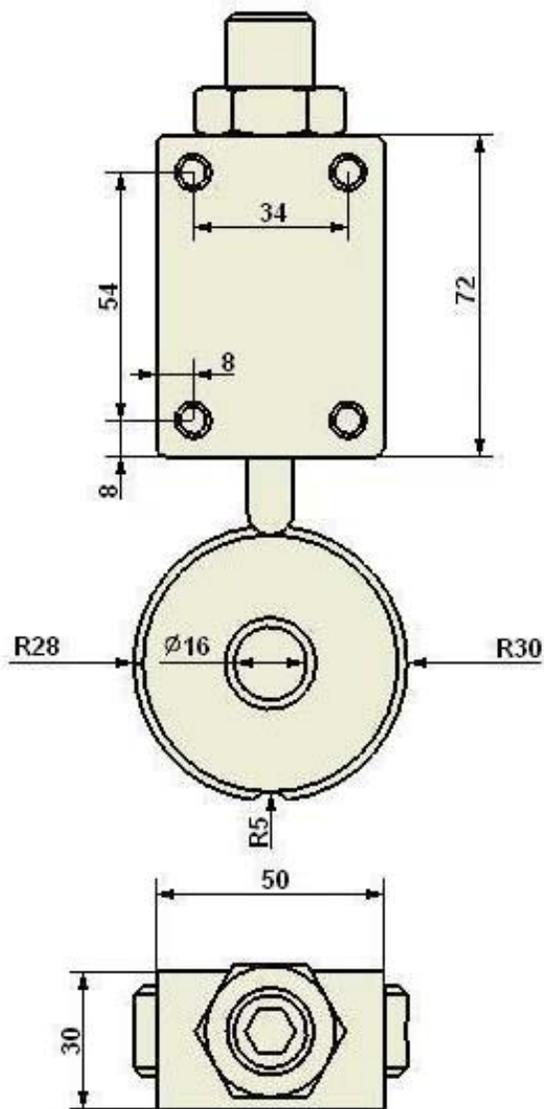
EJE



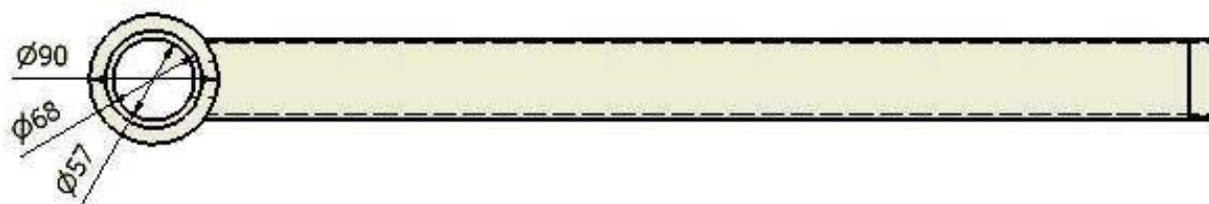
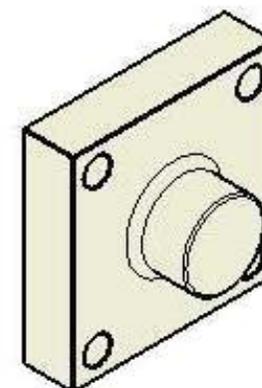
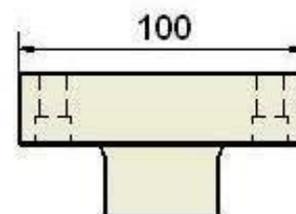
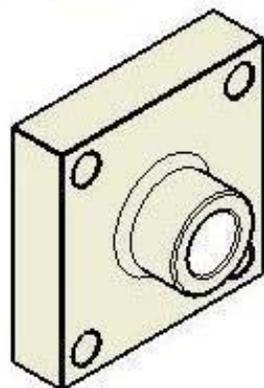
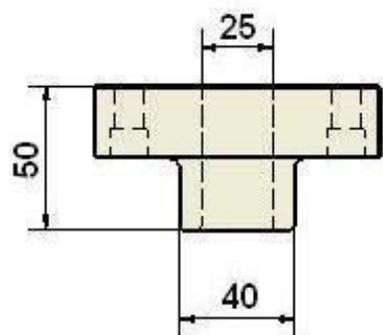
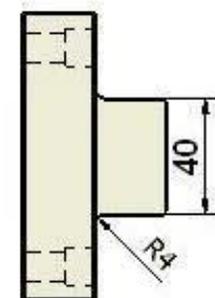
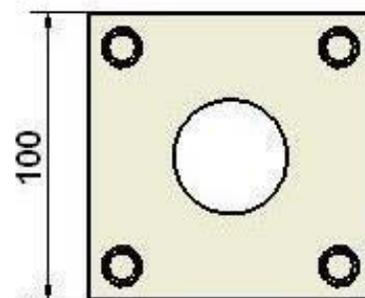
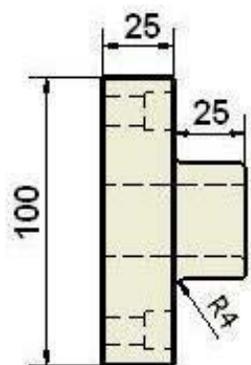
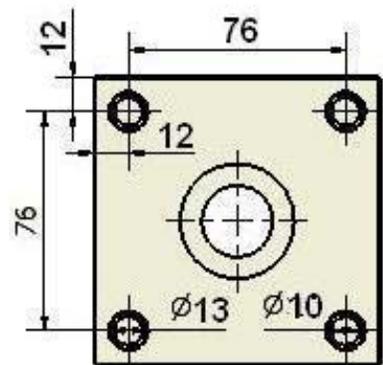
PLACA



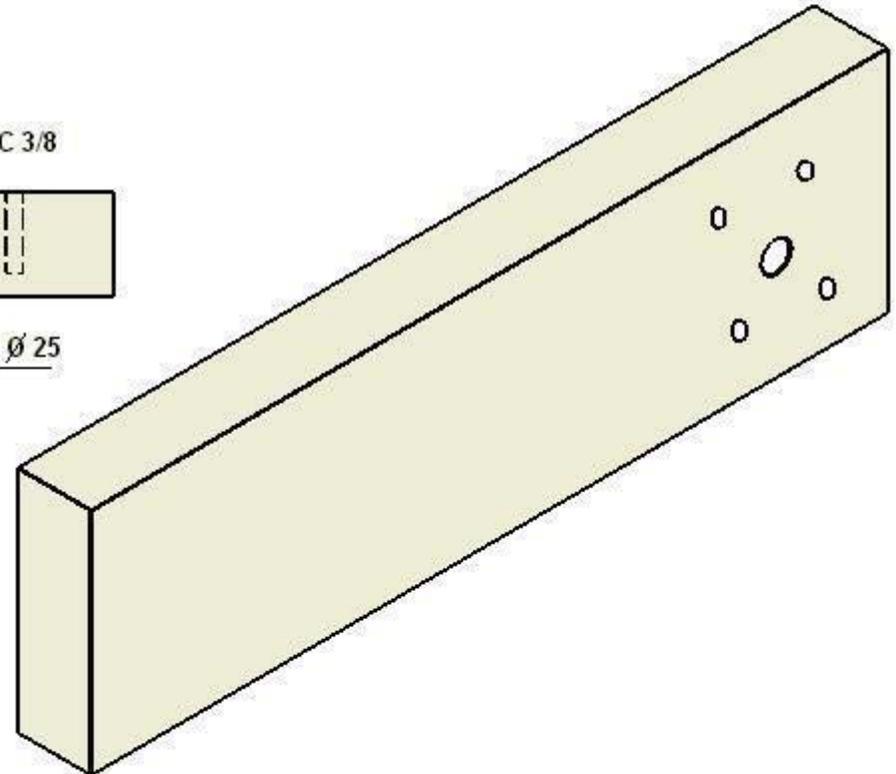
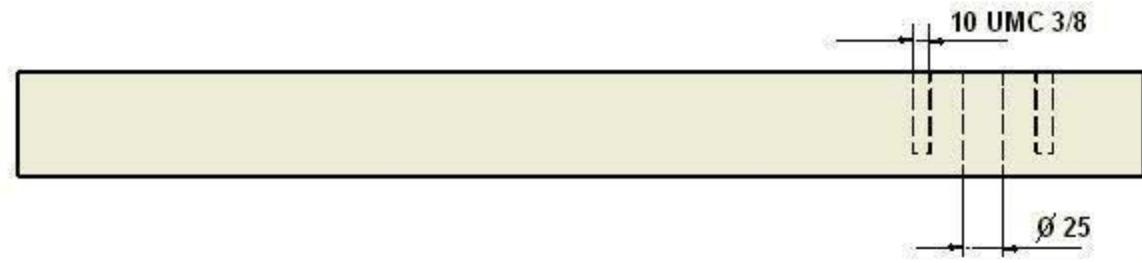
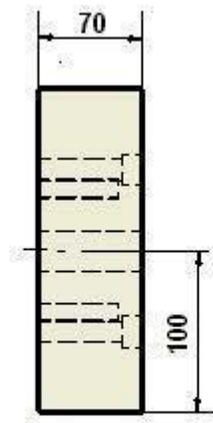
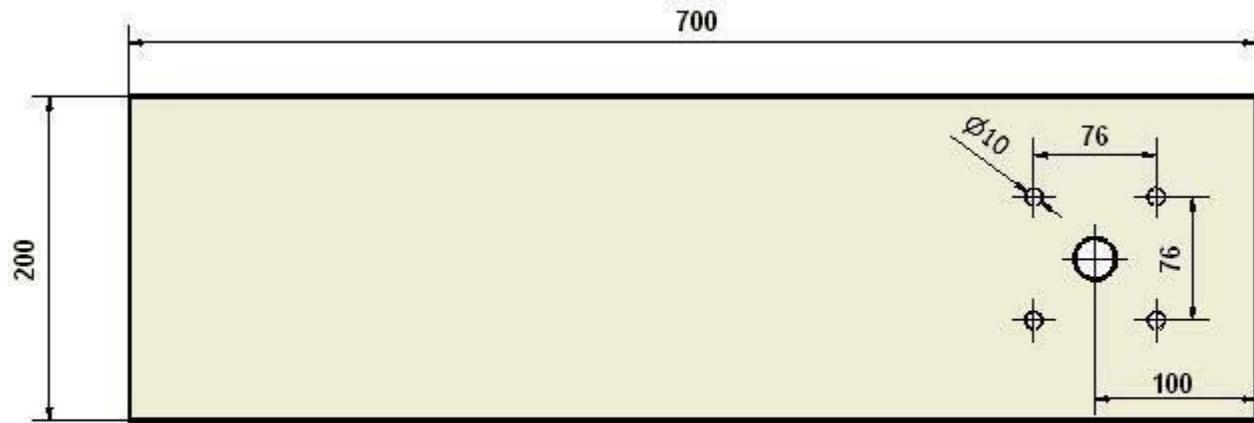
Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARRROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08	Elemento: 6
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL			Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA	
			Tema: EJE DE LAS PLACAS PORTA-PROBETAS	Escala: 1:7



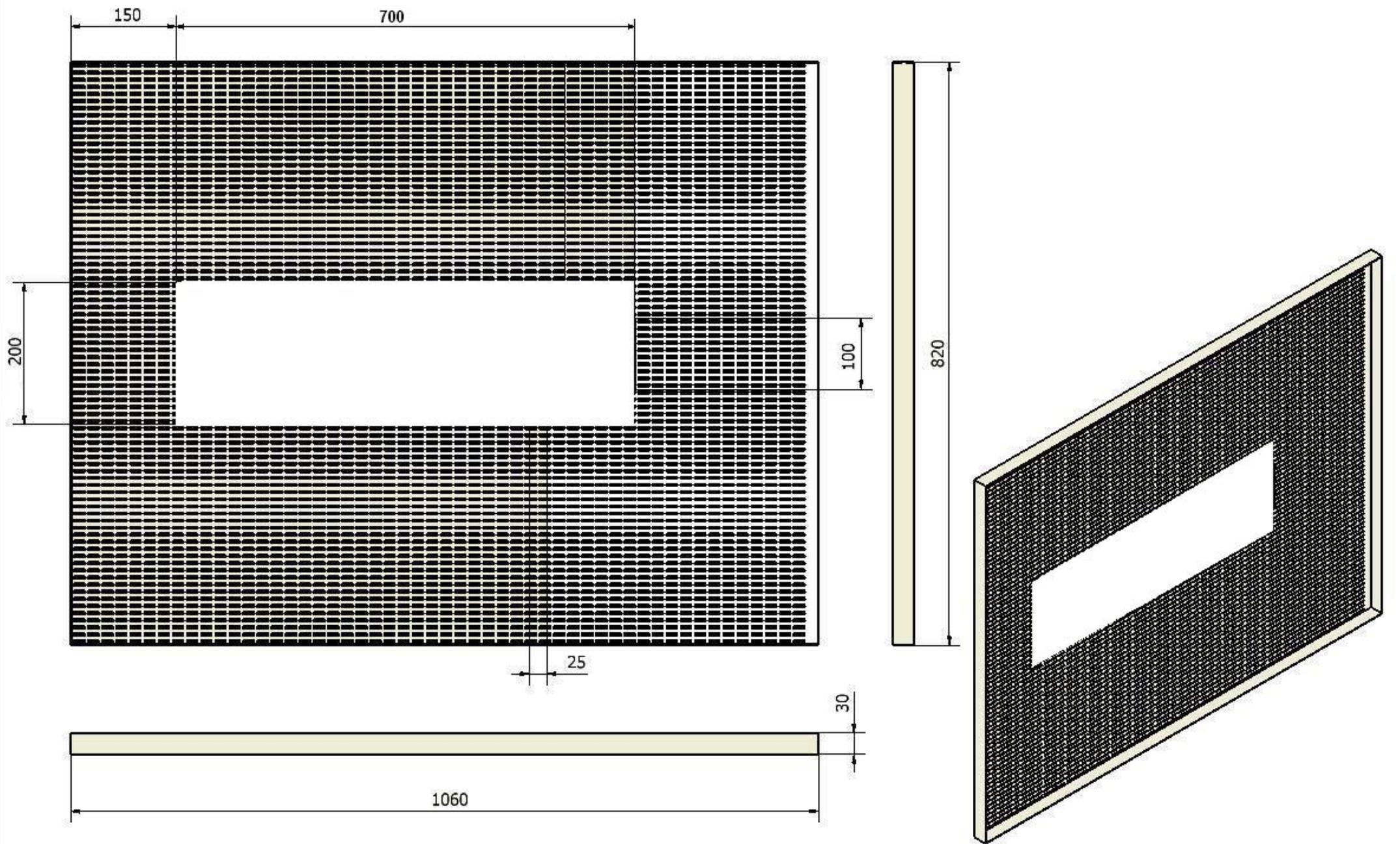
Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08	Elemento: 7
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL		Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA		
		Tema: MECANISMO DE TRABA DEL EJE PORTA-PROBETAS		Escala: 1:2



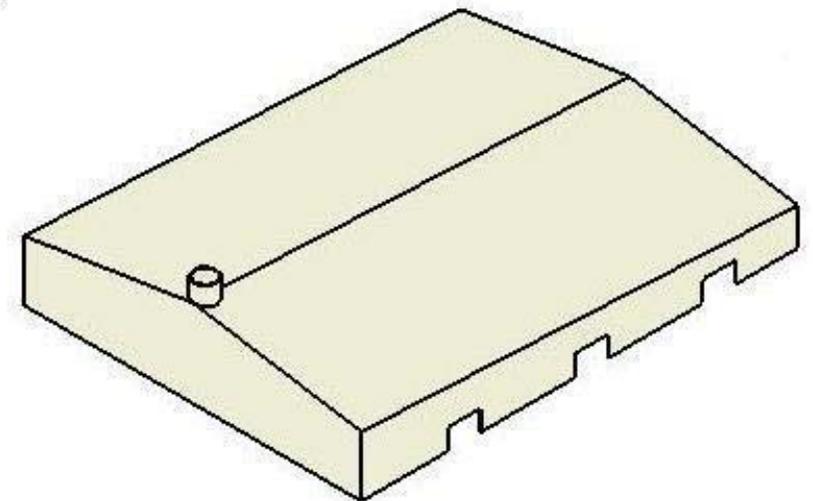
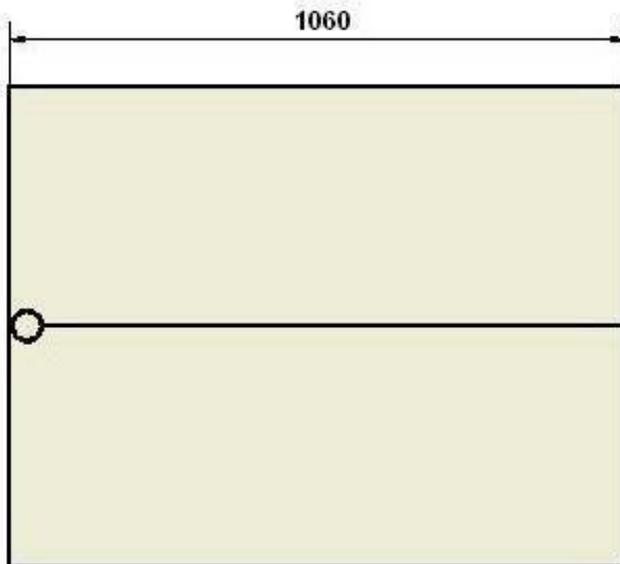
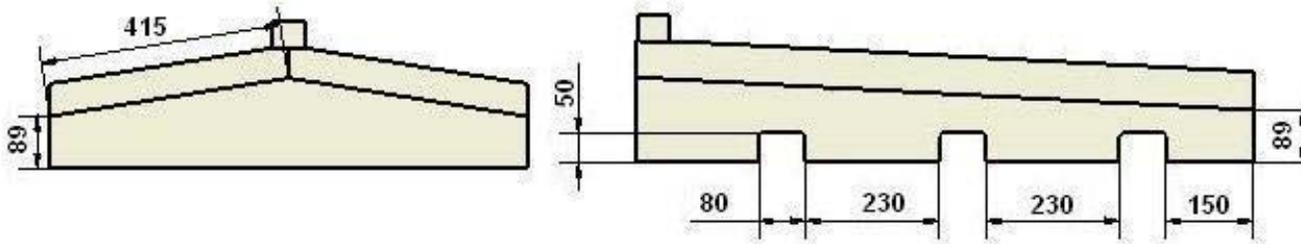
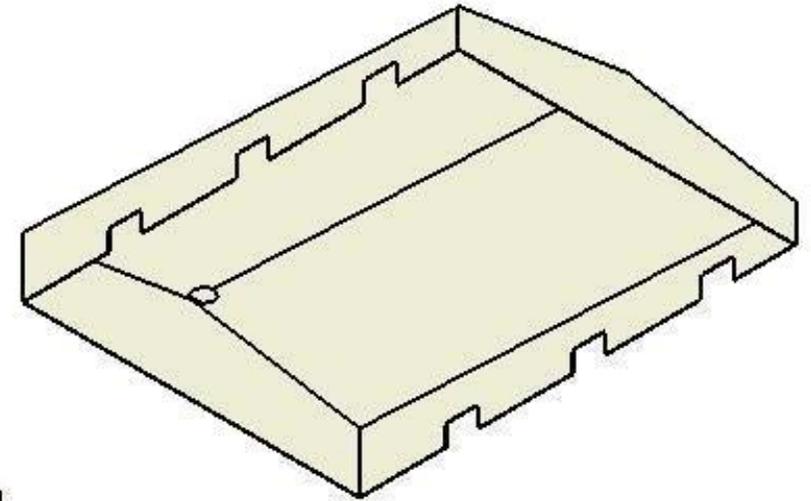
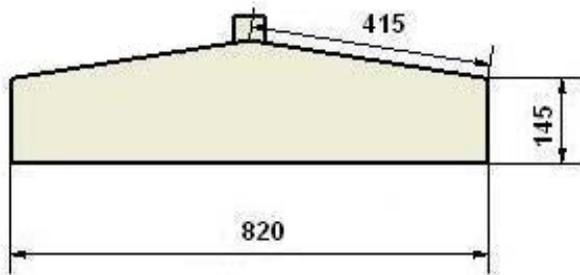
Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08	Elemento: 8
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL			Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA	
			Tema: TUBO DE RETORNO DEL COMBUSTIBLE	Escala: 1:6



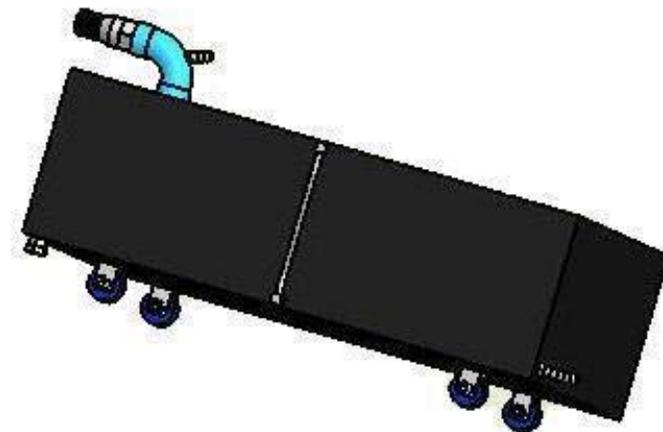
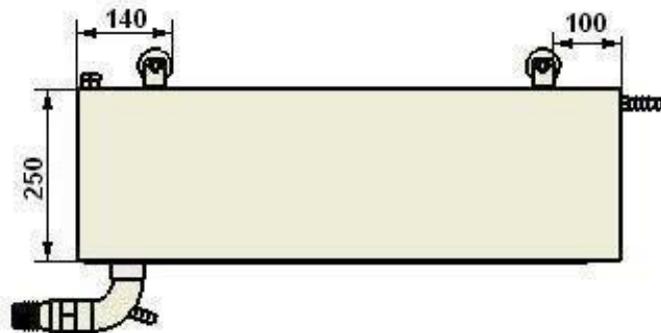
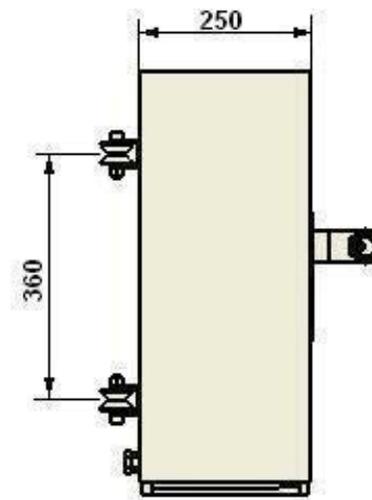
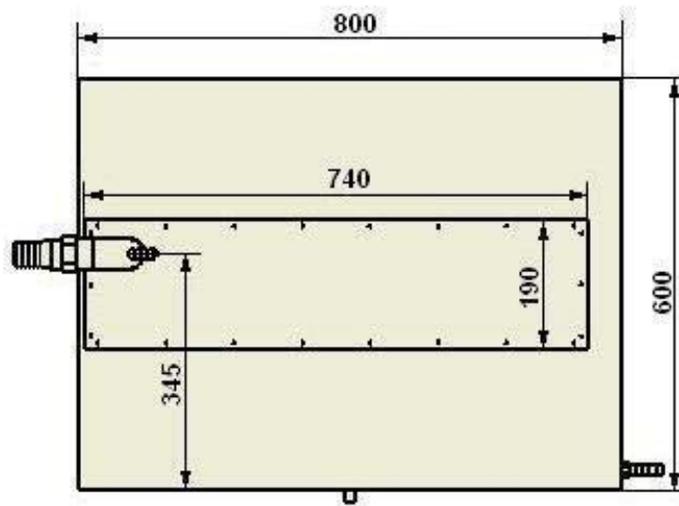
Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08	Elemento: 9
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL		Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA		
		Tema: MESA BASE	Escala: 1:5	



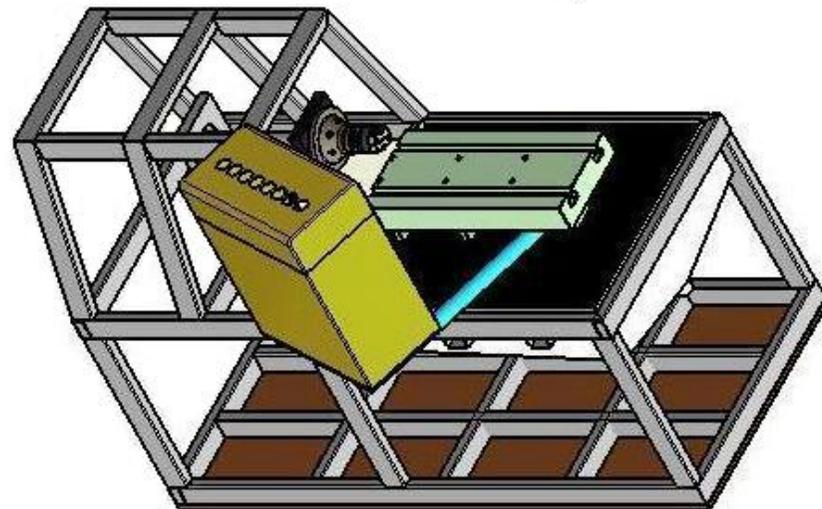
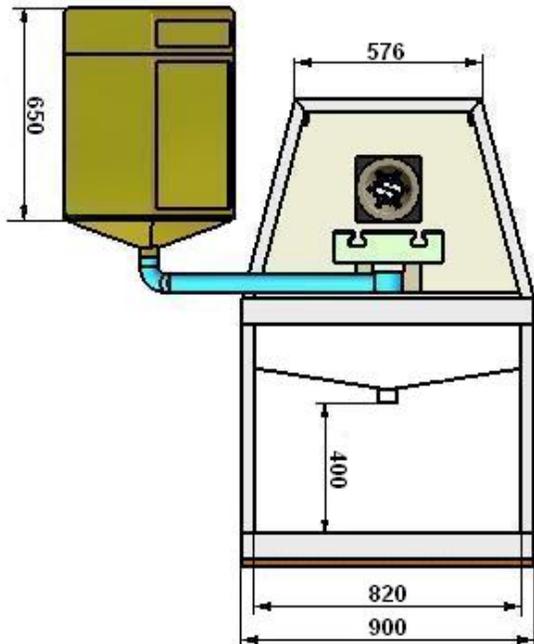
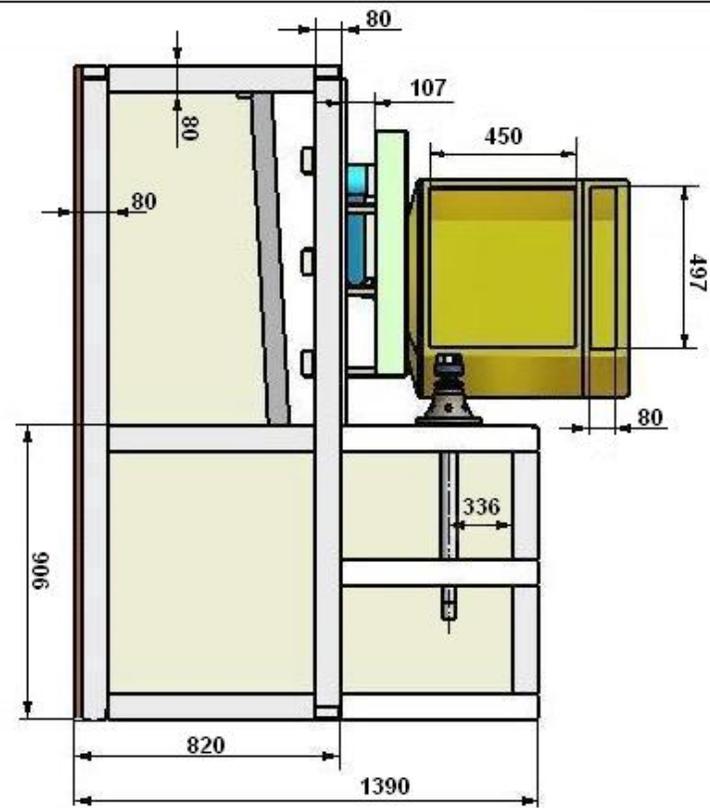
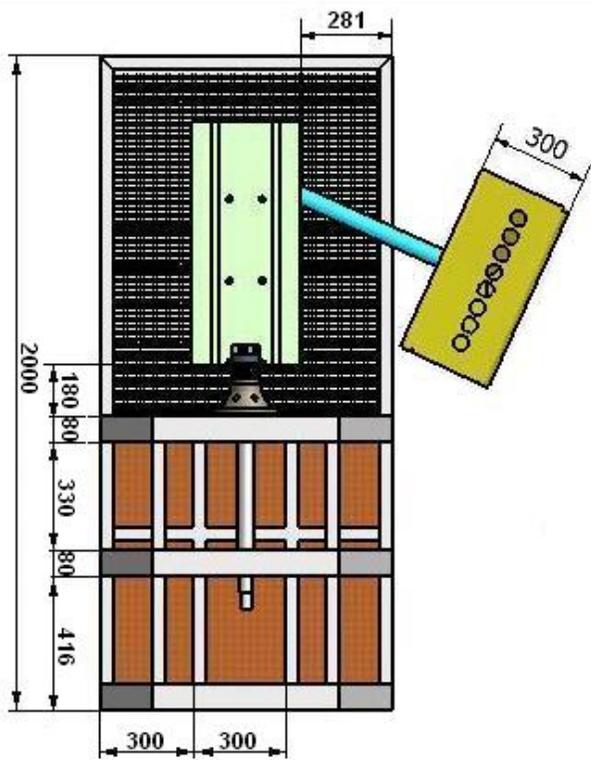
Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08	Elemento: 10
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL		Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA		
		Tema: MALLA DE SOPORTE	Escala: 1:8	



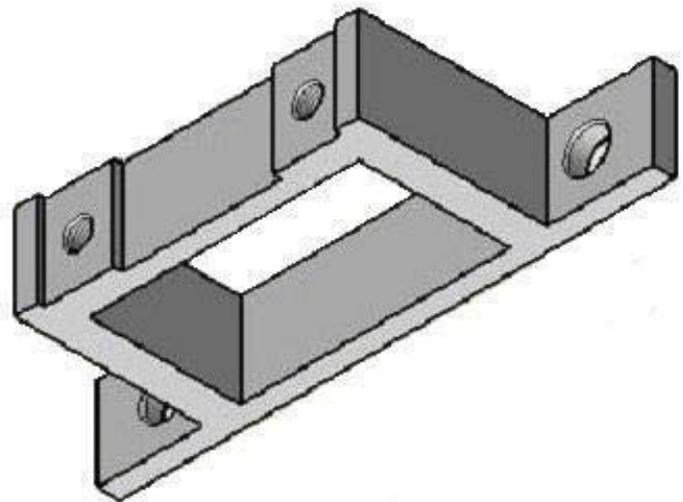
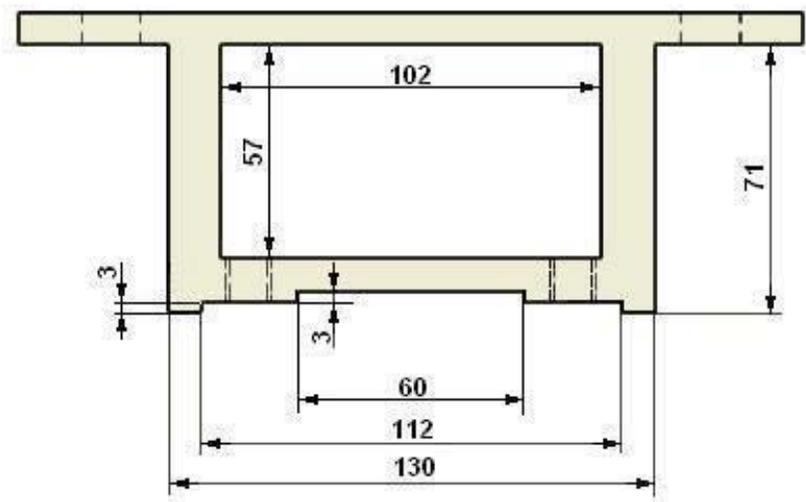
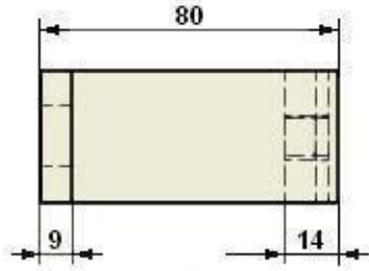
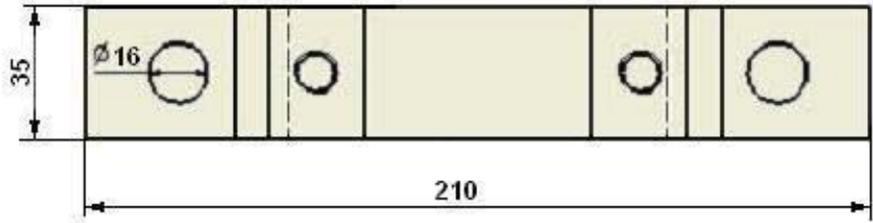
Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08	Elemento: 11
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL			Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA	
			Tema: RECOLECTOR	Escala: 1:13



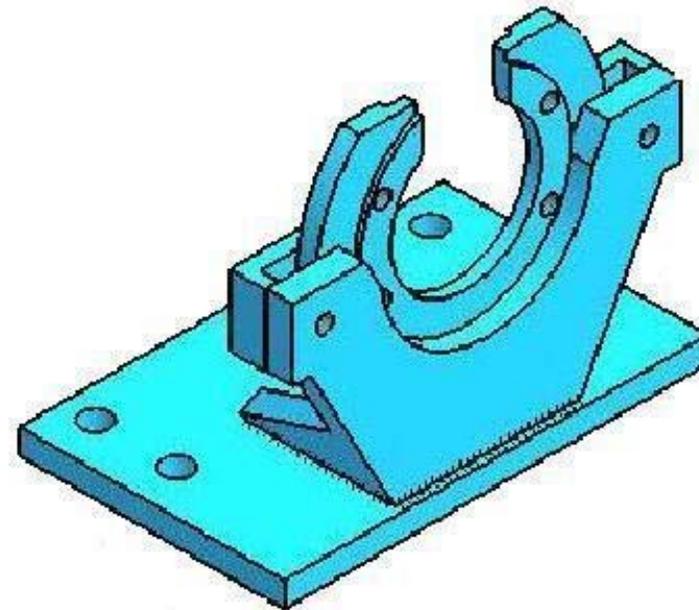
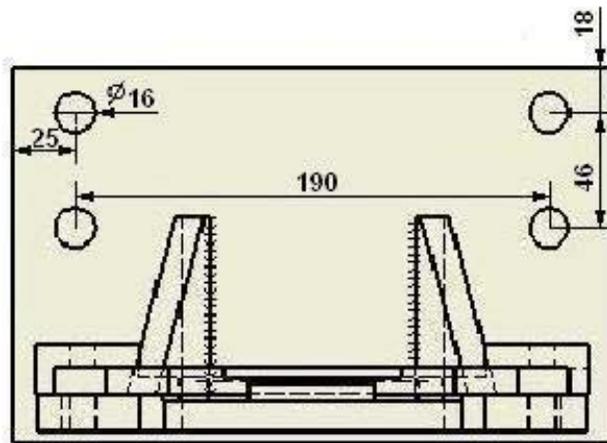
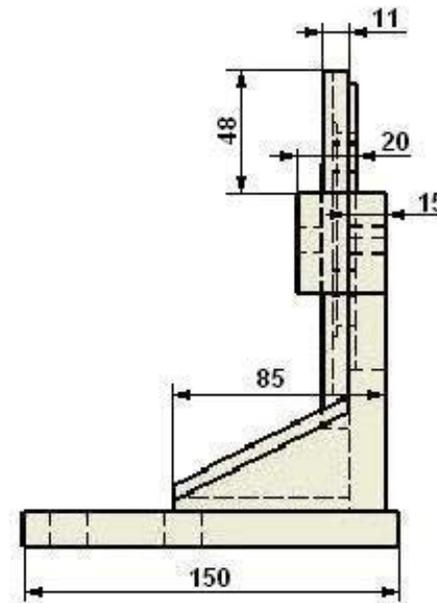
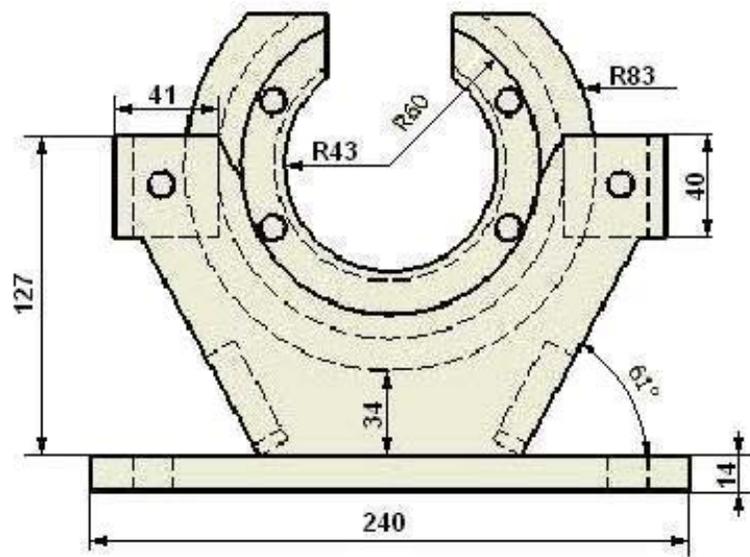
Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08	Elemento: 12
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL			Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA	Escala: 1:11
			Tema: TANQUE DE COMBUSTIBLE	



Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08	Elemento: 13
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL		Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA		Escala: 1:24
		Tema: ESTRUCTURA Y PROCESO DE EMSAMBLAJE		



Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL		Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA	Escala: 1:3
		Tema: BASE PARA LA BOMBA TIPO P	



Trabajo: TESIS	Revisado por: ING. MAURICIO BARROS	UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Fecha: 05/04/08
BANCO DE PRUEBAS PARA BOMBAS DE INYECCIÓN DIESEL		Nombre: RAFAEL PERALTA/CHRISTIAN ICAZA	Escala: 1:3
		Tema: BASE PARA LA BOMBA TIPO A	

2.3 Cálculos de los principales elementos mecánicos del banco de pruebas

Los cálculos que se elaboren van a permitir la construcción de los principales elementos mecánicos (poleas, perfil de la estructura, eje de transmisión, placas, depósito, etc.) del banco y la selección adecuada de otros como por ejemplo el tipo de motor eléctrico, que es el elemento que va a dar movimiento a las bombas de inyección que pueden ser comprobadas, en este caso bombas de inyección en línea tipos A y P de hasta 6 cilindros, obteniendo como resultado la construcción y selección adecuada de cada elemento para cumplir con el propósito de este proyecto.

2.3.1 Selección del motor eléctrico para el banco de pruebas empleando una bomba de inyección tipo A

Para realizar la selección del motor eléctrico que se debe emplear en el banco de pruebas, se va a efectuar una serie de cálculos matemáticos, partiendo de datos técnicos (**tabla 1**) con los que trabaja una bomba de inyección diesel.

Debido a que la capacidad de trabajo del banco de pruebas del presente proyecto es la de operar con bombas en línea tipo A y P de hasta 6 cilindros, se tomó como referencia para el cálculo de la potencia del motor eléctrico, una bomba de inyección tipo A del motor Diesel OM 366LA/EURO I de 6 elementos, de la marca Mercedes Benz. Por lo tanto, tomando los datos de su ficha técnica que son fundamentales para efectuar el cálculo y selección del motor eléctrico se tiene:

**Tabla 1. Datos de la bomba de inyección tipo A
(necesarios para efectuar la selección del motor eléctrico)**

DATOS DE LA BOMBA DE INYECCIÓN:	
Tipo de bomba:	PES6A
Velocidad máxima de trabajo:	1500-1900rpm (con regulador adosado)
Número de elementos:	6
Orden de encendido:	1-3-5-6-2-4
Presión de inyección:	200 bar (2900, 75 lb./plg ²)
Diámetro del elemento:	9,5mm (0,37plg)
Tipo de regulador:	RQV (masa: 5 lb. Aprox.)

En la **tabla 2**, se puede observar la ficha técnica¹⁷ de la bomba de inyección PES6A95D410RS2886.

Tabla 2. Ficha con los datos técnicos de la bomba de inyección PES6A95D410RS2886

BOSCH Valores de comprobación EP, equipo de comprobación diesel -----Modo de comprobación:Comprobar --Página:1							
Fecha de comprobación		25/12/2004 Tiempo: 09:24:57			Orden:		
DATOS DE COMBINACIÓN Y DE CLIENTE							
DATOS DE COMBINACIÓN							
Edición		25,02,97					
Num. combinación		9 400 085 391					
Bomba de inyección							
Designación bomba		PES6A95D410RS2886					
Num. De tipo EP		9 400 084 039					
Regulador							
Desig. regulador		RQV300,,1300AB1310L					
Num. Tipo regul.		9 420 080 388					
Num. del cliente		260745802					
DATOS DEL CLIENTE							
Cliente		MBB					
Motor		OM 366LA/EURO I					
Potencia		150.0 KW					
CONDICIONES DE ENSAYO							
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales	AT
	Aceite de ensayo		ISO 4113				
	Tubería afluencia		4.1				
	Temp. Entrada aceite de ensayo	°C	40	38.0	42.0		
	válvula de rebose		1 419 992 198				
	Pres.entrada	bar	1.5	1.5	1.5		
	Combinación porta-inyectores de ensayo		0 681 343 009				
	Presión de apertura	bar	173.5 - 200	172.0	175.0		
	Tubería impulsión ensayo		1 680 750 015				
	Diámetro exterior	mm	6.0				
	x Diámetro interior	mm	3.0				
	x longitud	mm	600				
VALORES DE AJUSTE DE INYECCIÓN : COMIENZO DE ALIMENTACIÓN							
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales	AT
V	Pres. ensayo	bar	26.0	25.0	27.0		
V	Carrera regulac.	mm	10.50	9.00	12.25		
Ü	Carrera previa (desde PMI)	mm	3.00	2.90	3.10		
	Orden de levas		1-5-3-6-2-4				
	Decalaje angular comienzo alimenta °arb/levas		0-60-120-180-				
			240-300				
Ü	Toler.comprobac.°arbo de levas		"±-0.75				
	Cilindros 1	°arb.Jevas	0				
	Cilindros 5	°arb.Jevas	60	59.25	60.75		
	Cilindros 3	°arb.Jevas	120	119.25	120.75		
	Cilindros 6	°arb.Jevas	180	179.25	180.75		
	Cilindros 2	°arb.Jevas	240	239.25	240.75		
	Cilindros 4	°arb.Jevas	300	299.25	300.75		
AJUSTE BOMBA INYECCION CON REGULADOR ADOSADO: RECORRIDO DE MANGUITO/POSICION DE MANGUITO							
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales	AT
V	Régimen	1/min	1500	1500	1900	1500	

¹⁷ Microficha técnica de la bomba PES6A95D410RS2886. Laboratorio Diesel ECUACHILE. Cuenca-Ecuador

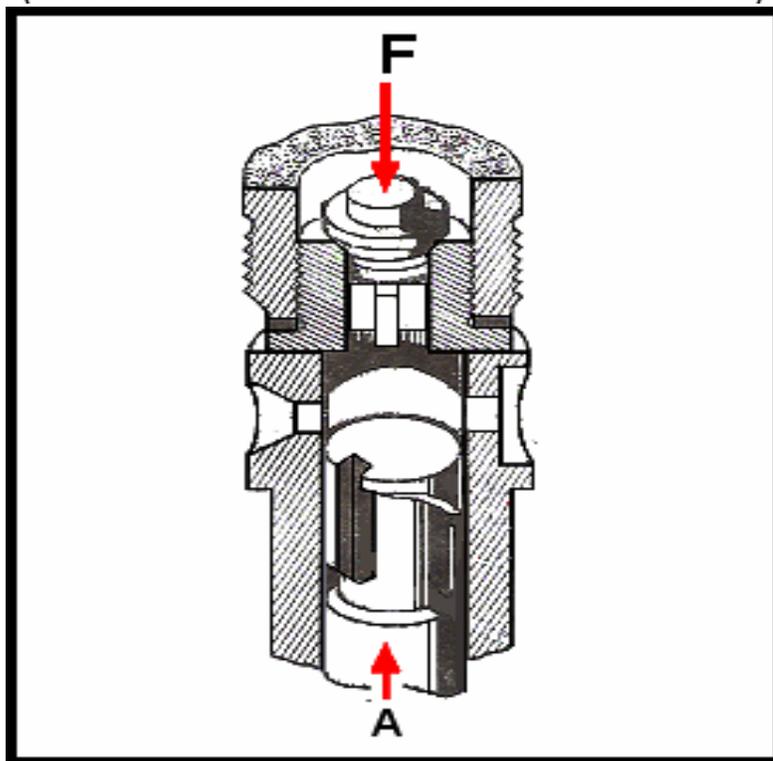
Además de los datos anotados anteriormente, se posee las medidas de las levas del árbol de levas, las cuales serán expuestas posteriormente y presentan como principal característica que son de tipo asimétrico.

Empleando los datos reales que se tienen en la ficha técnica, se realiza primero en este caso el análisis de la fuerza que ejerce sobre la superficie de cada uno de los elementos de bombeo la presión de inyección.

2.3.1.1 Cálculo de la fuerza (F) ejercida sobre el elemento de bomba

El cálculo de la fuerza (F) (**Fig.51**) que actúa sobre cada elemento de bombeo es necesario para determinar: rozamiento, torque y fuerza que se produce entre el elemento de bombeo, muelle, taqué y leva del eje de levas al momento en el que la bomba de inyección dosifica el combustible, por tal motivo el motor eléctrico, debe tener la suficiente potencia para vencer la resistencia que todos estos factores y elementos provocan durante la inyección del combustible.

Figura 51. Fuerza (F) producida por la presión de inyección (ALONZO PEREZ. José Manuel. Técnicas del automovil.)



La fuerza (**F**) se obtiene de la presión de inyección (200bars-2900,75psi). Para ello es necesario conocer el diámetro del elemento de bombeo y determinar el área de la parte superior o cabeza aplicando la siguiente ecuación:

$$A_o = \frac{\pi(\phi_{elemento})^2}{4} \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

π = Constante de calculo PI.

$\phi_{elemento}$ = Diámetro del elemento de bombeo

A_o = Área de la parte superior del elemento de bombeo

Reemplazando los datos conocidos en la ecuación 1 se tiene:

$$A_o = \frac{\pi(0,37 \text{ plg})^2}{4}$$

$$A_o = 0,108 \text{ plg}^2 \quad (6,97^{-05} \text{ m}^2)$$

Finalmente, para conocer la fuerza aplicada sobre el elemento de bombeo se emplea la ecuación 2, mediante la cual se relaciona al área del elemento y a la presión de inyección:

$$P = \frac{F}{A_o} \quad \text{Ecuación 2}$$

En donde:

P = Presión de inyección (psi)

F = Fuerza ejercida sobre la cabeza del elemento de bombeo (lb.)

A_o = Área del elemento de bombeo (plg²)

Despejando F de la ecuación 2 se obtiene:

$$F = P.A$$

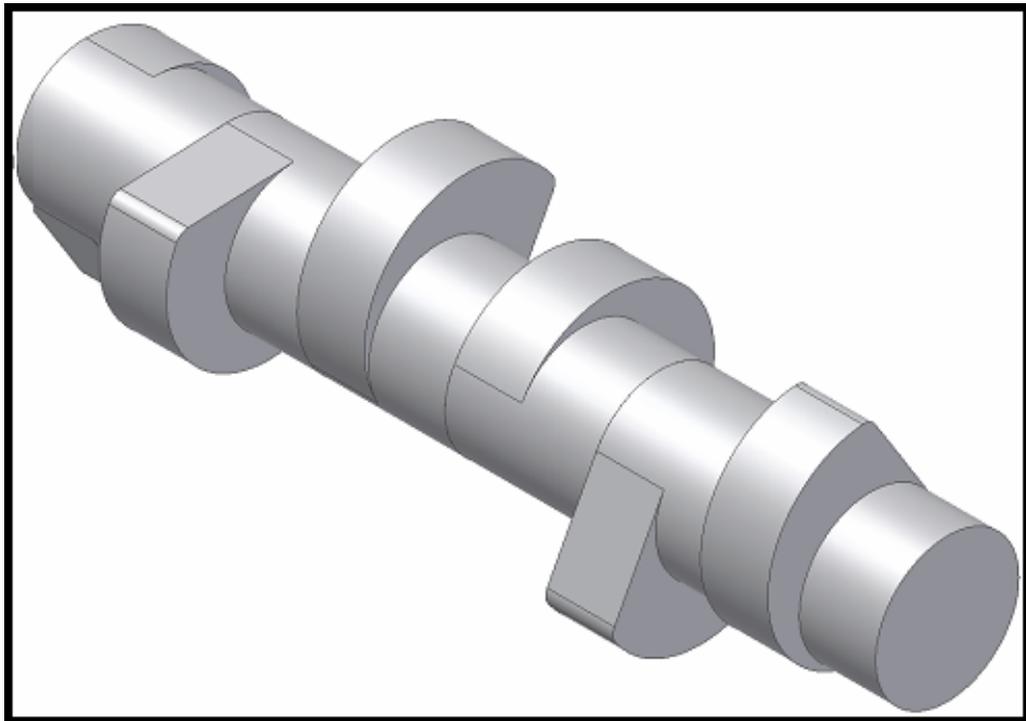
$$F = (2900,75 \text{ lb} / \text{plg}^2). (0,108 \text{ plg}^2)$$

$$F = 311,89 \text{ lb} \quad (1387,35 \text{ N}) = \text{Fuerza útil (Fu)}$$

En donde **Fu** es la fuerza que actúa en la cabeza del elemento de bombeo

En la **figura 52**, se observa el eje de levas de la bomba PES6A95D410RS2886 con sus levas dispuestas de acuerdo al orden de encendido (1-5-3-6-2-4); cada leva va a estar en diferente posición, por lo tanto el análisis de las fuerzas ejercidas por las levas a sus taqués y luego al elemento de bombeo es obtenido a diferentes ángulos de contacto. Para calcular el torque que va a generarse en el eje de levas, los puntos de contacto han de estar determinados por los grados de desplazamiento de cada leva, que va desde 0 a 360 grados con rangos de variación entre levas de 60 grados ($360^\circ/6$).

Figura 52. Eje de levas de la bomba de inyección PES6A95D410RS2886 (HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel)



2.3.1.2 Cálculo de la fuerza (F_m) necesaria para vencer la resistencia de los muelles de la bomba de inyección

Para iniciar la inyección de combustible, la leva del eje en el cilindro 1 se encuentra en el punto inicial de empuje (0 grados) con respecto a su taqué, la cámara de inyección del cilindro 1 en este momento debe estar llena y la leva se dispone a empujar al elemento de bombeo para iniciar la inyección del combustible, para ello necesita vencer a más de la presión de apertura para la inyección, la resistencia del muelle que mantiene al taqué en contacto con el eje de levas. El recorrido del

elemento de bombeo durante la carrera previa de acuerdo al valor teórico¹⁸ es de 3mm; en cambio, el muelle ya ensamblado en la bomba de inyección va a sufrir una deformación equivalente al valor de la altura de la leva, es decir igual a la carrera total del elemento de bombeo a plena carga (valor teórico: 12,25mm) desde que va del PMI al PMS.

El material con el que están fabricados los muelles es de un acero AISI 6150, que es una aleación de cromo - vanadio. En la **tabla 3**,¹⁹ se tiene las nominaciones de los aceros que se emplean en la fabricación de muelles y la aplicación para cada uno.

Tabla 3. Aceros de alto carbono y de aleación para resortes

NOMBRE DEL MATERIAL	DESIGNACIÓN	MÓDULO DE RIGIDEZ (Gpa)	DESCRIPCIÓN
Alambre para cuerda musical 0.80 – 0.95C	AISI 1085	80 a 82,7	Mejor material, tenaz y muy utilizado en resortes pequeños. Mayor resistencia a la tensión y a la fatiga.
Alambre revenido en aceite. 0.60 – 0.70C	AISI 1065	77,2	Uso general en resortes helicoidales Menos costoso que el AISI 1085 No se emplea para soportar cargas de choque
Alambre estirado duro 0.60-0.70C	AISI 1066	80,7 a 78,6	Para resortes de uso general menos costoso. Debe utilizarse donde la duración y deformación no es importante
Al cromo-vanadio	AISI 6150	77,2	Alta resistencia a la fatiga y durabilidad Sopota cargas de choque Se utiliza para las válvulas de los motores
Al cromo-silicio	AISI 9254	77,2	Resortes que soportan altos esfuerzos que requieren larga vida y trabajan sometidos a cargas de choque.

Asimismo, para el cálculo se cuenta con las dimensiones de los muelles (**Fig. 53**), que van a permitir determinar la fuerza de oposición que estos presentan a la leva durante su empuje. Las medidas que se tienen en los muelles de la bomba de inyección PES6A son²⁰ :

d (Diámetro del alambre) = 4mm

Lo (Longitud libre) = 53mm

Na (Número de espiras) = 7 completas

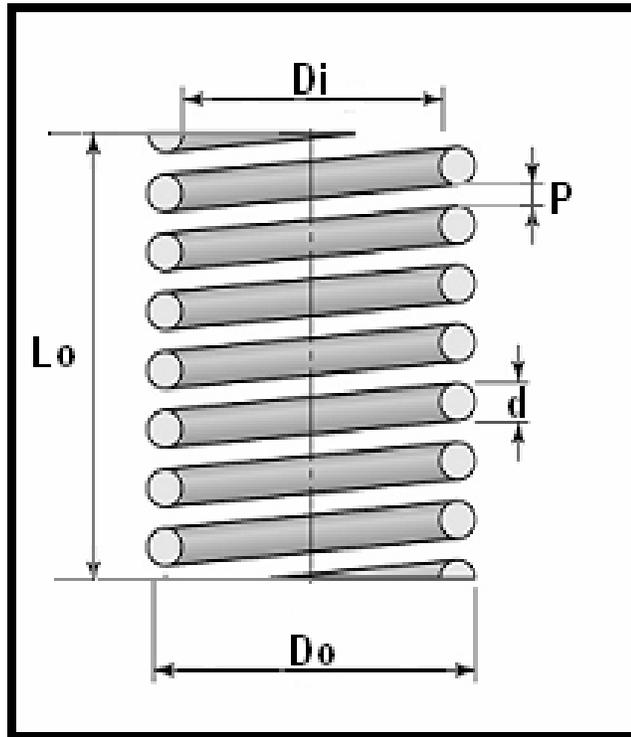
¹⁸ Microficha técnica de la bomba PES6A. Laboratorio Diesel ECUACHILE. Cuenca-Ecuador

¹⁹ SHIGLEY. Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. Nueva York. McGraw-Hill2004. 1257pgs. Sexta edición.

²⁰ Datos obtenidos en el laboratorio Diesel ECUACHILE. Cuenca. Ecuador

- P** (Paso de espiras) = 4,25mm
Do (Diámetro exterior de la espira) = 28,5mm
Di (Diámetro interior de la espira) = 20,4mm
D (Diámetro medio) = $Do - d = 24,5$ mm
Le (Longitud ensamblada) = 48mm
Lt (Longitud de trabajo) = 40,75mm

Figura 53. Dimensiones de un muelle helicoidal (LAFORA. José Ma. Motores Diesel.)



El número total de espiras (N_t) podría o no contribuir de manera activa a la deflexión del resorte, dependiendo del tratamiento dado en los extremos, se determinará el número de espiras activas (N_a).

En este caso los extremos de las espiras son rectificadas a escuadra y perpendiculares al eje del resorte, por lo tanto de la **figura 54** se obtiene la siguiente ecuación²¹:

$$N_t = N_a + 2 \quad \text{Ecuación 3}$$

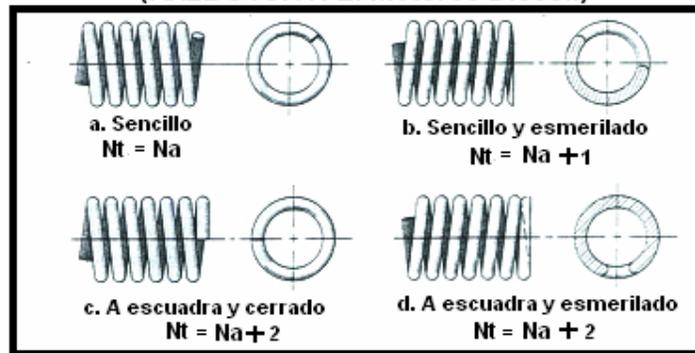
En donde:

N_t = Número de espiras totales

N_a = Número de espiras activas

²¹ Associated Spring-Barnes Group. Desing Handbook. Bristol. Conn. 1987.

Figura 54. Tipos de extremos empleados en resortes (RALBOVSKY. E. Motores Diesel.)



Tomando los valores de acuerdo a las características del muelle (**Fig. 54**), y empleando la ecuación 3 se tiene:

$$Nt = 7 + 2$$

$$Nt = 9 \text{ espiras}$$

Con el valor de la longitud que tiene el muelle cuando está ensamblado en la bomba de inyección, se tiene como dato la deflexión producida por una fuerza de precarga que va a permitir que el taqué se mantenga en contacto con el eje de levas en todo momento. Esta deflexión se denomina inicial y se obtiene así:

$$y_i = L_o - L_e \quad \text{Ecuación 4}$$

En donde:

y_i = Deflexión inicial
 L_o = Longitud libre
 L_e = Longitud ensamblada

Sustituyendo los valores de las longitudes en la ecuación 4 se tiene:

$$y_i = 53mm - 48mm$$

$$y_i = 5mm = \underline{\underline{0,005m}}$$

Para establecer la fuerza de precarga necesaria de montaje en el muelle se aplica la siguiente ecuación²²:

$$y_i = \frac{8.F_{\min}.D^3.N_a}{d^4.G} \quad \text{Ecuación 5}$$

En donde:

y_i = Deflexión inicial del resorte
F_{min} = Fuerza axial aplicada de precarga
D = Diámetro medio del resorte
N_a = Número de espiras activas
d = Diámetro del alambre
G = Módulo de rigidez (**Tabla 3. Pg 75**)

Despejando F_{min}. de la ecuación 5 se obtiene:

$$F_{\min} = \frac{y_i.d^4.G}{8.D^3.N_a} \quad \text{Ecuación 6}$$

Sustituyendo los valores conocidos en la ecuación 6 se tiene:

$$F_{\min} = \frac{(0,005m)(0,004m)^4 (7,72^{10} N / m^2)}{(8)(0,0245m)^3 (7)}$$

$$F_{\min} = \underline{\underline{119,98 N}} \quad (26,97lb)$$

Por lo tanto, la fuerza de precarga con la que el muelle trabaja en la bomba de inyección (PES6A) es de 119,98N. Que para efectos de cálculo se representará como **F_{m min}**.

Midiendo la altura del muelle²³ cuando se encuentra comprimido por su leva y taqué, se puede conocer que la deflexión que va a sufrir el muelle en esta bomba es de 12,25mm; es decir, está comprimiéndose 7,25mm más que cuando se encuentra con la deflexión de precarga, y para estipular la fuerza que se requiere realizar sobre el

²² SHIGLEY. Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. Nueva York. McGraw-Hill2004. 1257pgs. Sexta edición.

²³ Datos obtenidos en el laboratorio Diesel ECUACHILE. Cuenca. Ecuador

muelle para comprimirlo durante el accionamiento de la leva sobre el taqué es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$y_t = \frac{8.F_{\max}.D^3.Na}{d^4.G} \quad \text{Ecuación 7}$$

En donde:

y_t = Deflexión total del resorte
F_{max} = Fuerza axial aplicada
D = Diámetro medio del resorte
Na = Número de espiras activas
d = Diámetro del alambre
G = Módulo de rigidez (**Tabla 3**)

Despejando F_{max} de la ecuación 7 se obtiene:

$$F_{\max} = \frac{y_t.d^4.G}{8.D^3.Na} \quad \text{Ecuación 8}$$

La deflexión total del resorte se puede determinar de la siguiente ecuación:

$$y_t = y_i + (L_e - L_t) \quad \text{Ecuación 9}$$

En donde:

y_t = Deflexión total del resorte
y_i = Deflexión inicial del resorte
L_e = Longitud ensamblada del resorte
L_t = Longitud de trabajo del resorte

Se tiene entonces:

$$y_t = 5mm + (48mm - 40,75mm)$$

$$y_t = 12,25mm = \underline{\underline{(0,012m)}}$$

Sustituyendo los valores conocidos en la ecuación 8 se tiene:

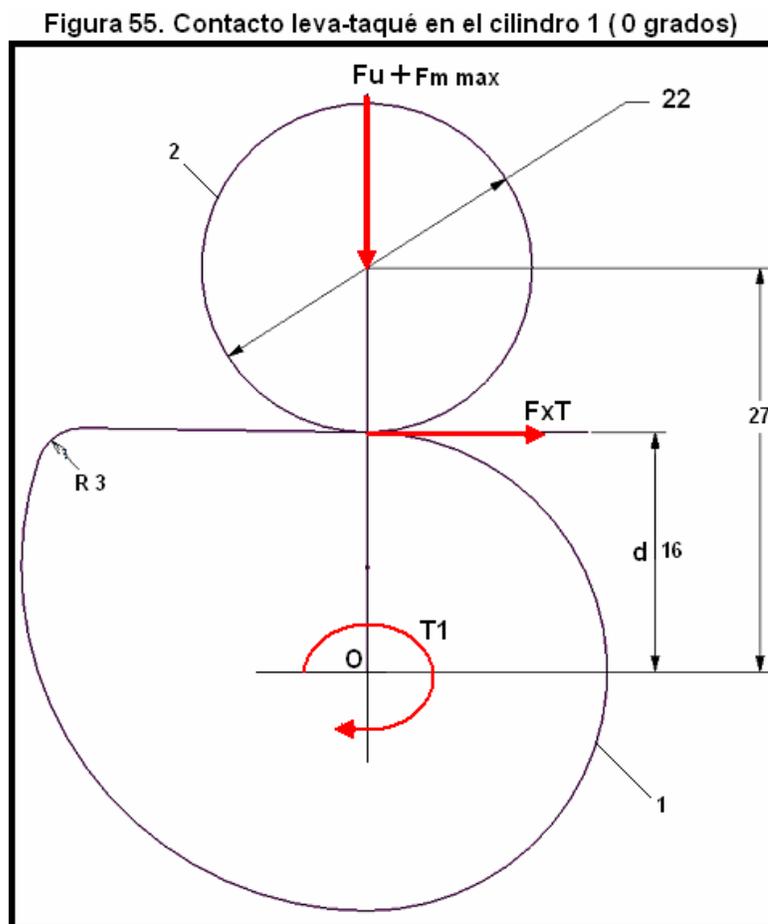
$$F_{\max} = \frac{(0,012m)(0,004m)^4 (7,72^{10} N / m^2)}{(8)(0,0245m)^3 (7)}$$

$$F_{\max} = \underline{\underline{287,97 N}} \quad (64,73lb)$$

Consecuentemente se tiene que la fuerza que la leva necesita para comprimir el muelle del elemento de bombeo durante el trabajo a plena carga es de 287,97N. Esta fuerza será representada como **F_{m max.}** por efectos de cálculo.

2.3.1.3 Cálculo del torque (T_1) producido en el cilindro del elemento 1

En la **figura 55**, se representa la leva (1) del eje de levas del cilindro 1 de una bomba de inyección tipo PES6A a los 0 grados, las levas del eje tienen forma asimétrica y las medidas que constan en la figura han sido tomadas de un eje de levas desmontado de dicha bomba; el taqué (2) está en contacto con el eje de levas gracias a la acción del muelle, por lo tanto en esta posición el torque que debe generar el motor para iniciar la inyección de combustible debe ser capaz de vencer la presión de apertura de inyección y la resistencia del muelle; el ángulo de presión es 0° en esta posición.



En el punto de contacto entre el taqué y la leva, se va a presentar un rozamiento que es igual al producto de la fuerza que en él actúa por el coeficiente de fricción existente entre los materiales en contacto. En la **tabla 4**, se tiene los coeficientes de fricción²⁴ para estos elementos según su material que es acero con acero en aceite.

²⁴ H.A. Rothbart, Mechanical. Design and Systems Handbook. Nueva York. Ed. Graw-Hill. 1985. 2da ed.

Tabla 4. Coeficientes de fricción μ para aplicaciones del acero

Material 1	Material 2			
	Acero	Bronce	Latón	Fundición de hierro
Acero, seco	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
Acero, aceite para máquina	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
Bronce	0.08-0.12	0.04-0.06	—	0.06-0.09

La fuerza total que actúa en el punto de contacto entre la leva y el taqué, es igual a la suma de la fuerza útil (F_u) y la fuerza ($F_m \max$) necesaria para comprimir el muelle durante la carrera total del elemento de bombeo, por lo tanto:

$$F_x T_1 = (F_u + F_m \max) \cdot \mu \quad \text{Ecuación 10}$$

En donde:

$F_x T$ = Fuerza que va a producir el torque (N)

F_u = Fuerza producida por la presión de inyección (N)

$F_m \max$ = Fuerza necesaria para comprimir el muelle del elemento de bombeo (N)

μ = Coeficiente de fricción (**Tabla 4 - Pg 81**)

$$\mu = 0,17 \text{ (coeficiente de fricción acero con acero en aceite)}$$

$$F_x T_1 = (1387,35N + 287,97N) \cdot (0,17)$$

$$F_x T_1 = \underline{\underline{284,80N}} \text{ (64,02lb)}$$

El torque T_1 que se produce en el eje de levas representado en la **figura 55**, viene dado por la siguiente ecuación²⁵ :

$$\begin{aligned} T &= F \cdot d \\ T_1 &= F_x T_1 \cdot d \end{aligned} \quad \text{Ecuación 11}$$

En donde:

T = Torque (T_1)

F = Fuerza ($F_x T_1$) = 251,29N

d = Distancia (d) = 0,016m

$$T_1 = (284,80N) \cdot (0,016m)$$

$$T_1 = \underline{\underline{4,56N \cdot m}} \text{ (39,69 lb.p lg)}$$

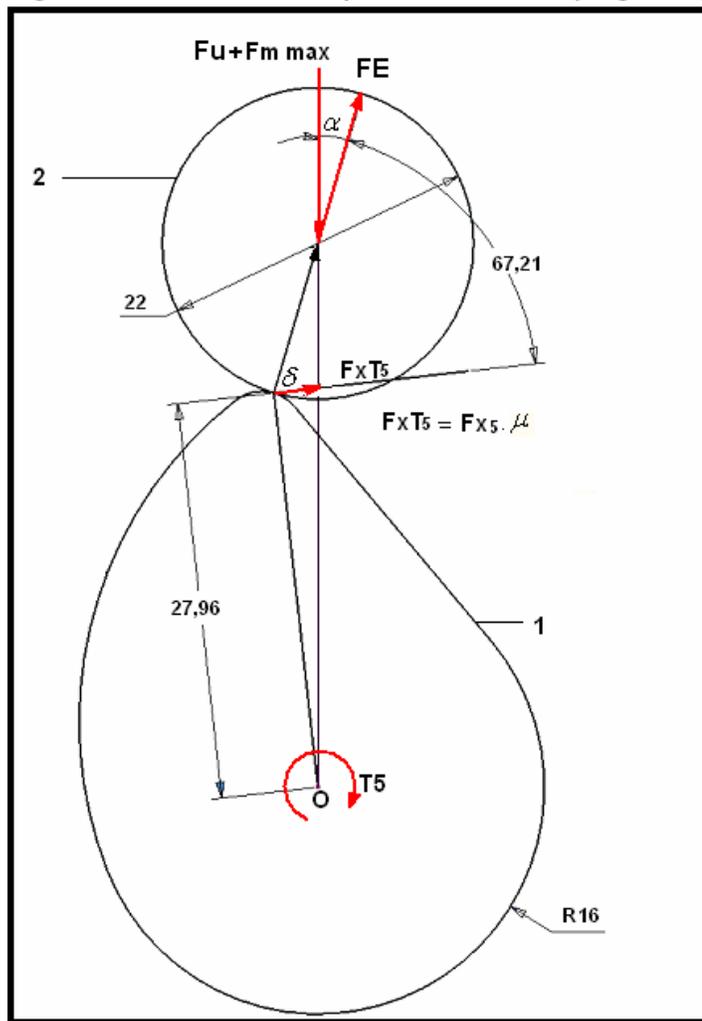
De esta forma, se tiene que el torque (T_1) producido por el contacto de los elementos (leva-taqué-muelle) que actúan en el cilindro 1 es de 4,56N.m.

²⁵ SHIGLEY. Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. Nueva York. McGraw-Hill2004. 1257pgs. Sexta edición.

2.3.1.4 Cálculo del torque (T5) producido en el cilindro del elemento 5

El torque necesario para accionar los elementos de los otros cilindros de la bomba de inyección va a depender de la posición en la que se halla ubicada cada una de las levas. En este caso cada leva se encuentra desplazada a 60 grados respecto a la otra ($360^\circ/6 = 60^\circ$), de acuerdo al orden de encendido (1-5-3-6-2-4). En la **figura 56**, se observa la posición de la leva del cilindro 5, desplazada a 60 grados con respecto a la leva del cilindro 1.

Figura 56. Contacto leva-taqué en el cilindro 5 (60 grados)



En esta posición, existe un ángulo de presión (α) formado entre la fuerza útil y la fuerza necesaria para levantar al taqué, al muelle y al elemento de bombeo, que se la ha denominado fuerza de empuje (FE). El cálculo de la misma, está en función de

la fuerza útil (F_u), de la fuerza que se necesita para comprimir al muelle ($F_m \max$) y del valor del ángulo de presión, aplicando la siguiente ecuación se tiene:

$$\boxed{\cos\alpha = \frac{F_u + F_m \max}{FE}} \quad \text{Ecuación 12}$$

En donde:

α = Ángulo de presión

Fu = Fuerza útil (producida por la presión de inyección)

Fm max = Fuerza requerida para comprimir al muelle del elemento de bombeo

FE = Fuerza de empuje

Por construcción ²⁶ (**Fig. 56**) se obtiene los siguientes valores:

$$\boxed{\begin{aligned} \alpha &= 16,24^\circ \\ \delta &= 67,21^\circ \\ d &= 0,027m \end{aligned}}$$

Despejando FE de la ecuación 12 se consigue:

$$\boxed{\begin{aligned} FE &= \frac{F_u + F_m \max}{\cos\alpha} \\ FE &= \frac{1387,35N + 287,97N}{\cos 16,24} \\ FE &= \underline{\underline{1744,94N}} = (392,27lb) \end{aligned}}$$

Cálculo de F_{x5} : (fuerza perpendicular al eje de giro de la leva 5 y que producirá un torque)

$$\boxed{\begin{aligned} \cos\delta &= \frac{F_{x_5}}{FE} = \frac{F_x T}{FE} \\ F_{x_5} &= FE \cdot \cos\delta \\ F_{x_5} &= 1744,94N \cdot \cos 67,21 \\ F_{x_5} &= \underline{\underline{675,91N}} = 151,95lb \end{aligned}}$$

²⁶ Inventor 9.0: Programa de computadora para diseño y dibujo técnico en animaciones 3D

Considerando el coeficiente de rozamiento (μ) en el punto de contacto se tiene:

$$F_{xT_5} = F_{x_5} \cdot \mu \quad \text{Ecuación 13}$$

En donde:

F_{xT_5} = Fuerza final que actúa perpendicular al eje de levas en el elemento 5
 F_{x_5} = Fuerza que actúa perpendicular la eje de levas en el elemento 5
 μ = Coeficiente de rozamiento (acero con acero en aceite. **Tabla 4 - Pg 81**)

$$F_{xT_5} = (675,91N) \cdot (0,17)$$

$$F_{xT_5} = \underline{\underline{114,90N}} = (25,83lb)$$

Aplicando la ecuación 11, se obtiene el torque que se produce en el cilindro del elemento 5:

$$T = F \cdot d$$

$$T = F_{xT_5} \cdot d$$

$$T = 114,90N \cdot (0,027m)$$

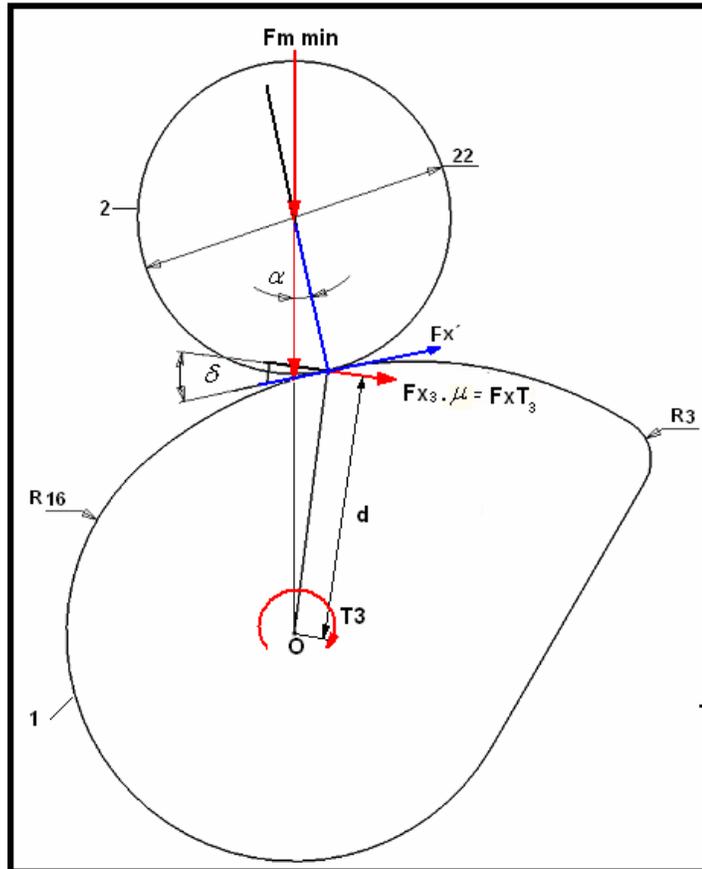
$$T_5 = \underline{\underline{3,10N \cdot m}} = (27,37lb \cdot plg)$$

Por lo tanto, el torque que se produce en el cilindro del elemento de bombeo 5 es de 3,10N.m.

2.3.1.5 Cálculo del torque (T3) producido en el cilindro del elemento 3

El siguiente elemento de bombeo que se analizará de acuerdo al orden de encendido es el número 3, cuya leva se encuentra desplazada a 120 grados respecto a la leva del elemento de bombeo del cilindro 1. En la **figura 57**, se observa la posición en la que se encuentran los elementos del cilindro 3. En esta posición la leva (1) está descendiendo y recibe la fuerza del muelle que se está expandiendo y empujando al taqué (2), en este momento no actúa la fuerza útil (F_u) producto de la presión de inyección debido a que no hay inyección de combustible en el inyector del cilindro 3.

Figura 57. Contacto leva-taqué en el cilindro 3 (120 grados)



Así, se tiene que la fuerza que produce rozamiento y torque en los elementos de la bomba de inyección que corresponden al cilindro 3, corresponde a la fuerza de precarga ($F_m \text{ min.}$) con la que trabaja el muelle del elemento de bombeo de este cilindro.

*** Cálculo de la fuerza (F_x') :**

La fuerza F_x' es el resultado de la descomposición vectorial de la fuerza de precarga ($F_m \text{ min.}$) del muelle, en donde interviene el ángulo de presión (α). Por construcción (**Fig. 57**) se tiene:

$$\begin{aligned} \alpha &= 12,22^\circ \\ \delta &= 19,38^\circ \\ d &= 0,018m \end{aligned}$$

Aplicando la siguiente ecuación se obtiene:

$$\text{Sen } \alpha = \frac{F_{x'}}{F_{m \text{ min}}} \quad \text{Ecuación 14}$$

En donde:

α = Ángulo de presión

$F_{x'}$ = Componente vectorial de la fuerza de precarga ($F_{m \text{ min}}$) del muelle

$F_{m \text{ min}}$ = Fuerza de precarga con la que actúa el muelle del elemento de bombeo

$$\begin{aligned} F_{x'} &= (F_{m \text{ min}}) \cdot (\text{Sen } \alpha) \\ F_{x'} &= (119,98N) \cdot (\text{Sen } 12,22) \\ F_{x'} &= \underline{\underline{25,39N}} = (5,71lb) \end{aligned}$$

Para determinar el torque que efectúa el eje de levas en este cilindro, es necesario calcular la fuerza (F_{x3}) que actúa en el punto de contacto entre el taqué y la leva, y es perpendicular al eje de giro de la leva del cilindro 3. Así:

$$\text{Cos } \delta = \frac{(F_{x3})}{F_{x'}} \quad \text{Ecuación 15}$$

En donde:

δ = Ángulo de contacto

F_{x3} = Fuerza perpendicular al eje de giro de la leva del elemento 3 (sin considerar la fricción)

$F_{x'}$ = Componente vectorial de la fuerza de precarga del muelle del elemento 3

Despejando F_{x3} la ecuación 15:

$$\begin{aligned} F_{x3} &= (F_{x'}) \cdot (\text{Cos } \delta) \\ F_{x3} &= (25,39N) \cdot (\text{Cos } 19,38) \\ F_{x3} &= \underline{\underline{23,95N}} = (5,38lb) \end{aligned}$$

Considerando el coeficiente de rozamiento (μ), se obtiene el valor de la fuerza (F_{xT}) que finalmente es la que producirá un torque (T_3) en el eje de levas. Así, aplicando la siguiente ecuación para el elemento 3 se tiene:

$$F_{xT_3} = F_{x3} \cdot \mu \quad \text{Ecuación 16}$$

En donde:

F_{xT_3} = Fuerza final que actúa perpendicular al eje de levas en el elemento 3

F_{x3} = Fuerza que actúa perpendicular al eje de levas en el elemento 3

μ = Coeficiente de rozamiento (acero con acero en aceite. **Tabla 4 – Pg 81**)

$$\begin{aligned} F_{xT_3} &= (23,95N) \cdot (0,17) \\ F_{xT_3} &= \underline{\underline{4,07N}} = (0,91lb) \end{aligned}$$

Aplicando la ecuación 11 se obtiene:

$$T = F.d$$

$$T = F \times T_3 . d$$

$$T = 4,07 N . (0,018 m)$$

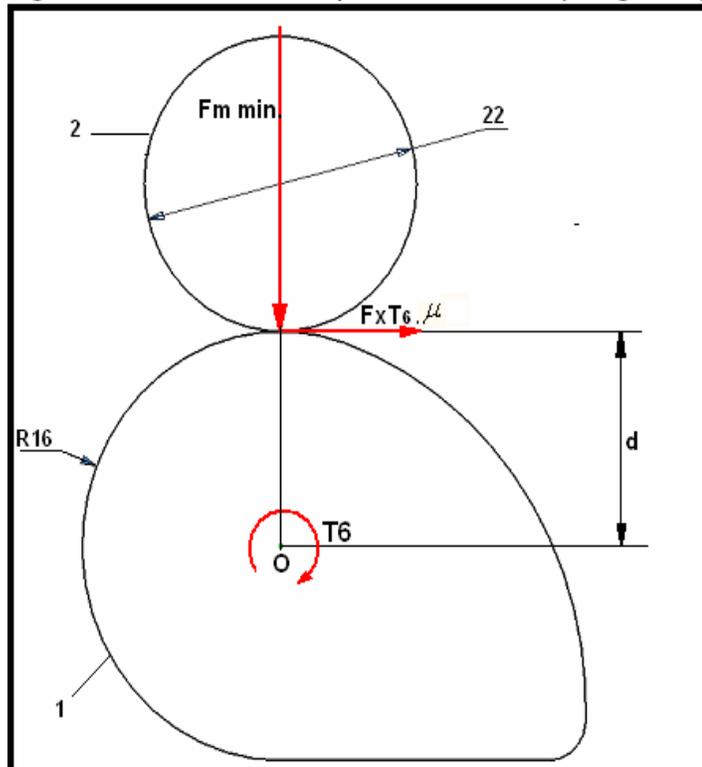
$$T_3 = \underline{\underline{0,073 N.m}} = (0,63 lb.p lg)$$

Por lo tanto, el torque que se produce en el cilindro del elemento de bombeo 3 es de 0,073N.m.

2.3.1.6 Cálculo del torque (T6) producido en el cilindro del elemento 6

Ahora, elemento de bombeo a ser analizado de acuerdo al orden de encendido es el número 6. En la **figura 58**, se observa la disposición de la leva (1) y de su taqué (2) del elemento 6, esta leva se encuentra desplazada a 180 grados con respecto a la leva del cilindro 1. El muelle del elemento de bombeo 6 actúa empujando al taqué contra la leva, la fuerza de empuje corresponde a la de precarga (Fm min.) y la presión de inyección es nula, por lo tanto no existe una fuerza útil producto de la inyección de combustible.

Figura 58. Contacto leva-taqué en el cilindro 6 (180 grados)



* **Cálculo de la fuerza (FxT₆):**

Para calcular la fuerza (FxT₆) perpendicular al eje de giro de la leva (1) y determinar el torque que ésta producirá, se debe tomar en cuenta el coeficiente de rozamiento (μ) y la fuerza de precarga del muelle que actúa sobre el taqué (Fm min.). Aplicando la siguiente ecuación se tiene:

$$FxT_6 = (Fm \text{ min.}) \cdot (\mu) \quad \text{Ecuación 17}$$

En donde:

FxT₆ = Fuerza final que actúa perpendicular al eje de levas en el elemento 6

Fm min. = Fuerza de precarga del muelle del elemento de bombeo

μ = Coeficiente de fricción (Tabla 4 – Pg. 81)

$$\begin{aligned} FxT_6 &= (119,98N) \cdot (0,17) \\ FxT_6 &= \underline{\underline{20,39N}} = (4,58lb) \end{aligned}$$

Por construcción²⁷ (Fig. 58) se tiene:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0^\circ \\ \delta &= 0^\circ \\ d &= 0,016m \end{aligned}$$

En este caso al no existir un ángulo de contacto, el torque en la leva del cilindro 6 será producido directamente por la fuerza (FxT₆) perpendicular al eje de giro de la leva, y aplicando la ecuación 11 para la leva del cilindro 6 se tiene:

$$\begin{aligned} T &= F \cdot d \\ T &= FxT_6 \cdot d \\ T &= (20,39N) \cdot (0,016m) \\ T_6 &= \underline{\underline{0,32N \cdot m}} = (2,88lb \cdot plg) \end{aligned}$$

Por lo tanto, el torque que se produce en el cilindro del elemento de bombeo 6 es de 0,32N.m.

²⁷ **Inventor 9.0: Programa de computadora para diseño y dibujo técnico en animaciones 3D**

2.3.1.7 Cálculo del torque (T2) producido en el cilindro del elemento 2

En la **figura 59**, se representa a los elementos del cilindro 2 de la bomba de inyección PES6A, en donde la leva se encuentra desplazada a 240 grados con respecto a la posición de la leva del cilindro 1.

En este momento (**Fig.59**), el muelle del elemento de bombeo se encuentra actuando con su fuerza de precarga sobre el taqué empujándolo contra su leva; la presión de inyección es nula, por lo tanto no existe una fuerza útil (Fu) producida por la inyección.

* Cálculo de la fuerza FxT2:

Esta posición (**Fig. 59**), es similar a la representada en la **figura 58**, es decir que para determinar el valor de la fuerza perpendicular (FxT2) al eje de giro de la leva del cilindro 2, únicamente interviene la fuerza de precarga (Fm min.) del muelle del correspondiente elemento de bombeo y el coeficiente de rozamiento (μ).

Por lo tanto, aplicando la ecuación 17 para el cilindro 2 de la bomba de inyección se tiene:

$$FxT_2 = (Fm \text{ min.}) \cdot (\mu) \quad \text{Ecuación 18}$$

En donde:

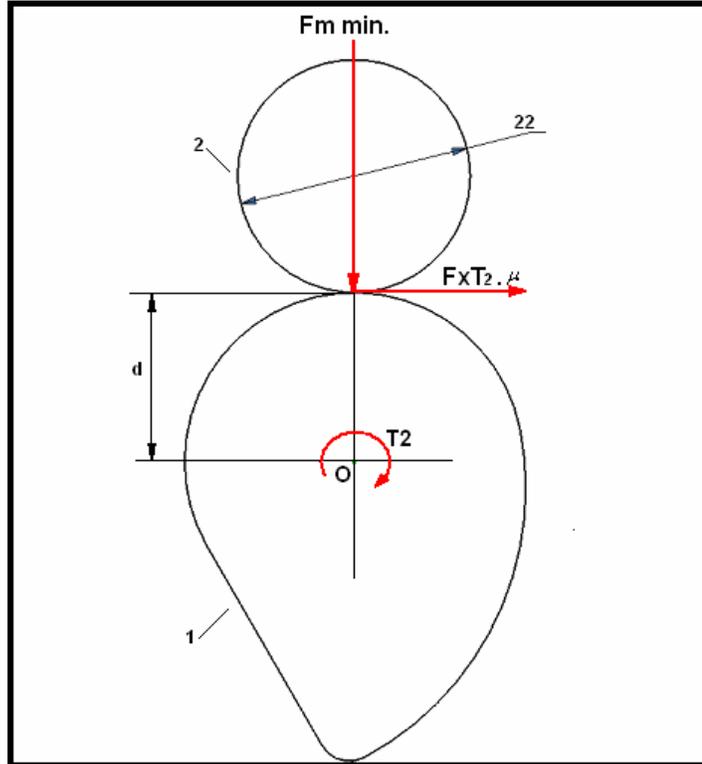
FxT2 = Fuerza final que actúa perpendicular al eje de levas en el elemento 2

Fm min. = Fuerza de precarga del muelle del elemento de bombeo

μ = Coeficiente de fricción (**Tabla 4 – Pg. 81**)

$$\begin{aligned} FxT_2 &= (119,98N) \cdot (0,17) \\ FxT_2 &= \underline{\underline{20,39N}} = (4,58lb) \end{aligned}$$

Figura 59. Contacto leva - taqué en el cilindro 2 (240 grados)



Por construcción²⁸ (Fig. 59) se tiene:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0^\circ \\ \delta &= 0^\circ \\ d &= 0,016m \end{aligned}$$

De igual manera que en el caso del cilindro 6, no existe un ángulo de contacto entre los elementos del cilindro 2, la fuerza (FxT_2) producirá directamente un torque sobre el eje de levas y aplicando la ecuación 11 para los elementos de este cilindro se obtiene:

$$\begin{aligned} T &= F.d \\ T &= FxT_2.d \\ T &= (20,39N).(0,016m) \\ T2 &= \underline{\underline{0,32N.m}} = (2,88lb.plg) \end{aligned}$$

Por lo tanto, el torque que se produce en el cilindro del elemento de bombeo 2 es de 0,32N.m.

²⁸ Inventor 9.0: Programa de computadora para diseño y dibujo técnico en animaciones 3D

2.3.1.8 Cálculo del torque (T4) producido en el cilindro del elemento 4

Finalmente, de acuerdo al orden de encendido, el siguiente elemento de bombeo a ser analizado es el número 4. La leva de este cilindro, se encuentra desplazada a 300 grados con respecto a la leva del cilindro 1, con la cual se cerraría el ciclo de trabajo de 360 grados.

En esta posición (**Fig. 60**), los elementos del cilindro 4, se encuentran dispuestos de forma que no existe ningún ángulo de contacto y la presión de inyección en este momento es nula; es decir que los cálculos que deben realizarse son similares a los de los elementos de los cilindros 2 y 6.

* Cálculo de la fuerza F_{xT_4} :

De acuerdo a la **figura 60**, se tiene que la fuerza que empuja al taqué (2) contra la leva (1), es la de precarga ($F_{m \text{ min}}$) del muelle del elemento de bombeo; consecuentemente la fuerza (F_{xT_4}) que actúa perpendicular al eje de giro de la leva del cilindro 4 resulta del producto de la fuerza de precarga ($F_{m \text{ min}}$) y del coeficiente de fricción (μ).

Por lo tanto, aplicando la ecuación 17 para el cilindro 4, se obtiene:

$$F_{xT_4} = (F_{m \text{ min}}) \cdot (\mu) \quad \text{Ecuación 19}$$

En donde:

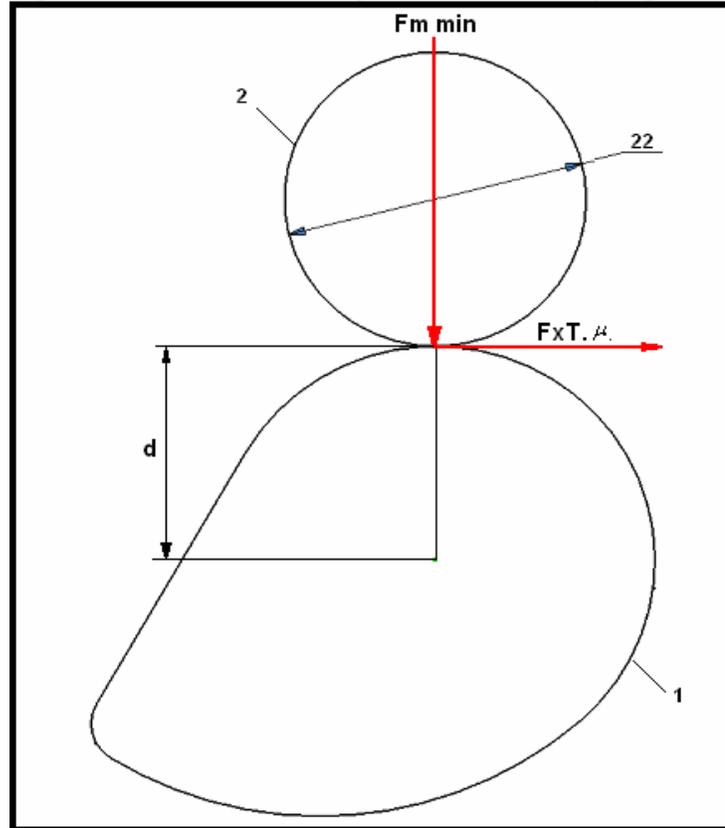
F_{xT_4} = Fuerza final que actúa perpendicular al eje de levas en el elemento 4

$F_{m \text{ min}}$ = Fuerza de precarga del muelle del elemento de bombeo

μ = Coeficiente de fricción (**Tabla 4 – Pg. 81**)

$$\begin{aligned} F_{xT_4} &= (119,98N) \cdot (0,17) \\ F_{xT_4} &= \underline{\underline{20,39N}} = (4,58lb) \end{aligned}$$

Figura 60. Contacto leva-taqué en el cilindro 4 (300 grados)



Por construcción²⁹ (Fig. 60) se tiene:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0 \\ \delta &= 0 \\ d &= 0,016m \end{aligned}$$

La fuerza (FxT_4) producirá directamente un torque sobre el eje de levas del cilindro 4 y aplicando la ecuación 11 para este cilindro se obtiene:

$$\begin{aligned} T &= F.d \\ T &= FxT_4.d \\ T &= (20,39N).(0,016m) \\ T_4 &= \underline{\underline{0,32N.m}} = (2,88lb.plg) \end{aligned}$$

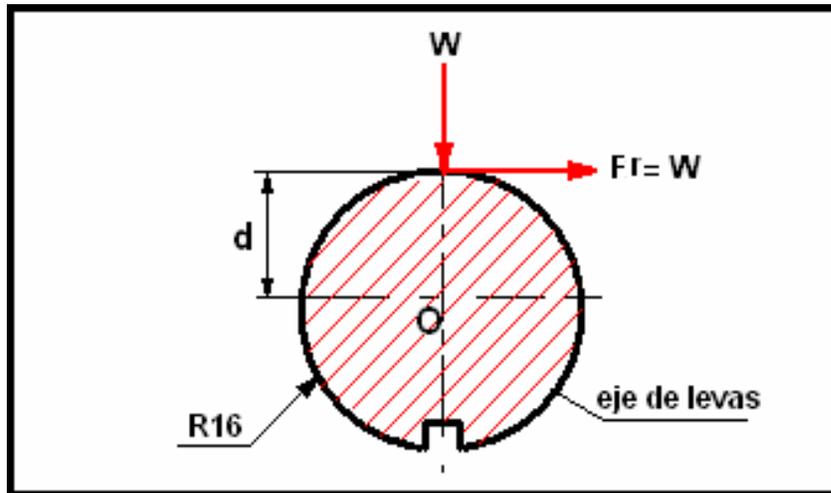
Por lo tanto, el torque que se produce en el cilindro del elemento de bombeo 4 es de 0,32N.m.

²⁹ Inventor 9.0: Programa de computadora para diseño y dibujo técnico en animaciones 3D

2.3.1.9 Torque producido por el regulador de la bomba de inyección (PES6A..)

Además de los torques generados por las levas en el eje, existe el torque producido por el peso del regulador mecánico. En la **figura 61**, se observa la disposición de las fuerzas producidas por el regulador que actúan en el eje de levas.

Figura 61. Fuerzas del regulador que actúan en el eje de levas



La masa del regulador mecánico de la bomba de inyección PES6A, es de 2,27 kg (51b) aproximadamente, para determinar la fuerza (W) que este elemento genera se aplicará la siguiente ecuación³⁰:

$$W = (m) \cdot (g) \quad \text{Ecuación 20}$$

En donde:

W = peso
 m = masa
 g = gravedad

Resolviendo la ecuación 20 con los datos conocidos:

$$W = (2,27 \text{ Kg}) \cdot (9,8 \frac{m}{s^2})$$

$$W = \underline{\underline{22,27 \text{ N}}}$$

³⁰ Larousse. Física. Francia. Editorial Printer Colombiana Ltda.1992. 202Pgs.

Considerando que no existe rozamiento entre el regulador y el eje de levas, sino únicamente hay un arrastre de este elemento producido por la fuerza que el peso del regulador ejerce sobre el eje, se obtiene la fuerza (Fr) perpendicular al eje de levas, la cual genera un torque en el mismo. Así:

$$Fr = (W) \quad \text{Ecuación 21}$$

En donde:

Fr = Fuerza perpendicular la eje de levas

W = Peso del regulador mecánico de la bomba de inyección

$$Fr = 22,27N \quad (4,99lb)$$

La distancia (d) que va desde el punto de contacto entre el regulador y su apoyo y el centro del eje de levas es de 0,016m, valor que ha sido obtenido mediante la medición del eje de levas desmontado de la bomba de inyección³¹. Por lo tanto:

$$T0 = (Fr).(d) \quad \text{Ecuación 22}$$

En donde:

T0 = Torque necesario para mover al regulador mecánico

Fr = Fuerza perpendicular al eje de levas en el punto 0 (**Fig.61**)

d = Distancia del punto de contacto al centro del eje de levas

$$T0 = (22,27N).(0,016m)$$

$$T0 = 0,36N.m = (3,14lb.p\lg)$$

De esta manera, se tiene que el torque necesario para mover al regulador mecánico es de 0,36N.m.

2.3.1.10 Cálculo del torque total efectuado por el eje de levas

El eje de levas, debe realizar un gran esfuerzo (torque), para desplazar a los elementos internos (taqués, muelles, elementos de bombeo, regulador) que constituyen la bomba de inyección y que son movidos por las diferentes levas del eje. Para que el eje de levas pueda efectuar este trabajo, debe recibir la suficiente energía,

³¹ Datos obtenidos en el laboratorio Diesel ECUACHILE. Cuenca. Ecuador.

que durante su funcionamiento la recibe del motor Diesel, pero en el banco de pruebas debe recibirla de un motor eléctrico, capaz de generar la suficiente potencia para mover al eje de levas a diferentes velocidades de trabajo, por lo tanto es necesario conocer el torque total que el eje de levas necesita para girar los 360 grados y completar un ciclo de su trabajo.

Aplicando la siguiente ecuación se suman todos los torques parciales y se obtiene el torque total:

$$T_{TOTAL} = T1 + T2 + T3 + T4 + T5 + T6 + T0 \quad \text{Ecuación 23}$$

$$T_{TOTAL} = 4,56N.m + 0,32N.m + 0,073N.m + 0,32N.m + 3,10N.m + 0,32N.m + 0,36N.m$$

$$T_{TOTAL} = \underline{\underline{9,05N.m}} = (79,47lb.plg)$$

2.3.1.11 Cálculo de la potencia (P) del motor eléctrico, para mover a la bomba de inyección tipo A.

Para determinar la potencia necesaria y alcanzar el torque calculado a la velocidad de trabajo máxima de la bomba, se plantea la siguiente ecuación³²:

$$P = \frac{T \cdot \eta}{K} \quad \text{Ecuación 24}$$

En donde:

P = Potencia (Watts)

T = Torque (N.m)

η = Número de revoluciones por minuto, máximas a las que va a girar la bomba de inyección (rpm). (Tabla 1 – Pg. 70)

K = Coeficiente de cálculo de potencia para trabajar con Watts (Tabla 5)

Tabla 5. Factores de convergencia de potencia

Potencia (P)	Torque (T)	Velocidad Angular (n)	Factor de convergencia (K)
Hp	Lb.plg	Rpm	63025
CV	Kg,cm	Rpm	71600
W	N.m	Rpm	9,55

³² SHIGLEY. Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. Nueva York. McGraw-Hill2004. 1257pgs. Sexta edición.

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación 24 se obtiene:

$$T = T_{TOTAL} = 9,05N.m$$

$$\eta = 1900 \text{ rpm (Tabla 1 - Pg.70)}$$

$$K = 9,55 \text{ (Tabla 5 - Pg. 95)}$$

$$P = \frac{(9,05N.m).(1900rpm)}{9,55}$$

$$P = \underline{\underline{1800,52W}} = (2,41Hp)$$

Con el fin de prevenir fallas de funcionamiento se empleará en la ecuación 25 un factor de seguridad (n) de 2. Así:

$$P_{TOTAL} = (P).(n) \quad \text{Ecuación 25}$$

En donde:

P_{TOTAL} = Potencia total para la selección del motor eléctrico
P = Potencia parcial (sin el factor de seguridad)
n = Factor de seguridad

$$P_{TOTAL} = (1800,52 W).(2)$$

$$P_{TOTAL} = \underline{\underline{3601,04 W}} = (4,82Hp)$$

Por lo tanto el motor eléctrico que debe ser empleado en el banco de pruebas ha de tener una potencia de 3,6 Kw ~ 5 Hp.

2.4 Selección del motor eléctrico para el banco de pruebas empleando una bomba de inyección tipo P

Siguiendo el mismo proceso, ecuaciones, nomenclatura y cálculo efectuado para la bomba tipo A, se realiza para la de tipo P; con una variación única de medida en el diámetro del elemento de bombeo (Tabla 6)³³, así:

**Tabla 6. Datos de la bomba de inyección tipo P
(necesarios para efectuar la selección del motor eléctrico)**

DATOS DE LA BOMBA DE INYECCIÓN:	
Tipo de bomba:	PES6P
Velocidad máxima de trabajo:	1500-1900rpm (con regulador adosado)
Número de elementos:	6
Orden de encendido:	1-3-5-6-2-4
Presión de inyección:	200 bar (2900, 75 lb./plg ²)
Diámetro del elemento:	12mm (0.47 plg)
Tipo de regulador:	RQV (masa: 5 lb. Aprox.)

$\phi_{elemento}$ = Diámetro del elemento de bombeo bomba tipo P = 12mm

De la ecuación 1, se obtiene:

$$A_o = \frac{\pi(\phi_{elemento})^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi(0,47 \text{ plg})^2}{4}$$

$$A_o = \underline{\underline{0,173 \text{ plg}^2}} = (1,12^{-4} \text{ m}^2)$$

De la ecuación 2, se obtiene:

$$P = \frac{F}{A_o}$$

$$F = P.A$$

$$F = (2900,75 \text{ lb} / \text{plg}^2).(0,173 \text{ plg}^2)$$

$$F = 501,83 \text{ lb} = \underline{\underline{2232,25 \text{ N}}} = \text{Fuerza útil}(F_u)$$

³³ Laboratorio Diesel ECUACHILE. Cuenca. Ecuador.

a. Cálculo del torque producido en el cilindro 1:

De la ecuación 10 se tiene:

$$FxT_1 = (Fu + Fm \max) \cdot \mu$$

$$\begin{aligned} \mu &= 0,17 \text{ (coeficiente de fricción acero con acero en aceite)} \\ FxT_1 &= (2232,25N + 287,97N) \cdot (0,17) \\ FxT_1 &= \underline{\underline{428,44N}} \text{ (96,32lb)} \end{aligned}$$

De la ecuación 11 se tiene:

$$\begin{aligned} T &= F \cdot d \\ T_1 &= FxT_1 \cdot d \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_1 &= (428,44N) \cdot (0,016m) \\ T_1 &= \underline{\underline{6,86N \cdot m}} \text{ (59,72 lb.p lg)} \end{aligned}$$

b. Cálculo del torque producido en el cilindro 5:

Despejando FE de la ecuación 12 se consigue:

$$\begin{aligned} FE &= \frac{Fu + Fm \max}{\cos \alpha} \\ FE &= \frac{2232,25N + 287,97N}{\cos 16,24} \\ FE &= \underline{\underline{2624,96N}} = (590,11lb) \end{aligned}$$

Cálculo de Fx₅: (fuerza perpendicular al eje de giro de la leva 5 y que producirá un torque)

$$\begin{aligned} \cos \delta &= \frac{Fx_5}{FE} = \frac{FxT}{FE} \\ Fx_5 &= FE \cdot \cos \delta \\ Fx_5 &= 2624,96N \cdot \cos 67,21 \\ Fx_5 &= \underline{\underline{1016,79N}} = 228,58lb \end{aligned}$$

Considerando el coeficiente de rozamiento (μ) en el punto de contacto, en la ecuación 13 se tiene:

$$FxT_5 = Fx_5 \cdot \mu$$

$$FxT_5 = (1016,79N) \cdot (0,17)$$

$$FxT_5 = \underline{\underline{172,85N}} = (38,86lb)$$

Aplicando la ecuación 11, se obtiene el torque que se produce en el cilindro del elemento 5:

$$T = F \cdot d$$

$$T = FxT_5 \cdot d$$

$$T = 172,85N \cdot (0,027m)$$

$$T5 = \underline{\underline{4,67N \cdot m}} = (41,19lb \cdot p1g)$$

c. Cálculo del torque producido en el cilindro 3:

De la ecuación 16, se tiene:

$$FxT_3 = Fx_3 \cdot \mu$$

$$FxT_3 = (23,95N) \cdot (0,17)$$

$$FxT_3 = \underline{\underline{4,07N}} = (0,91lb)$$

Aplicando la ecuación 11 se obtiene:

$$T = F \cdot d$$

$$T = FxT_3 \cdot d$$

$$T = 4,07N \cdot (0,018m)$$

$$T3 = \underline{\underline{0,073N \cdot m}} = (0,63lb \cdot p1g)$$

d. Cálculo del torque producido en el cilindro 6:

Aplicando la ecuación 17 se tiene:

$$FxT_6 = (Fm \min) \cdot (\mu)$$

$$FxT_6 = (119,98N) \cdot (0,17)$$

$$FxT_6 = \underline{\underline{20,39N}} = (4,58lb)$$

Aplicando la ecuación 11 se obtiene:

$$\begin{aligned}
 T &= F \cdot d \\
 T &= FxT_6 \cdot d \\
 T &= (20,39N) \cdot (0,016m) \\
 T6 &= \underline{\underline{0,32N \cdot m}} = (2,88lb \cdot plg)
 \end{aligned}$$

e. Cálculo del torque producido en el cilindro 2:

Empleando la ecuación 18, se tiene:

$$FxT_2 = (Fm \min) \cdot (\mu)$$

$$\begin{aligned}
 FxT_2 &= (119,98N) \cdot (0,17) \\
 FxT_2 &= \underline{\underline{20,39N}} = (4,58lb)
 \end{aligned}$$

Aplicando la ecuación 11 para los elementos de este cilindro se obtiene:

$$\begin{aligned}
 T &= F \cdot d \\
 T &= FxT_2 \cdot d \\
 T &= (20,39N) \cdot (0,016m) \\
 T2 &= \underline{\underline{0,32N \cdot m}} = (2,88lb \cdot plg)
 \end{aligned}$$

f. Cálculo del torque producido en el cilindro 4:

Aplicando la ecuación 19 se obtiene:

$$FxT_4 = (Fm \min) \cdot (\mu)$$

$$\begin{aligned}
 FxT_4 &= (119,98N) \cdot (0,17) \\
 FxT_4 &= \underline{\underline{20,39N}} = (4,58lb)
 \end{aligned}$$

De la ecuación 11 para este cilindro se obtiene:

$$\begin{aligned}
 T &= F \cdot d \\
 T &= F \times T_4 \cdot d \\
 T &= (20,39N) \cdot (0,016m) \\
 T &= \underline{\underline{0,32N \cdot m}} = (2,88lb \cdot p \cdot lg)
 \end{aligned}$$

g. Cálculo del torque producido por el regulador de la bomba:

Aplicando la ecuación 20 se tiene:

$$W = (m) \cdot (g)$$

$$\begin{aligned}
 W &= (2,27Kg) \cdot (9,8 \frac{m}{s^2}) \\
 W &= \underline{\underline{22,27N}}
 \end{aligned}$$

De la ecuación 21 se tiene:

$$Fr = (W)$$

$$Fr = \underline{\underline{22,27N}} = (4,99lb)$$

De la ecuación 22 se tiene:

$$T0 = (Fr) \cdot (d)$$

$$\begin{aligned}
 T0 &= (22,27N) \cdot (0,016m) \\
 T0 &= \underline{\underline{0,36N \cdot m}} = (3,14lb \cdot p \cdot lg)
 \end{aligned}$$

h. Cálculo del torque total efectuado por el eje de levas

Empleando la ecuación 23, se obtiene el torque total:

$$T_{TOTAL} = T1 + T2 + T3 + T4 + T5 + T6 + T0$$

$$\begin{aligned}
 T_{TOTAL} &= 6,86N \cdot m + 0,32N \cdot m + 0,073N \cdot m + 0,32N \cdot m + 4,67N \cdot m + 0,32N \cdot m + 0,36N \cdot m \\
 T_{TOTAL} &= \underline{\underline{12,92N \cdot m}} = (113,32lb \cdot p \cdot lg)
 \end{aligned}$$

i. Cálculo de la potencia (P) del motor eléctrico para mover a la bomba de inyección tipo P:

Aplicando la ecuación 24 se tiene:

$$P = \frac{T \cdot \eta}{K}$$

$$P = \frac{(12,92 N.m) \cdot (1900 rpm)}{9,55}$$

$$P = \underline{\underline{2570,47 W}} = (3,44 Hp)$$

Empleando un factor de seguridad igual a 2 se obtiene:

$$P_{TOTAL} = (2570,47 W) \cdot (2)$$

$$P_{TOTAL} = \underline{\underline{5140,94 W}} = (6,89 Hp)$$

Por lo tanto el motor eléctrico que debe ser empleado en el banco de pruebas, para mover a la bomba tipo P, ha de tener una potencia de 5,14Kw ~ 7 Hp.

Por lo tanto realizando la comparación entre los resultados de cálculo de la bomba tipo A y de la bomba tipo P, la potencia del motor principal con el que debe estar provisto el banco de pruebas es de 7 Hp; pero en el mercado el motor mas próximo a esta medida se consigue de 7,5Hp, por consiguiente esta será la potencia del motor empleado en el banco de pruebas.

2.5 Diseño del eje de transmisión (cálculo a esfuerzos fluctuantes)

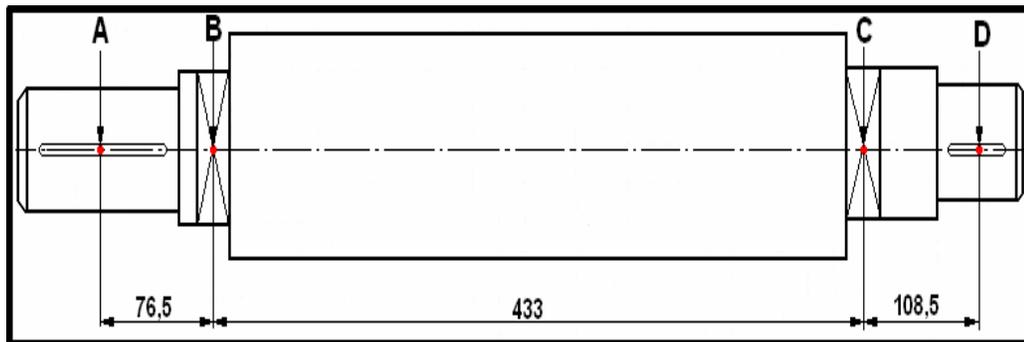
El eje de transmisión será diseñado de acuerdo a las condiciones de trabajo a las que va a estar sometido, por lo tanto, los cálculos que se irán detallando durante el desarrollo de este ítem corresponden a la resistencia del eje a esfuerzos fluctuantes, en donde se aplican teorías como la de Von Mises y ecuaciones de las teorías de falla (Gerber, Goodman, Solderberg, Elíptica). El eje a ser diseñado debe cumplir con las suficientes propiedades mecánicas (resistencia al desgaste, adecuada dureza, resistencia a la tracción, buena maquinabilidad), y con las necesarias características para cumplir su función (tamaño, selección adecuada del material, factor de seguridad y aplicación correcta).

El primer paso para el diseño del eje de transmisión será realizar su configuración por medio de la cual se plantea la forma del mismo (chaveteros, puntos de apoyo, longitudes y cambios de sección).

2.5.1 Configuración del eje

El eje de transmisión es accionado por un motor eléctrico, a través de un sistema de banda y polea que se ubica en el punto D (**Fig. 62**). El movimiento se transmite por todo el eje hasta el punto A, en donde se encuentra calado por medio de una chaveta el cabezal que a su vez se acoplará a la bomba de inyección mediante un sistema de sujeción que se describirá posteriormente.

Figura 62. Configuración de diseño del eje (LAFORA. José Ma. Motores Diesel.)



De acuerdo a lo obtenido anteriormente en los cálculos de la selección del motor eléctrico que llevará el banco de pruebas, se tienen los siguientes datos técnicos:

$$P = 5516,24W = (7,5Hp)$$

$$\eta = 1900 \text{ rpm}$$

$$K = 9,55$$

Aplicando la fórmula:

$$P = \frac{T \cdot \eta}{K}$$

$$T = \frac{P \cdot K}{\eta}$$

Ecuación 26

En donde:

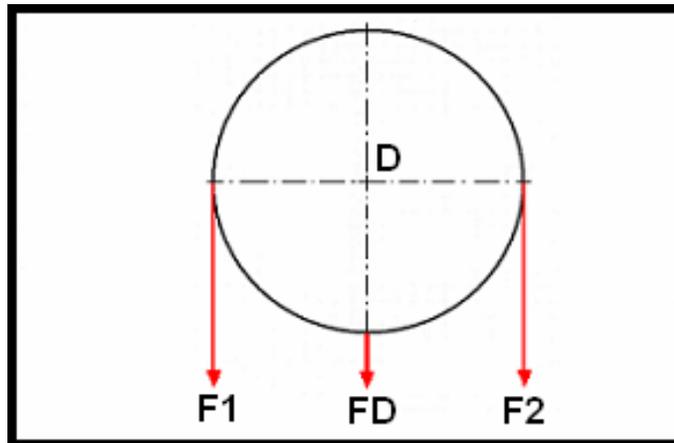
- P** = Potencia del motor eléctrico (Kw)
- T** = Torque (N.m)
- η = Número de revoluciones por minuto (rpm)
- K** = Coeficiente de convergencia para la potencia.³⁴

$$T = \frac{(5516,24W) \cdot (9,55)}{1900rpm}$$

$$T = 27,72 N.m (248,78lb.plg)$$

Mediante la ecuación 26, se ha determinado el torque que produce el motor eléctrico que se transmite al punto D del eje. En este punto se encuentra ubicada una polea (Fig. 63) de acero con un diámetro exterior de 130mm, unida al eje por medio de una chaveta. La polea genera una fuerza resultante que actúa sobre el eje, producto de las tensiones (F1 y F2) en la banda que le une al motor.

Figura 63. Fuerzas resultantes de la polea ubicada en el punto D



³⁴ SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados Unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1239Pgs. Sexta Edición.

Los datos que se poseen son:

$$TD = 27,72N.m = \text{torque en la polea}$$

$$\phi \text{ polea} = 130\text{mm} = 0,13\text{m} (5,12\text{plg})$$

Se debe resaltar que las tensiones $F1$ y $F2$ (**Fig. 63**), no son iguales debido a que la una corresponde al lado del sentido de giro y es arrastrada, por lo que está más tensada que la otra que se encuentra opuesta a esta posición del sentido de giro. Para el cálculo de las tensiones $F1$ y $F2$, es necesario un banco dinamométrico que permita medir las magnitudes que poseen en forma exacta mientras está el sistema en funcionamiento. En este caso al no poseer el mencionado instrumento de medición, se ha planteado una condición de cálculo, que se acerca lo más posible a la mayoría de los casos que llevan el sistema banda-poleas. En donde la tensión en el un lado de la polea es $1/3$ de la tensión del otro lado de la polea.³⁵

Condición de cálculo (ecuación 27):

$$F2 = \frac{1}{3} F1 \quad \text{Ecuación 27}$$

$$\begin{aligned} \Sigma MD = 0 \\ -F1 \cdot \frac{\phi \text{ polea}}{2} + F2 \cdot \frac{\phi \text{ polea}}{2} = TD \end{aligned} \quad \text{Ecuación 28}$$

$$\begin{aligned} \Sigma MD = 0 \\ -F1 \cdot \frac{\phi \text{ polea}}{2} + F2 \cdot \frac{\phi \text{ polea}}{2} = TD \\ -F1 \cdot \frac{0,13\text{m}}{2} + \frac{1}{3} F1 \cdot \frac{0,13\text{m}}{2} = 27,72N.m \\ -F1 \cdot (0,065\text{m}) + F1 \cdot (0,022\text{m}) = 27,72N.m \\ -F1 \cdot (0,043\text{m}) = 27,72N.m \\ \underline{\underline{F1 = 644,65N}} = (144,92\text{lb}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma Fy = 0 \\ F1 + F2 = FD \end{aligned} \quad \text{Ecuación 29}$$

³⁵ SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1239Pgs. Quinta Edición.

Sustituyendo la ecuación 27 en la 29 se tiene:

$$\begin{aligned} \Sigma F_y &= 0 \\ F_1 + F_2 &= FD \\ F_1 + \frac{1}{3} F_1 &= FD \\ \frac{4}{3} F_1 &= FD \\ FD &= \frac{4}{3} \cdot (644,65N) \\ \underline{\underline{FD = 859,53N = (193,23lb)}} \end{aligned}$$

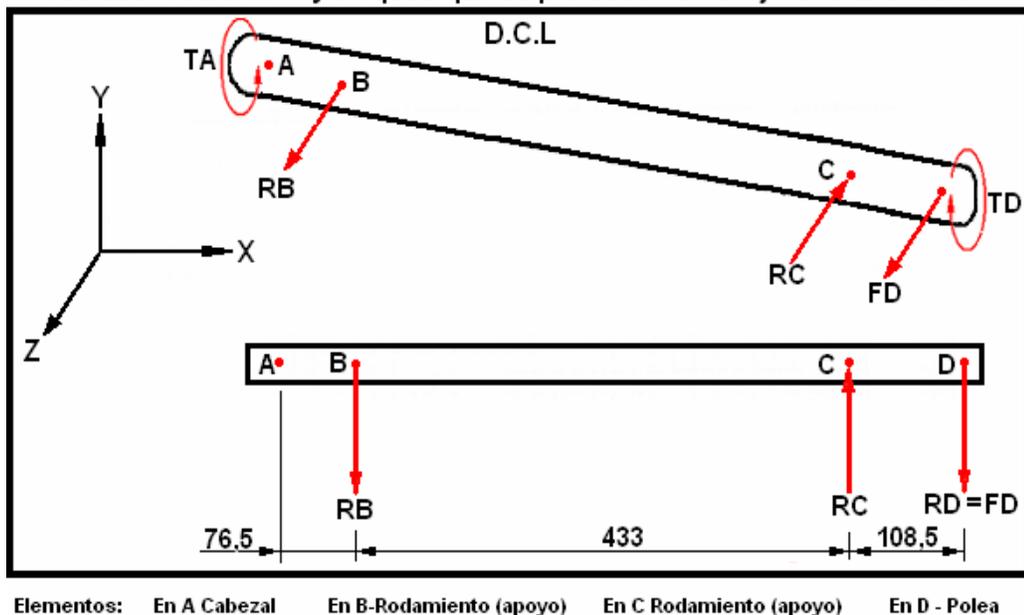
Aplicando la siguiente ecuación se obtiene la fuerza de tensión F2:

$$F_2 = FD - F_1 \quad \text{Ecuación 30}$$

$$\begin{aligned} F_2 &= FD - F_1 \\ F_2 &= 859,53N - 644,65N \\ \underline{\underline{F_2 = 214,88N = (54,38lb)}} \end{aligned}$$

Luego de haber obtenido la fuerza resultante (FD), se representará ésta y las demás reacciones (**Fig. 64**) que existen en el eje, para lo cual se dispondrá de un diagrama de cuerpo libre (D.C.L.), que ayuda mediante un gráfico a visualizar los puntos del eje en los que éstas se encuentran, posteriormente se calculan sus valores mediante las siguientes ecuaciones de la estática:

Figura 64. Representación mediante un diagrama de cuerpo libre de las fuerzas resultantes y torques que se producen en el eje de transmisión



$$\begin{aligned}\Sigma MB &= 0 \\ -RC.(0,43m) + FD.(0,54m) &= 0\end{aligned}$$

Ecuación 31

$$\begin{aligned}\Sigma MB &= 0 \\ -RC.(0,43m) + FD.(0,54m) &= 0 \\ -RC.(0,43m) &= -FD.(0,54m) \\ -RC &= \frac{(-859,53N).(0,54m)}{0,43m} \\ \underline{\underline{RC = 1079,41N = (242,66lb)}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma Fy &= 0 \\ -RB + RC - FD &= 0\end{aligned}$$

Ecuación 32

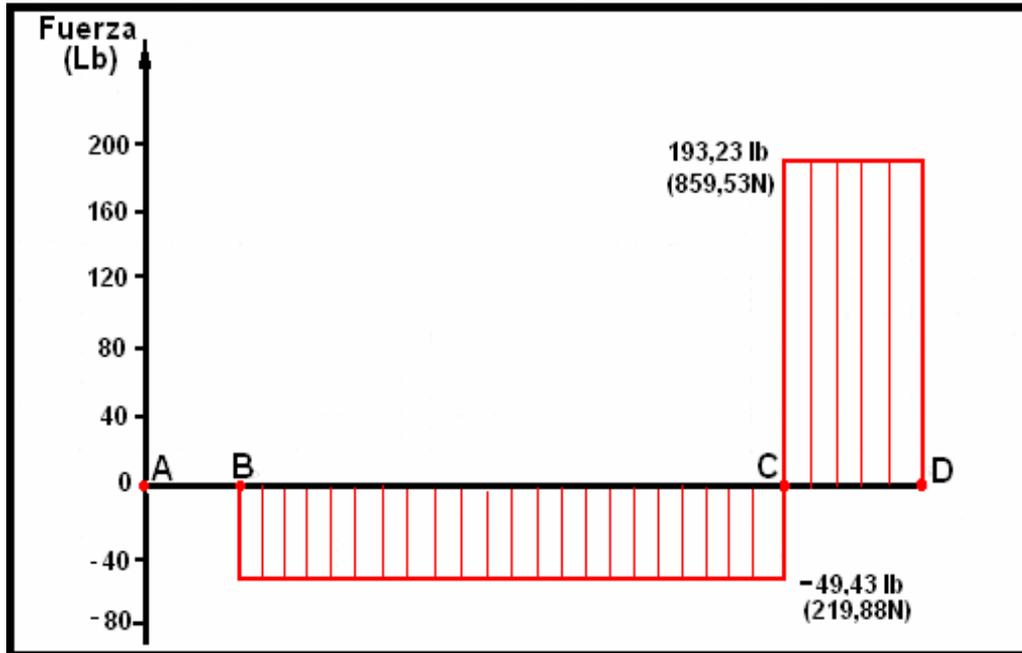
$$\begin{aligned}\Sigma Fy &= 0 \\ -RB + RC - FD &= 0 \\ RB &= RC - FD \\ RB &= 1079,41N - 859,53N \\ \underline{\underline{RB = 219,88N = (49,43lb)}}\end{aligned}$$

Después de haber calculado los valores de las reacciones y fuerzas que actúan en el eje, se muestra en diagramas³⁶ los efectos que las mismas producen, lo que permite identificar gráficamente los puntos críticos o los que están sometidos a mayor esfuerzo en el eje de transmisión. En este caso se tiene tres tipos de efectos que se producen en el eje y son: fuerzas cortantes, momento flector y momento torsor.

³⁶ SINGER. Ferdinand L. / Pytel. Andrew. Resistencia De Materiales. México. D.F. Harla S.A.1982. 560Pgs. Tercera edición.

2.5.2 Diagrama de fuerza cortante

Figura 65. Diagrama de las fuerzas cortantes producidas en el eje de transmisión



Puntos críticos (Fig. 65):

$$A = 0$$

$$B = -219,88\text{N}$$

$$C = 1079,41\text{N}$$

$$D = 859,53\text{N}$$

2.5.3 Diagrama del momento flector

Para localizar el punto en el que se encuentra el mayor momento producido por una de las reacciones que existen en el eje, se empieza el análisis de izquierda a derecha. En este caso al no poseer una fuerza en el punto A no existe momento en el B, pero la fuerza que actúa en B (RB) produce un momento en C producto de la fuerza RB por la distancia del punto B al C, esto se explica por medio de la siguiente ecuación:

$$\Sigma MC = 0$$

$$MC = -RB.(0,43m)$$

Ecuación 33

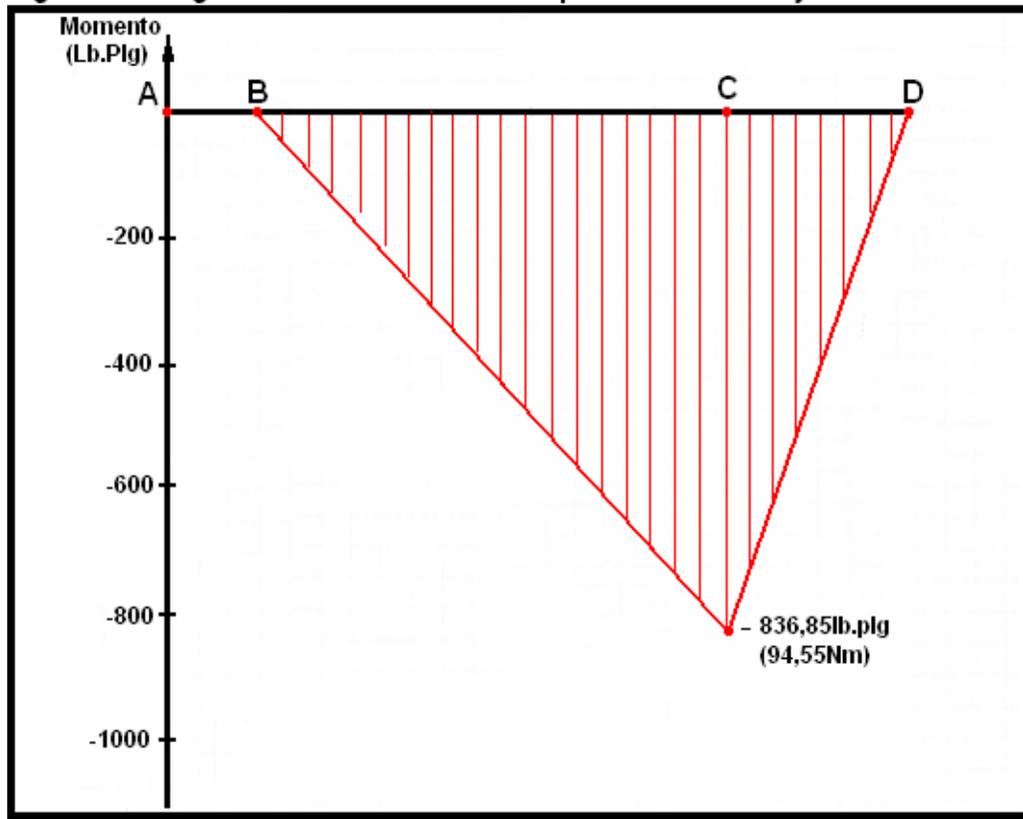
$$\Sigma MC = 0$$

$$MC = -RB.(0,43m)$$

$$MC = (-219,88\text{N}).(0,43m)$$

$$MC = -94,55\text{N.m} = (-836,85\text{lb.p lg})$$

Figura 66. Diagrama del momento flector producido en el eje de transmisión

**Puntos críticos (Fig. 66):**

$$A = 0$$

$$B = 0$$

$$C = - 94,55\text{Nm}$$

$$D = 0$$

2.5.4 Diagrama del momento torsor

En este diagrama (Fig. 67), se representan los puntos en los que interviene el momento torsor que existe en el eje. En este caso, el momento transmitido desde el motor eléctrico a la polea ubicada en el punto D del eje, se conduce a través del mismo en forma constante hasta el punto A, en donde se ubica el cabezal para accionar a la bomba de inyección.

Figura 67. Diagrama del momento torsor producido en el eje de transmisión



2.5.5 Análisis del punto más crítico y de las fibras del eje sometidas a esfuerzos mecánicos

El siguiente paso consiste en identificar el punto más crítico del eje y plantear las ecuaciones de los esfuerzos flexionante y cortante, para determinar si las dimensiones, material y configuración de diseño del eje son correctos y confiables.

Para lo cual se aplican las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_f = \frac{M \cdot C}{I} = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot \phi^3} \quad \text{Ecuación 34}$$

En donde:

- σ_f = Esfuerzo flexionante³⁷
- M = Momento flexionante
- C = Distancia del eje neutro respecto a la fibra más lejana
- I = Momento de inercia flexionante
- ϕ = Diámetro del eje

³⁷ SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1239Pgs. Quinta Edición.

$$\tau = \frac{T \cdot r}{J} = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot \phi^3} \quad \text{Ecuación 35}$$

En donde:

τ = Esfuerzo cortante máximo ³⁸

r = Distancia del eje neutro respecto a la fibra más lejana (radio)

T = Torque

ϕ = Diámetro del eje

De acuerdo a los procesos realizados, el punto más crítico en el eje se encuentra en C; en donde existen los valores más altos de reacción, torque y momento. Por lo tanto se debe trabajar con el diámetro que tenga el eje en el punto C y proceder a las verificaciones de cálculo, que determinarán si el diámetro en este punto es lo suficientemente resistente y puede soportar sin problemas de deformación, desgaste o rotura producto de los esfuerzos que allí actúan. Existen dos formas para fijar el diámetro en este punto, una colocando un determinado factor de seguridad y encontrar el diámetro de acuerdo al mismo y otra imponiendo un diámetro y comprobar que tan seguro es, encontrando el factor de seguridad que éste brindaría. En el presente caso, se trabajará de la segunda forma, es decir con un diámetro conocido en el punto C.

De esta manera se poseen como datos conocidos y establecidos los siguientes valores:

$$MC = - 94,55N.m$$

$$TC = 27,72N.m$$

El diámetro del eje en el punto C es = 0,04m.

Reemplazando estos valores en las ecuaciones 34 y 35 se obtiene:

$$\sigma_f = \frac{32 \cdot (94,55N.m)}{\pi \cdot (0,04m)^3}$$

$$\sigma_f = \underline{\underline{15048,09KN/m^2}} \quad (2202,67lb/p1g^2)$$

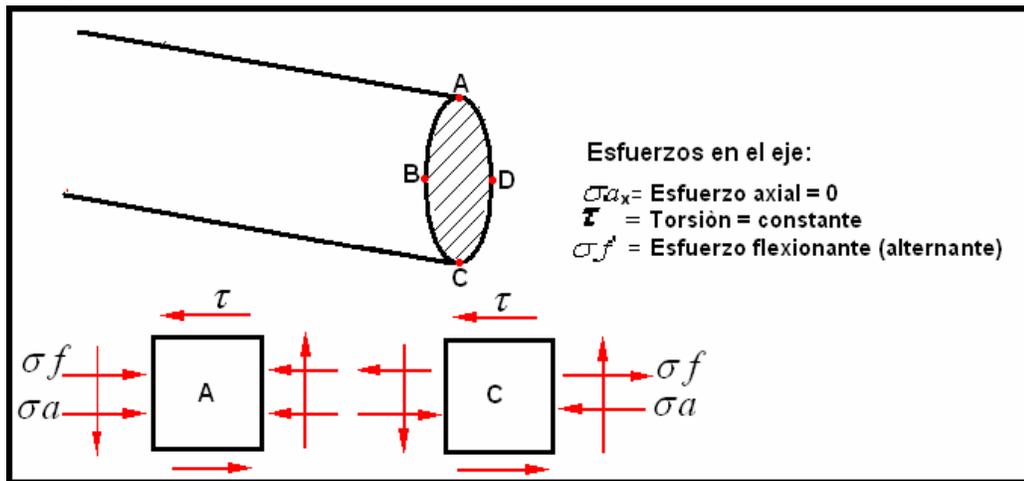
$$\tau = \frac{16 \cdot (27,72N.m)}{\pi \cdot (0,04m)^3}$$

$$\tau = \underline{\underline{2205,89KN/m^2}} \quad (327,41lb/p1g^2)$$

³⁸ SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1239Pgs. Quinta Edición.

En el análisis del eje de transmisión que se está diseñando, se ha dicho al inicio de las operaciones de cálculo que el mismo está sometido a esfuerzos fluctuantes o alternantes, por tal motivo existe una combinación de esfuerzos, los mismos que actúan sobre las fibras³⁹ del eje (**Fig. 68**), dando como resultado que una misma fuerza o reacción pueda producir diferentes efectos de esfuerzo según sea la posición de la fibra del eje. En la **figura 68**, se puede observar que la fibra del eje en el extremo A, está sometida a un esfuerzo flexionante a compresión y que la misma fibra del eje pero ahora en el extremo C, está sometida a un esfuerzo flexionante a tensión. Esta variación de compresión y tensión provoca en el eje una fatiga que puede conducir a su deformación si el eje no se encuentra bien diseñado para resistir tales esfuerzos.

Figura 68. Análisis de las fibras del eje sometidas a esfuerzos fluctuantes



2.5.6 Cálculo de los esfuerzos fluctuantes a los que está sometido el eje de transmisión.

A continuación se aplicarán las ecuaciones para determinar los esfuerzos fluctuantes:

a. Esfuerzo máximo: (En A)

$$\sigma_{\max} = -\sigma_f - \sigma_{a_x} \quad \text{Ecuación 36}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= -\sigma_f - \sigma_{a_x} = -15048,09 \text{ KN/m}^2 - 0 \\ \sigma_{\max} &= -15048,09 \text{ KN/m}^2 = (-2202,67 \text{ psi}) \end{aligned}$$

³⁹ SINGER. Ferdinand L. / Pytel. Andrew. Resistencia De Materiales. México. D.F. Harla S.A.1982. 560Pgs. Tercera edición.

b. Esfuerzo mínimo: (En C)

$$\sigma_{\min} = \sigma_f - \sigma_{a_x} \quad \text{Ecuación 37}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\min} &= \sigma_f - \sigma_{a_x} = 15048,09 \text{ KN/m}^2 - 0 \\ \sigma_{\min} &= 15048,09 \text{ KN/m}^2 = (2202,67 \text{ psi}) \end{aligned}$$

c. Esfuerzo alternante: (σ_a)

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad \text{Ecuación 38}$$

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \\ \sigma_a &= \frac{-15048,09 \text{ KN/m}^2 - 15048,09 \text{ KN/m}^2}{2} \\ \sigma_a &= -15048,09 \text{ KN/m}^2 = (-2202,67 \text{ psi}) \end{aligned}$$

d. Esfuerzo medio (σ_m)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad \text{Ecuación 39}$$

$$\begin{aligned} \sigma_m &= \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \\ \sigma_m &= \frac{-15048,09 \text{ KN/m}^2 + 15048,09 \text{ KN/m}^2}{2} \\ \sigma_m &= 0 \end{aligned}$$

e. Torsión : (Se emplean las ecuaciones de Von Misses⁴⁰)

$$\begin{aligned} \sigma_a' &= \sqrt{\sigma_{xa}^2 + \sigma_{xa} \cdot \sigma_{ya} + \sigma_{ya}^2 + 3\tau_{xa}^2} \\ \sigma_{ya} &= 0 ; \quad \tau_{xa} = 0 \quad (\text{En fibras sobre el eje neutro}) \\ \sigma_a' &= \sqrt{\sigma_{xa}^2} \end{aligned} \quad \text{Ecuación 40}$$

$$\begin{aligned} \sigma_a' &= \sqrt{\sigma_{xa}^2 + \sigma_{xa} \cdot \sigma_{ya} + \sigma_{ya}^2 + 3\tau_{xa}^2} \\ \sigma_a' &= \sqrt{\sigma_{xa}^2} \\ \sigma_a' &= \sqrt{(15048,09 \text{ KN/m}^2)^2} \\ \sigma_a' &= 15048,09 \text{ KN/m}^2 = (2202,67 \text{ psi}) \end{aligned}$$

⁴⁰ SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1239Pgs. Quinta Edición.

$$\sigma m' = \sqrt{\sigma x^2 m + \sigma xm . \sigma ym + \sigma y^2 m + 3\tau xy^2 m}$$

$$\sigma y = 0 ; \tau xy = \text{máximo (En el eje neutro)}$$

$$\sigma m' = \sqrt{\sigma x^2 m + 3\tau xy^2 m}$$

Ecuación 41

$$\sigma m' = \sqrt{\sigma x^2 m + \sigma xm . \sigma ym + \sigma y^2 m + 3\tau xy^2 m}$$

$$\sigma m' = \sqrt{\sigma x^2 m + 3\tau xy^2 m}$$

$$\sigma m' = \sqrt{(0)^2 + 3(2205,89KN / m^2)^2}$$

$$\sigma m' = 3820,71KN / m^2 = (567,09 psi)$$

2.5.7 Selección del material y cálculo del límite de resistencia a la fatiga del eje de transmisión

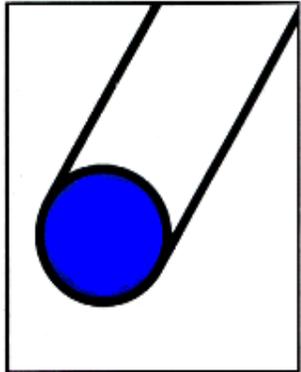
Para la selección del material del eje, se debe tomar en cuenta la aplicación, las propiedades mecánicas y la disponibilidad de adquisición en el medio. Con la ayuda de un catálogo se puede seleccionar el material más conveniente, que cumpla con el propósito de trabajo, de buena maquinabilidad y que permita realizar el diseño planteado. En la **tabla 7**, se puede observar las características de un acero SAE 1018 para ejes de transmisión tomadas de un catálogo, facilitando en base a dichas características la construcción del eje.

Tabla 7. Propiedades mecánicas del material seleccionado para el eje de transmisión

Aceros DE TRANSMISION			
SAE 1018			
Eje de Transmisión			
ANALISIS TIPICO			
	C	Mn	P
Sae 1018	0.15-0.20%	0.60-0.90%	≤ 0.040%
			S
			≤ 0.050%
PROPIEDADES MECANICAS			
LAMINADA EN FRIO:	Resistencia a la tracción	69.000 psi	
	Punto de Fluencia	40.000 psi	
	Elongación en 2"	38%	
	Reducción de área	62%	
	Dureza	143 Brinell	
LAMINADA EN CALIENTE:	Resistencia a la tracción	82.000 psi	
	Punto de Fluencia	70.000 psi	
	Elongación en 2"	20%	
	Reducción de área	57%	
	Dureza	163 Brinell	

APLICACION: Se utiliza para tuercas, pernos, piezas de maquinaria pequeña, ejes para motores y transmisión de potencia, pasadores y bujes.

Código de color
AZUL



Material⁴¹**seleccionado:** SAE 1018 Eje de transmisión

Por lo tanto las características que posee el material seleccionado en el catálogo son:

Laminado en caliente
Resistencia a al tracción (Sut) = 82000 psi
Punto de fluencia (Sy) = 70000 psi
Elongación en 2" = 20%
Reducción de área = 57%
Dureza = 163 Brinell

Por medio de las siguientes ecuaciones⁴² se estipulará el valor del límite a la resistencia de fatiga del material del eje:

$$Se = Se' \cdot Ka \cdot Kb \cdot Kc \cdot Kd \cdot Ke \quad \text{Ecuación 42}$$

En donde:

Se = Límite de resistencia a la fatiga
Se' = Límite de resistencia a la fatiga de la probeta
Ka = Factor de superficie
Kb = Factor de tamaño
Kc = Factor de carga
Kd = Factor de temperatura
Ke = Factor de efectos diversos

Se' = (está en función de Sut.). En este caso Sut = 82Kpsi por lo tanto tiene la siguiente condición:

$$Se' = 0,504 Sut \quad \text{si} \quad Sut \leq 200Kpsi$$

$$Se' = 0,504 \cdot (82 Kpsi.)$$

$$Se' = 41,33 Kpsi = (285351,62 KN / m^2)$$

Ka: Acabado de la superficie⁴³: **Maquinado (Tabla 8)**

Tabla 8. Parámetros del coeficiente de condición de acabado

Acabado superficial	$Ka = a \cdot Sut^b$		
	a		b
	kpsi	MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	- 0.086
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.45	- 0.265
Laminado en caliente	14.5	56.1	- 0.719
Como sale de forja	39.8	271	- 0.995

⁴¹ BOHMAN. Ivan. C.A. Catálogo. Aceros Especiales. Ecuador. 45Pgs.

⁴² SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados Unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

⁴³ SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados Unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

$$K_a = a \cdot S_{ut}^b$$

Ecuación 43

En donde:

a = Factor de cálculo**b** = Factor de cálculo

$$K_a = 2,70 \cdot (82)^{-0,265}$$

$$\underline{K_a = 0,84}$$

K_b = El eje es de sección circular (0,040m = 1,57 plg), por consiguiente existen las siguientes ecuaciones⁴⁴ (**Tabla 9**):

Tabla 9. Ecuaciones para el factor de tamaño K_b

k_b =	$(d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107}$	— si	$\phi = 0.11 \leq d < 2$ pulg
	$0.859 - 0.021 25d$	— si	$\phi = 2 < d \leq 10$ pulg
	$(d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107}$	— si	$\phi = 2.79 \leq d \leq 51$ mm
	$0.859 - 0.000 837d$	— si	$\phi = 51 < d \leq 254$ mm

Si: $0.11 < \phi \text{ eje} \leq 2$ plg

$$K_b = 0.879 (\phi \text{ eje})^{-0.107}$$

$$K_b = 0.879 (1.57)^{-0.107}$$

$$\underline{\underline{K_b = 0.84}}$$

K_c = Para este factor, existen las ecuaciones de cálculo en función del tipo de carga con la que se vaya a trabajar, así:

$$(K_c) \text{ flexión} = \frac{\phi 0,30}{\phi 0,30} = (1,0) \quad \text{Ecuación 44}$$

$$(K_c) \text{ axial} = \frac{\phi ax}{\phi 0,30} = 1,23 S_{ut}^{-0,0778} LN(1,0)(125) \quad \text{Ecuación 45}$$

$$(k_c) \text{ torsión} = \frac{\phi t}{\phi 0,30} = 0,328 S_{ut}^{-0,125} LN(1,0)(125) \quad \text{Ecuación 46}$$

⁴⁴SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados Unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

En este caso se emplea la ecuación 44, porque se está trabajando con un eje sometido a flexión, por lo tanto:

$$\underline{\underline{K_c = 1}}$$

K_d = Temperatura de trabajo al ambiente $\approx 20^\circ\text{C}$, por lo tanto, de la **tabla 10** se obtiene⁴⁵:

Tabla 10. Valores del efecto de la temperatura de operación en la resistencia a tensión del acero (ST / STR)

Temperatura, °C	ST / STR	Temperatura, °F	ST / STR
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1.000	0.698
550	0.672	1.100	0.567
600	0.549		

$$\underline{\underline{K_d = 1}}$$

K_e = Se da por efectos diversos; en el presente caso es debido a la concentración de esfuerzos, para lo cual se tienen las siguientes ecuaciones⁴⁶:

$$K_e = \frac{1}{K_f} \quad \text{Ecuación 47}$$

$$K_f = \frac{K_t}{1 + \frac{2}{\sqrt{r}} \cdot \frac{K_t - 1}{K_t} \cdot \sqrt{a}} \quad \text{Ecuación 48}$$

En donde:

K_f = Factor debido a la concentración de esfuerzos ⁴⁷

r = Radio de la muesca

\sqrt{a} = Está en función de Sut, y corresponde a un cambio de sección (Hombro)

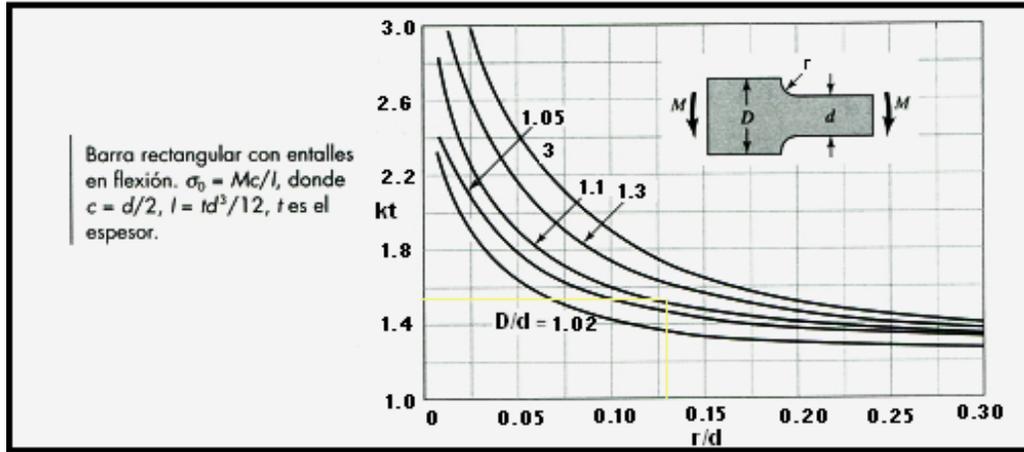
⁴⁵ SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados Unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

⁴⁶ SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados Unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

⁴⁷ MISCHKE. Charles R. Diseño en Ingeniería mecánica. New York. Mc Graw Hill. 2003. 1239 Pgs. Quinta Edición.

El factor **Kt**, se obtiene en la tabla de los valores de concentración de esfuerzo teórico (**Fig. 69**):

Figura 69. Diagrama del factor de concentración de esfuerzo teórico Kt



$$\frac{r}{d} = \frac{1/5}{1.57} = 0.13$$

$$\frac{D}{d} = \frac{1.97}{1.57} = 1.25$$

$$\underline{\underline{Kt = 1,5}}$$

\sqrt{a} = Se lo obtiene de los parámetros⁴⁸ de la **tabla 11**:

Tabla 11. Parámetros de Heywood para \sqrt{a} .

Característica	\sqrt{a}		C kf
	\bar{Sut} kpsi	\bar{Sut} Mpa	
Agujero transversal	$5/\bar{Sut}$	$174/\bar{Sut}$	0.10
Hombro	$4/\bar{Sut}$	$139/\bar{Sut}$	0.11
Ranura	$3/\bar{Sut}$	$104/\bar{Sut}$	0.15

En este caso se debe tomar en cuenta a los valores que corresponden a la característica de hombro, porque se trata de un cambio de sección:

$$\sqrt{a} = \frac{4}{sut}$$

$$\sqrt{a} = \frac{4}{82}$$

$$\underline{\underline{\sqrt{a} = 0.049}}$$

⁴⁸ SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

Remplazando los valores obtenidos en la ecuación 48 y luego en la ecuación 47 se tiene:

$$K_f = \frac{1.5}{1 + \frac{2}{\sqrt{1/5}} \cdot \frac{1.5-1}{1.5} \cdot 0.049}$$

$$\underline{\underline{K_f = 1.39}}$$

$$K_e = \frac{1}{1.39}$$

$$\underline{\underline{K_e = 0.72}}$$

Finalmente los valores calculados se sustituyen en la ecuación 42 y se obtiene el valor del límite de resistencia a la fatiga:

$$S_e = (41,33\text{Kpsi}) \cdot (0,84) \cdot (0,84) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (0,72)$$

$$\underline{\underline{S_e = 20.99 \text{ Kpsi} = (144926,70 \text{ KN} / \text{m}^2)}}$$

Para el cálculo del factor de seguridad, se ha requerido de la aplicación de ecuaciones de la teoría de falla elíptica (ecuaciones 48, 50 y 51)⁴⁹. Por medio del factor de seguridad, se puede conocer que tan resistente es el elemento (eje de transmisión) diseñado y emitir un criterio que garantice su funcionalidad.

$$\eta = \frac{S_a}{\sigma_a} = \frac{S_m}{\sigma_m} \quad \text{Ecuación 49}$$

$$r = \frac{\sigma_a^1}{\sigma_m^1} \quad \text{Ecuación 50}$$

$$S_a = \sqrt{\frac{r^2 \cdot S_e^2 \cdot S_y^2}{S_e^2 + r^2 \cdot S_y^2}} \quad \text{Ecuación 51}$$

En donde:

η = Factor de seguridad

r = Línea de carga

S_a = Resistencia alternante

S_e = Límite de resistencia a la fatiga

S_y = Resistencia de fluencia (material del eje. **Tabla 7 – Pg. 114**)

σ_a^1 = Esfuerzo alternante (Von Misses)

σ_m^1 = Esfuerzo medio (Von Misses)

⁴⁹ SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

Reemplazando valores en la ecuación 50, se tiene el dato de la línea de carga:

$$r = \frac{15048,09 \text{ KN} / \text{m}^2}{3820,71 \text{ KN} / \text{m}^2}$$

$$r = 3,94$$

Para establecer el factor de seguridad, por último se reemplaza en las ecuaciones 51 y luego en la 49 los datos obtenidos, así:

$$Sa = \sqrt{\frac{(3,94)^2 \cdot (20996,96)^2 \cdot (70000)^2}{(20996,96)^2 + (3,94)^2 \cdot (70000)^2}}$$

$$Sa = 20936,37 \text{ psi}$$

$$\eta = \frac{20936,37 \text{ psi}}{2202,67 \text{ psi}}$$

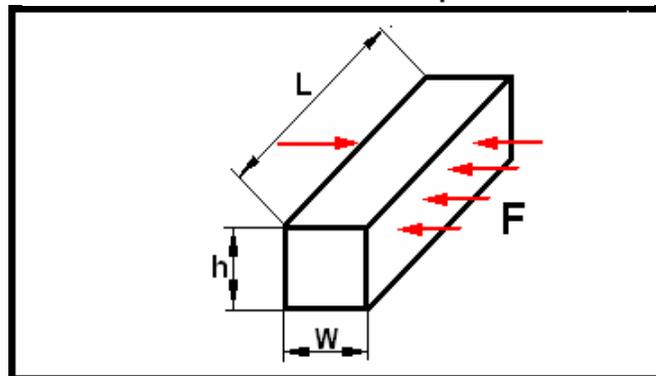
$$\eta = 9,5$$

En conclusión de acuerdo al factor de seguridad, se afirma que el eje está diseñado con gran robustez, lo que le brinda buenas características de resistencia y se descarta la posibilidad de deformaciones, garantizando su buen funcionamiento bajo las condiciones de trabajo establecidas, para las cuales ha sido diseñado.

2.6 Diseño de las chavetas para el eje de transmisión

Para complementar el diseño del eje, es necesario construir un elemento que sirva de unión entre las piezas conductoras y las conducidas (polea-eje; eje-cabecal). Este dispositivo de unión se denomina chaveta o cuña y durante su funcionamiento se encuentra sometido a esfuerzos de aplastamiento y a esfuerzos cortantes. En la **figura 70**, se observa la correspondiente nominación que las chavetas de tipo cuadrado poseen.

Figura 70. Fuerzas y dimensiones consideradas en la construcción de cuñas tipo cuadrada



Los datos con los que se parte el cálculo para el diseño de la chaveta, corresponden a las dimensiones de los diámetros del eje en los que se van a ubicar a las cuñas, en este caso en los puntos A y D (**Fig.62 - Pg.103**):

$$\begin{aligned} \phi A &= 0,035m = 1,38p \text{lg.} \\ \phi D &= 0,035m = 1,38p \text{lg.} \end{aligned}$$

2.6.1 Cálculo del esfuerzo cortante en la chaveta

En las ecuaciones 52 y 53 (aplicando la teoría de Von Misses)⁵⁰ se plantean los datos necesarios para determinar si la chaveta falla a esfuerzos cortantes:

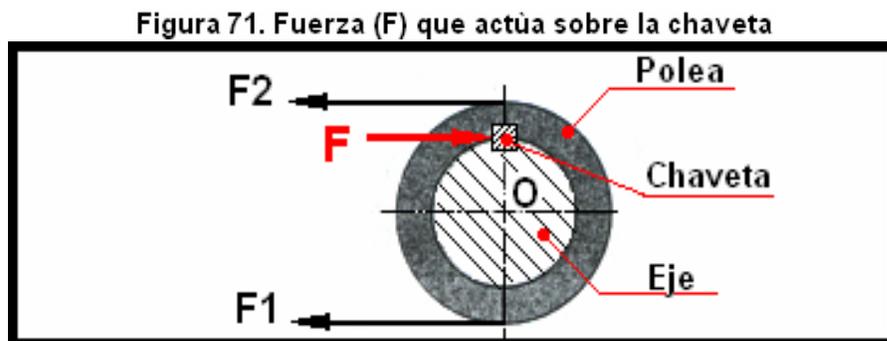
$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{W.L} \quad \text{Ecuación 52}$$

$$\begin{aligned} \frac{0,577S_y}{\eta} &= \frac{F}{W.L} \\ L &= \frac{F.\eta}{0,577.S_y.W} \end{aligned} \quad \text{Ecuación 53}$$

En donde:

- τ = Esfuerzo cortante
- F = Fuerza aplicada
- A = Área
- W = Ancho de la cuña (**Tabla 13 – Pg. 124**)
- L = Longitud de la cuña
- h = Alto de la cuña (**Tabla 13 – Pg. 124**)
- η = Factor de seguridad
- S_y = Resistencia de fluencia

En la **figura 71**, se observa la forma en la que actúan las fuerzas en el conjunto polea-chaveta-eje.



⁵⁰ SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados Unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

Los datos con los que se trabaja para encontrar la fuerza F ejercida directamente sobre la chaveta, son el diámetro del eje, el diámetro de la polea y las fuerzas F_1 y F_2 calculadas anteriormente.

Por lo tanto se conocen los siguientes datos:

$$\begin{aligned}\phi_{polea} &= 0,13m = (5,12 \text{ plg}). \\ \phi_{eje} &= 0,035m = (1,38 \text{ plg}). \\ F_1 &= 644,65N = (144,92lb). \\ F_2 &= 214,88N = (54,38lb).\end{aligned}$$

Realizando la suma de momentos en el punto O (**Fig.71**) se obtiene la fuerza (F) aplicada sobre la chaveta:

$$\begin{aligned}\Sigma M_o &= 0 \\ -F_2 \cdot \frac{\phi_{polea}}{2} + F_1 \cdot \frac{\phi_{polea}}{2} + F \cdot \frac{\phi_{eje}}{2} &= 0 \\ -214,88N \cdot \frac{0,13m}{2} + 644,65N \cdot \frac{0,13m}{2} + F \cdot \frac{0,035m}{2} &= 0 \\ -13,97N \cdot m + 41,90N \cdot m + F \cdot (0,018m) &= 0 \\ 27,93N \cdot m &= -F \cdot (0,018m) \\ \underline{\underline{F = 1551,67N = (348,83lb)}}\end{aligned}$$

2.6.2 Selección del material para la construcción de la chaveta

La selección del material, se realiza en tablas de materiales propicios para cumplir con la función de una chaveta, la cual debe ser de un material maleable y dúctil para evitar daños en el eje.

En la **tabla 12**, se muestran los aceros disponibles⁵¹ para la mecanización de la chaveta. En este caso se ha seleccionado un acero AISI 1020 laminado en caliente (HR) que tiene una resistencia de fluencia (S_y) de 30Kpsi.

⁵¹ SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados Unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1238Pgs. Quinta Edición . Fuente: Manual de la SAE. Handbook. P. 215.

Tabla 12. Materiales dúctiles (SAE / AISI)

UNS núm	Núm. SAE y/o AISI	Procesamiento	Resistencia	Resistencia	Elongación en 2 plg,%	Reducción en área,%	Dureza Brinell
			a la tensión MPa (Kpsi)	a la cedencia, MPa (Kpsi)			
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)			
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)			
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)			
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)			
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)			
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)			
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)			
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)			
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)			
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)			
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Para la elaboración de la cuña, se va a trabajar con un factor de seguridad de 10, debido a que se va a realizar una cuña resistente, de fácil construcción y estética de acuerdo al tamaño del eje. Una cuña con un factor de seguridad menor, para este caso resultaría bastante pequeña, de fácil desgaste y de compleja elaboración.

En la **tabla 13**,⁵² se obtienen los valores que corresponden al ancho ($W=3/8plg$) y alto ($h = 1/4plg$) de la cuña, los mismos que son tomados de acuerdo al diámetro del eje con el que se trabaja (1,38plg.).

Reemplazando todos estos valores en la ecuación 53 se tiene:

$$\eta = 10$$

$$L = \frac{(348,83lb).(10)}{(0,577).(30000lb / plg^2).(3/8plg)}$$

$$L = 0,53plg = (0,013m) = (13,46mm)$$

⁵² SHIGLEY. Joseph E. *Unthreaded Fasteners*. Nueva York. McGraw Hill. 1996. Segunda edición.

Tabla 13. Dimensiones en pulgadas para algunas aplicaciones de cuñas cuadradas y rectangulares estándar

Diámetro del eje		Tamaño de la cuña		
Más de	Hasta (inclusive)	W	h	Profundidad del cuñero
$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
		$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
		$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
$\frac{7}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
		$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{32}$
$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$
		$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
		$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$

2.6.3 Cálculo del esfuerzo aplastante en la chaveta

Otro tipo de esfuerzo que soporta la chaveta es el de aplastamiento, para determinarlo aplicamos las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_a = \frac{F}{\frac{h.L}{2}} \quad \text{Ecuación 54}$$

$$\frac{S_y}{\eta} = \frac{F}{\frac{h.L}{2}} \quad \text{Ecuación 55}$$

En donde:

- σ_a = Esfuerzo aplastante
- F = Fuerza que aplicada
- h = Altura de la chaveta (**Tabla 13** – Pg. 124)
- L = Longitud de la chaveta
- η = Factor de seguridad
- S_y = Resistencia de fluencia

Despejando L de la ecuación 55 y reemplazando los valores calculados anteriormente se obtiene:

$$L = \frac{\eta \cdot 2 \cdot F}{S_y \cdot h}$$

$$L = \frac{(10) \cdot (2) \cdot (348,83lb)}{(30000lb / plg^2) \cdot (1/4 plg)}$$

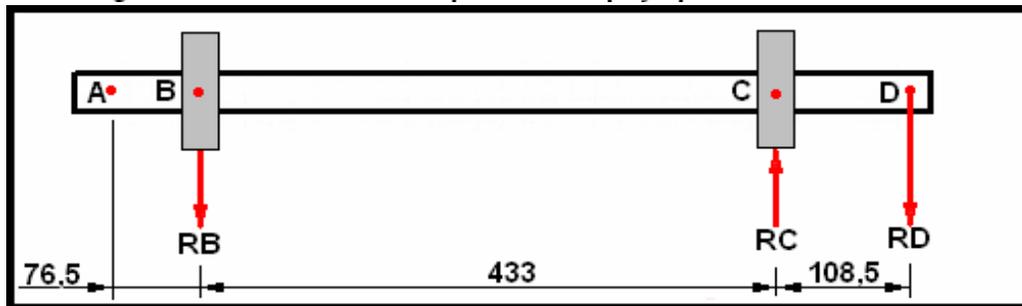
$$L = 0,93 plg = 0,0236m = (23,62mm)$$

Los resultados de los cálculos efectuados, indican que se debe diseñar la chaveta en base al esfuerzo aplastante, ya que comparando este valor con el del esfuerzo a corte es superior, por lo tanto se requiere una mayor longitud para evitar deformaciones o roturas en este elemento.

2.7 Selección de rodamientos para el eje de transmisión

De acuerdo al diseño realizado del eje, se dispone en el mismo de dos apoyos que le brinden la mayor facilidad de giro. El diseño de una disposición de rodamientos exige una selección de un adecuado rodamiento, la determinación correcta de sus características nominales y funcionales (tamaño, carga a soportar, tipo, lubricación, ajuste, juego interno, acoplamiento con los otros elementos, tiempo de trabajo, etc.)⁵³. En la **figura 72**, se puede observar los puntos B y C que son las ubicaciones de los dos rodamientos que va a llevar el eje de transmisión.

Figura 72. Ubicación de los puntos de apoyo para los rodamientos



En este caso, los rodamientos no van a soportar cargas de tipo axial; pero si van a estar sometidos a cargas radiales debido al sistema de accionamiento del eje (banda polea). De los cálculos realizados en el eje de transmisión se obtuvieron los siguientes datos:

Tipo de carga: radial

RD = 859,53N = (193,23lb)

RB = 219,88N = (49,43lb)

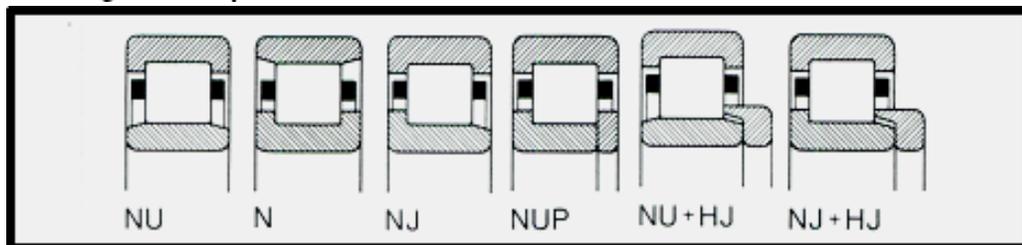
RC = 1079,41N = (242,66lb)

Diámetro del eje en el punto B = 0,04m

Diámetro del eje en el punto C = 0,04m

Por lo tanto, el tipo de rodamiento (**Fig. 73**) que se va a utilizar es el de rodillos rectos de carga radial (cilindros de una hilera).

Figura 73. Tipos de rodamientos de una hilera de rodillos cilíndricos



⁵³ Copyright SKF. Catálogo General. Italia. Stamperia Artistica Nazionale. Torino. 1999. 974Pgs.

En las ecuaciones 56 y 57 se plantean los datos necesarios que deben ser determinados para seleccionar el tipo de rodamiento.

$$C = \frac{P \cdot fL}{fn} \quad \text{Ecuación 56}$$

En donde:

- C** = Carga dinámica
- P** = Carga equivalente
- fL** = Factor de esfuerzo dinámico (número de horas). (**Tabla 15** – Pg. 128)
- fn** = Factor de velocidad (rpm). (**Tabla 16** – Pg. 129)

$$P = X \cdot V \cdot Fr \quad \text{Ecuación 57}$$

En donde:

- Fr** = Fuerza radial
- X** = Factor radial
- V** = Factor de rotación⁵⁴
- V = 1** si la pista interna gira
- X = 1** en carga radial

2.7.1 Cálculo para seleccionar el rodamiento en el punto B del eje de transmisión

En primer lugar, se determinará el rodamiento que va a estar ubicado en el punto B. Para ello se debe conocer que la fuerza radial (Fr) equivale a la reacción RB calculada anteriormente. Así:

$$Fr = RB = 219,88N = (49,43lb)$$

$$Fr = 219,88N$$

Sustituyendo los valores conocidos en la ecuación 57 se tiene:

$$P = (1) \cdot (1) \cdot (219,88N)$$

$$P = 219,88N = (49,43lb)$$

⁵⁴ SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición. Fuente: AFBMA

En la **tabla 14**, se tienen los valores requeridos de vida nominal L (10h), para el cual va a ser aplicado el rodamiento⁵⁵. Para el presente caso se ha tomado la condición que la tabla establece en máquinas herramientas de 8 horas diarias de trabajo. Así:

Tabla 14. Valores requeridos de vida nominal L (10h) para rodamientos

CLASE DE MÁQUINAS	L10h Horas de servicio
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, aparatos para uso médico	300 a 3000
Máquinas usadas intermitentemente o por cortos periodos Máquinas herramientas portátiles, aparatos elevadores Máquinas para la construcción	3000 a 8000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos periodos o intermitentes Ascensores, grúas para mercancías embaladas	8000 a 12000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario no totalmente utilizadas Transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, machacadoras; giratorias	10000 a 25000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas Máquinas herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipo de imprenta, separadores y centrifugas	<u>20000 a 30000</u>
Máquinas para trabajo continuo 24 horas al día Cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresoras, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40000 a 50000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de producción para transatlánticos	60000 a 100000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, ventiladores y bombas para minas, rodamientos para la línea de ejes de transatlánticos	≈ 100000

Tabla 15. Factor de vida útil (FL) de esfuerzo dinámico (número de horas) $f_L = 10/3 \sqrt{\frac{L_h}{500}}$

FL values for roller bearings and needle roller bearings									
Lh	fL	Lh	fL	Lh	fL	Lh	fL	Lh	fL
h		h		h		h		h	
100	0,617	420	0,949	1700	1,44	6500	2,16	28000	3,35
110	0,635	440	0,962	1800	1,47	7000	2,21	30000	3,42
120	0,652	460	0,975	1900	1,49	7500	2,25	32000	3,48
130	0,668	480	0,988	2000	1,52	8000	2,3	34000	3,55
140	0,683	500	1	2200	1,56	8500	2,34	36000	3,61
150	0,697	550	1,03	2400	1,6	9000	2,38	38000	3,67
160	0,71	600	1,06	2600	1,64	9500	2,42	40000	3,72
170	0,724	650	1,08	2800	1,68	10000	2,46	42000	3,78
180	0,736	700	1,11	3000	1,71	11000	2,53	44000	3,83
190	0,748	750	1,13	3200	1,75	12000	2,59	46000	3,88
200	0,76	800	1,15	3400	1,78	13000	2,66	48000	3,93
220	0,782	850	1,17	3600	1,81	14000	2,72	50000	3,98
240	0,802	900	1,19	3800	1,84	15000	2,77	55000	4,1
260	0,822	950	1,21	4000	1,87	16000	2,83	60000	4,2
280	0,84	1000	1,23	4200	1,89	17000	2,88	65000	4,31
300	0,858	1100	1,27	4400	1,92	18000	2,93	70000	4,4
320	0,875	1200	1,3	4600	1,95	19000	2,98	80000	4,58
340	0,891	1300	1,33	4800	1,97	20000	3,02	90000	4,75
360	0,906	1400	1,36	5000	2	22000	3,11	100000	4,9
380	0,921	1500	1,39	5500	2,05	24000	3,19	150000	5,54
400	0,935	1600	1,42	6000	2,11	26000	3,27	200000	6,03

⁵⁵ Copyright SKF. Catálogo General. Italia. Stamperia Artistica Nazionale. Torino. 1999. 974Pgs.

Por lo tanto, el número de horas de trabajo van a ser 30000h. Además el número de revoluciones por minuto a las que van a trabajar los rodamientos es 1900 (Rpm). Los valores que corresponden a los factores de esfuerzo dinámico (FL) y de velocidad (Fn) se obtienen en tablas. En las **tablas 15 y 16**, se observan dichos valores⁵⁶, los cuales deben ser compatibles con las horas de trabajo de los rodamientos.

Tabla 16. Factor de velocidad (Fn)

$$f_n = 10/3 \sqrt{\frac{33 \frac{1}{3}}{n}}$$

Fn values for roller bearings and needle roller bearings									
n	fn	n	fn	n	fn	n	fn	n	fn
min .4		min .4		min .4		min .4		min .4	
10	1,44	55	0,861	340	0,498	1800	0,302	9500	0,183
11	1,39	60	0,838	360	0,49	1900	0,297	10000	0,181
12	1,36	65	0,818	380	0,482	2000	0,293	11000	0,176
13	1,33	70	0,8	400	0,475	2200	0,285	12000	0,171
14	1,3	75	0,784	420	0,468	2400	0,277	13000	0,167
15	1,27	80	0,769	440	0,461	2600	0,271	14000	0,163
16	1,25	85	0,755	460	0,455	2800	0,265	15000	0,16
17	1,22	90	0,742	480	0,449	3000	0,259	16000	0,157
18	1,2	95	0,73	500	0,444	3200	0,254	17000	0,154
19	1,18	100	0,719	550	0,431	3400	0,25	18000	0,151
20	1,17	110	0,699	600	0,42	3600	0,245	19000	0,149
22	1,13	120	0,681	650	0,41	3800	0,242	20000	0,147
24	1,1	130	0,665	700	0,401	4000	0,238	22000	0,143
26	1,08	140	0,65	750	0,393	4200	0,234	24000	0,139
28	1,05	150	0,637	800	0,385	4400	0,231	26000	0,136
30	1,03	160	0,625	850	0,378	4600	0,228	28000	0,133
32	1,01	170	0,613	900	0,372	4800	0,225	30000	0,13
34	0,994	180	0,603	950	0,366	5000	0,222	32000	0,127
36	0,977	190	0,593	1000	0,36	5500	0,246	34000	0,125
38	0,961	200	0,584	1100	0,35	6000	0,211	36000	0,123
40	0,947	220	0,568	1200	0,341	6500	0,206	38000	0,121
42	0,933	240	0,553	1300	0,333	7000	0,201	40000	0,119
44	0,92	260	0,54	1400	0,325	7500	0,197	42000	0,117
46	0,908	280	0,528	1500	0,319	8000	0,193	44000	0,116
48	0,896	300	0,517	1600	0,313	8500	0,19	46000	0,114
50	0,885	320	0,507	1700	0,307	9000	0,186	50000	0,111

Los valores que se obtienen en las tablas 14, 15 y 16 son:

Horas de trabajo = 30000h
n (revoluciones por minuto) = 1900 Rpm
fL = 3,42
fn = 0,297

Reemplazando todos los valores obtenidos en la ecuación 56 se tiene:

$$C = \frac{(219,88N).(3,42)}{0,297}$$

$$C = 2531,95N = (569,20lb)$$

⁵⁶ SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados unidos. Mc Graw Hill. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición. Fuente: AFBMA

A continuación se procede a seleccionar un rodamiento que cumpla con las características de tamaño y carga requeridas. En catálogos,⁵⁷ se encuentra el rodamiento NJ 2308 que tienen una capacidad de carga dinámica $C = 112000 \text{ N}$

2.7.2 Cálculo de la fatiga del rodamiento en el punto B del eje de transmisión

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^a \quad \text{Ecuación 58}$$

En donde:

- L** = Vida a la fatiga (millón de revoluciones)
- C** = Carga dinámica
- P** = Carga equivalente
- a** = Factor de cálculo; $a = 10/3$ para rodamientos de rodillos

Para calcular la vida nominal del rodamiento B, se reemplazan los valores de las cargas dinámica (C) y equivalente (P) en la ecuación 58 obteniendo:

$$L = \left(\frac{2531,95 \text{ N}}{219,88 \text{ N}} \right)^{10/3}$$

$$L = 3447,98 \text{ millones de revoluciones (vida nominal)}$$

2.7.3 Cálculo para seleccionar el rodamiento en el punto C del eje de transmisión

En este rodamiento la fuerza radial (F_r) equivale a la fuerza resultante (RC). Por lo tanto aplicando nuevamente las ecuaciones 56 y 57 se obtiene:

$$F_r = RC = 1079,41 \text{ N} = (242,66 \text{ lb})$$

$$F_r = 1079,41 \text{ N}$$

$$P = (1).(1).(1079,41 \text{ N})$$

$$P = 1079,41 \text{ N} = (242,66 \text{ lb})$$

⁵⁷ Copyright SKF. Catálogo General. Italia. Stamperia Artistica Nazionale . Torino. 1999. 974Pgs.

La condición del número de horas de trabajo, corresponde a la de una máquina de 8 horas de trabajo diario (**tabla 14**) y los valores de los factores de esfuerzo dinámico (f_L) y (f_n) se toman de las **tablas 15 y 16** respectivamente. Con lo que se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Horas De Trabajo} &= 30000 \text{ h} \\ n \text{ (revoluciones por minuto)} &= 1900 \text{ rpm} \\ f_L &= 3,42 \\ f_n &= 0,297 \end{aligned}$$

Reemplazando estos valores en la ecuación 1, se encuentra la capacidad de carga dinámica:

$$\begin{aligned} C &= \frac{(1079,41N) \cdot (3,42)}{0,297} \\ C &= \underline{\underline{12429,57N}} \end{aligned}$$

En catálogos, ⁵⁸ se selecciona un rodamiento que cumpla con las especificaciones requeridas. En este caso se ha seleccionado el rodamiento NJ 2308 que tienen una capacidad de carga dinámica $C = 112000 \text{ N}$

2.7.4 Cálculo de la fatiga del rodamiento en el punto C del eje de transmisión

Finalmente se calcula la fatiga del rodamiento, aplicando la ecuación 58, con lo que se tiene la vida nominal del mismo:

$$\begin{aligned} L &= \left(\frac{12429,57N}{1079,41N} \right)^{10/3} \\ L &= \underline{\underline{3447,99 \text{ millones de revoluciones (vida nominal)}}} \end{aligned}$$

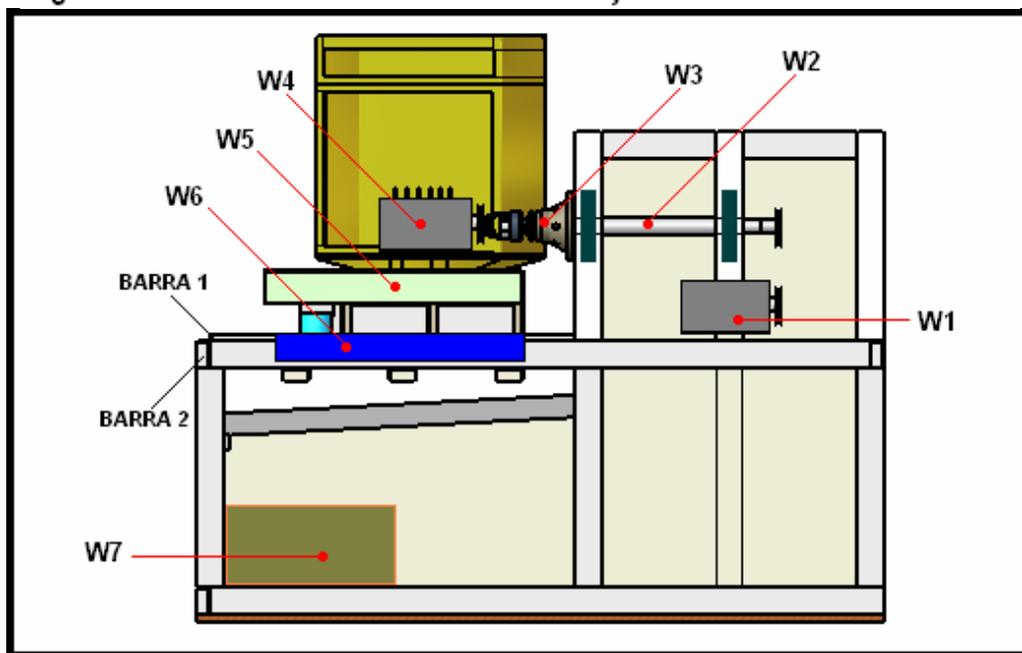
Además de los cálculos realizados para la selección de los rodamientos, se ha tomado en cuenta la existencia de los mismos en el mercado local, por tal motivo los rodamientos empleados en ambos puntos de apoyo del eje son del tipo NJ.

⁵⁸ Copyright SKF. Catálogo General. Italia. Stamperia Artistica Nazionale . Torino. 1999. 974Pgs.

2.8 Diseño y construcción de la estructura del banco de pruebas

En el diseño y construcción de la estructura del banco de pruebas, se han realizado una serie de cálculos para determinar que esta sea capaz de satisfacer las necesidades de funcionamiento y establecer si el material seleccionado es el adecuado, que no sufra ningún tipo de deformaciones, sea resistente y sobre todo seguro. En la **figura 74**, se puede observar los elementos de mayor peso que actúan sobre la estructura. Su diseño ha sido realizado en base a la disposición de los elementos que lo constituyen.

Figura 74. Pesos considerados en el diseño y construcción de la estructura



Los principales cálculos realizados para determinar la resistencia de la estructura son la deformación, el esfuerzo permisible y el pandeo. Para ello se ha considerado a los elementos más pesados que van montados sobre la estructura del banco, estos son: motor, eje de transmisión, cabezal, bomba de inyección, placa de sujeción, placa base y tanque de combustible. Otros elementos que conforman el banco de pruebas como por ejemplo, el variador de velocidad, cables, probetas, mangueras, acoples, placas, rodamientos, etc, no han sido considerados dentro de los cálculos, debido a que su peso resulta insignificante para efectos de cálculo en la estructura.

2.8.1 Cálculos de esfuerzo flexionante “Deformación Y”

Para iniciar los cálculos de la estructura a esfuerzo flexionante se determinan los pesos de cada elemento (**Fig. 74**) que va montado sobre la estructura .

2.8.1.1 Determinación de peso de los elementos montados sobre la estructura

A. Motores (W1) : El peso estimado de los motores para realizar los cálculos en el banco es de $W1 = 36,36\text{kg}$ (pequeño) (356,33N) + $67,59\text{kg}$ (grande) (662,83N) = $103,95\text{Kg}$. (1019,40N)

B. Eje de transmisión, placas, poleas (W2) :

* Eje de transmisión:

$$\text{Volúmen (cilindros)} = \frac{\pi \cdot \varnothing^2}{4} \cdot L \quad \text{Ecuación 59}$$

En donde:

π = Constante de cálculo pi
 \varnothing = Diámetro del eje
 L = Longitud del eje

$$\text{Eje (volúmen)} = \frac{\pi \cdot (0,05\text{m})^2}{4} \cdot (0,693\text{m}) = 1,36^{-03} \text{m}^3$$

$$\text{Peso} = V \cdot \ell \quad \text{Ecuación 60}^{59}$$

En donde:

V = Volumen (m^3)
 ℓ = Densidad del acero⁶⁰ (kg/m^3)

$$\begin{aligned} \text{Eje (peso)} &= (1,36^{-03} \text{m}^3) \left(7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \\ \text{Eje (peso)} &= \underline{10,68\text{kg}} \quad (104,74\text{N}) \end{aligned}$$

⁵⁹ BOHMAN. Ivan C.A. Catálogo de aceros. Quito-Ecuador.

⁶⁰ BOHMAN. Ivan C.A. Catálogo de aceros. Quito-Ecuador.

* Placas de apoyo:

$$\boxed{\text{Volúmen (planchas)} = b \cdot a \cdot h} \quad ^{61} \text{ Ecuación 61}$$

En donde:

b = Base
a = Altura
h = Profundidad

$$\boxed{\text{Placa (volúmen)} = (0,2m)(0,2m)(0,04m) = \underline{\underline{1,6^{-3}m^3}}}$$

Aplicando la ecuación 60 para la placa se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Placa (peso)} &= V \cdot \rho \\ \text{Placa (peso)} &= (1,6^{-3}m^3) \left(7850 \frac{kg}{m^3}\right) \\ \text{Existen dos placas de apoyo por lo tanto :} \\ \text{Placa (peso)} &= 12,56Kg \quad (2) = \underline{\underline{25,12kg}} \cdot (246.34N) \end{aligned}$$

* Poleas de transmisión:

Aplicando las ecuaciones 59 y 60 para el caso de la polea se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Polea (volúmen)} &= \frac{\pi \cdot \varnothing^2}{4} \cdot L \\ \text{Polea (volúmen)} &= \frac{\pi \cdot (0,13m)^2}{4} \cdot (0,005m) = 6,63^{-5}m^3 \\ \text{Polea (peso)} &= V \cdot \rho \\ \text{Polea (peso)} &= (6,63^{-5}m^3) \left(7850 \frac{kg}{m^3}\right) \\ \text{Debido a que son dos poleas :} \\ \text{Polea (peso)} &= 0,52Kg \quad (2) = \underline{\underline{1,04kg}} \cdot (10.19N) \end{aligned}$$

⁶¹ BOHMAN. Ivan C.A. Catálogo de aceros. Quito-Ecuador.

El peso total considerado como W2 resulta de la suma de cada uno de los elementos calculados (eje, placas y poleas) por lo que se tiene:

$$\begin{aligned} W2 &= W_{eje} + W_{placas} + W_{poleas} \\ W2 &= 10,68kg + 25,12kg + 1,04kg \\ W2 &= \underline{\underline{36,84kg}} = (361,03N) \end{aligned}$$

C. Cabezal (W3):

Aplicando las ecuaciones 59 y 60 para el caso del cabezal se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Cabezal (volúmen)} &= \frac{\pi \cdot \varnothing^2}{4} \cdot L \\ \text{Cabezal (volúmen)} &= \frac{\pi \cdot (0,2m)^2}{4} \cdot (0,115m) = 3,61^{-3} m^3 \\ \text{Cabezal (peso)} &= V \cdot \rho \\ \text{Cabezal (peso)} &= (3,61^{-3} m^3) \left(7850 \frac{kg}{m^3} \right) \\ \text{Cabezal (peso)} &= \underline{\underline{28,36kg}} (277,93N) \end{aligned}$$

D. Bomba de inyección (W4):

El peso estimado de la bomba de inyección⁶² para realizar los cálculos es de 15,91kg (155,91N)

E. Mesa de sujeción (W5):

Considerando las dimensiones y forma de esta placa, se aplican las ecuaciones 60 y 61 obteniendo:

$$\begin{aligned} \text{Volúmen (planchas)} &= b \cdot a \cdot h \\ \text{Volúmen placa de sujeción} &: (0,300m)(0,080m)(0,800m) \\ \text{Volúmen placa de sujeción} &: 0,0192m^3 \\ \text{Peso} &= V \cdot \rho \\ \text{Peso placa de sujeción} &= (0,0192m^3) (7850kg / m^3) \\ \text{Peso placa de sujeción} &= \underline{\underline{150,72kg}} (1477,06N) \end{aligned}$$

⁶² Laboratorio Diesel ECUACHILE. Cuenca. Ecuador

F. Placa base (W6):

Considerando las dimensiones y forma de esta placa, se aplican las ecuaciones 60 y 61 obteniendo:

$$\begin{aligned} \text{Volúmen (planchas)} &= b \cdot a \cdot h \\ \text{Volúmen placa base} &: (0,2m)(0,070m)(0,700m) \\ \text{Volúmen placa base} &: 0,0098m^3 \\ \text{Peso} &= V \cdot \ell \\ \text{Peso placa base} &= (0,0098m^3)(7850kg / m^3) \\ \text{Peso placa base} &= \underline{76,93kg} \quad (753,91N) \end{aligned}$$

G. Tanque de combustible (W7):

El peso estimado del tanque de combustible, está considerado en base a su capacidad (26,42 galones), y se lo incluye para el cálculo debido a que el combustible va a estar circulando por varios elementos mientras el banco está en funcionamiento.

Aplicando la ecuación 60 se tiene:

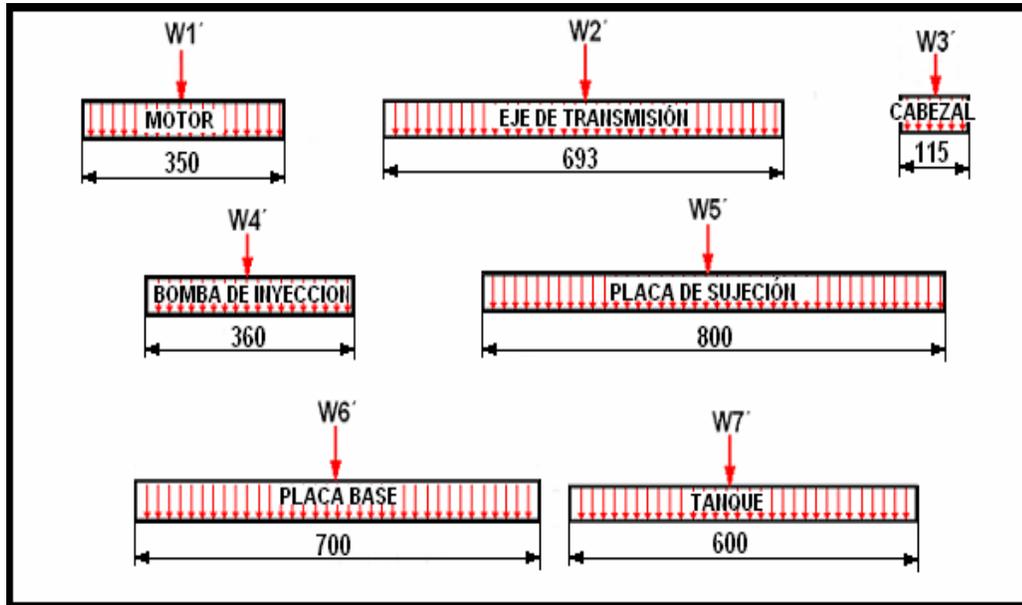
$$\begin{aligned} \text{Volúmen (tanque)} &= 26,42\text{glns} = (0,10m^3) \\ \text{Densidad del diesel } \ell &= 0,88Kg / l = (880kg / m^3) \\ \text{Peso} &= V \cdot \ell \\ \text{Peso} &= 0,10m^3 \cdot 880kg / m^3 \\ \text{Peso} &= \underline{88kg} = (862,99N) \end{aligned}$$

Todos los pesos que se han determinado, ejercen una fuerza sobre la estructura del banco, pero al ser elementos que están en contacto con una gran superficie de la misma, la fuerza que ejercen es de tipo distribuida, es decir de acuerdo al tamaño o espacio que ocupa cada elemento en la estructura. Para efectuar los cálculos con las fuerzas que producen los elementos considerados, es necesario encontrar una tipo puntual de cada uno, que es igual al producto de la fuerza del elemento (peso o carga distribuida) por la longitud en contacto; por lo tanto, se obtiene una fuerza que actúa en un solo punto de la estructura y no en toda la superficie de contacto.

2.8.1.2 Cálculo y representación de las cargas distribuidas que actúan en la estructura del banco de pruebas

En la **figura 75**, se representa la dimensión y la carga de cada elemento considerado para los cálculos de la estructura del banco.

Figura 75. Cargas distribuidas producidas por los elementos montados en la estructura del banco de pruebas



Para efectos de cálculo las cargas distribuidas son representadas con su unidad de fuerza (N) sobre la unidad de longitud con la que se vaya a trabajar; en este caso el metro (m). De este modo se obtienen las cargas puntuales en unidades de fuerza.

Las cargas puntuales que producen los elementos montados en la estructura del banco son:

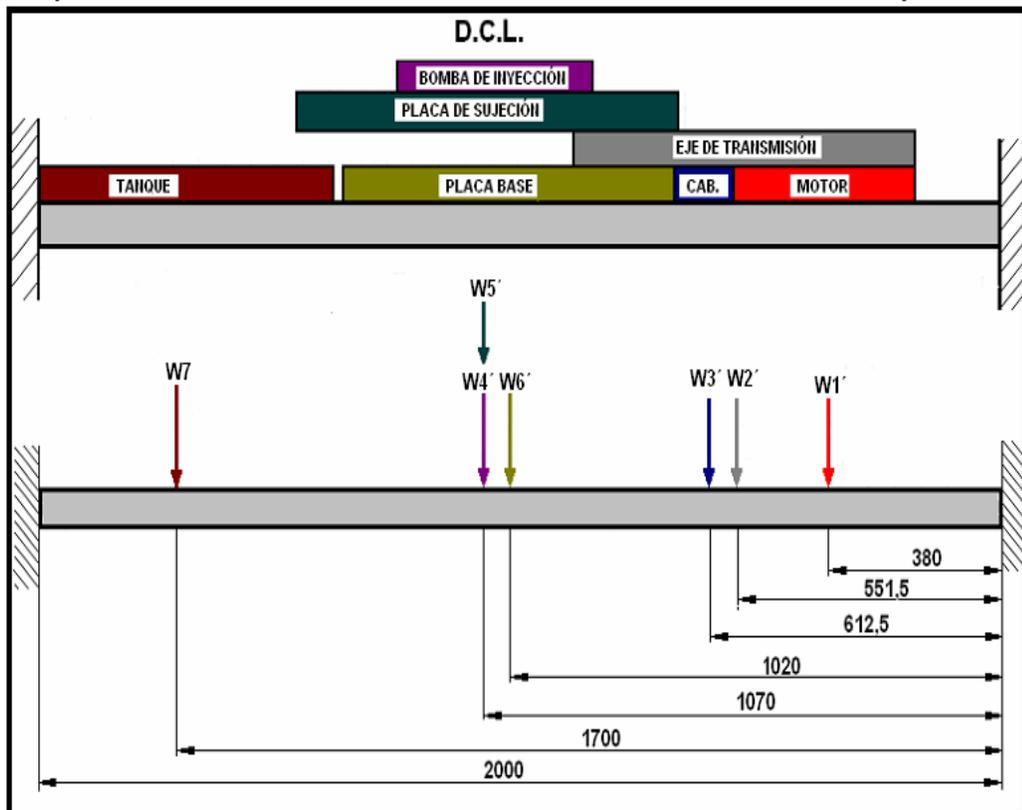
$$\begin{aligned}
 W1' &= (1019,40N/m)(0,35m) = 356,79N \\
 W2' &= (361,03N/m)(0,693m) = 250,19N \\
 W3' &= (277,93N/m)(0,115m) = 31,96N \\
 W4' &= (155,91N/m)(0,36m) = 56,13N \\
 W5' &= (1477,06N/m)(0,8m) = 1181,65N \\
 W6' &= (753,91N/m)(0,7m) = 527,74N \\
 W7' &= (862,99N/m)(0,6m) = 517,79N
 \end{aligned}$$

La estructura está diseñada para que los elementos que en ella se monten tengan dos apoyos, por lo tanto las cargas que se producen van a estar en contacto con dos barras horizontales de la estructura, cada una va a soportar la mitad del peso; por consiguiente las cargas van a dividirse en dos, así se tiene que:

$$\begin{aligned}
 W1' &= 356,79N / 2 = 178,40N \\
 W2' &= 250,19N / 2 = 125,09N \\
 W3' &= 31,96N / 2 = 15,98N \\
 W4' &= 56,13N / 2 = 28,07N \\
 W5' &= 1181,65N / 2 = 590,83N \\
 W6' &= 527,74N / 2 = 263,87N \\
 W7' &= 517,79N / 2 = 258,90N
 \end{aligned}$$

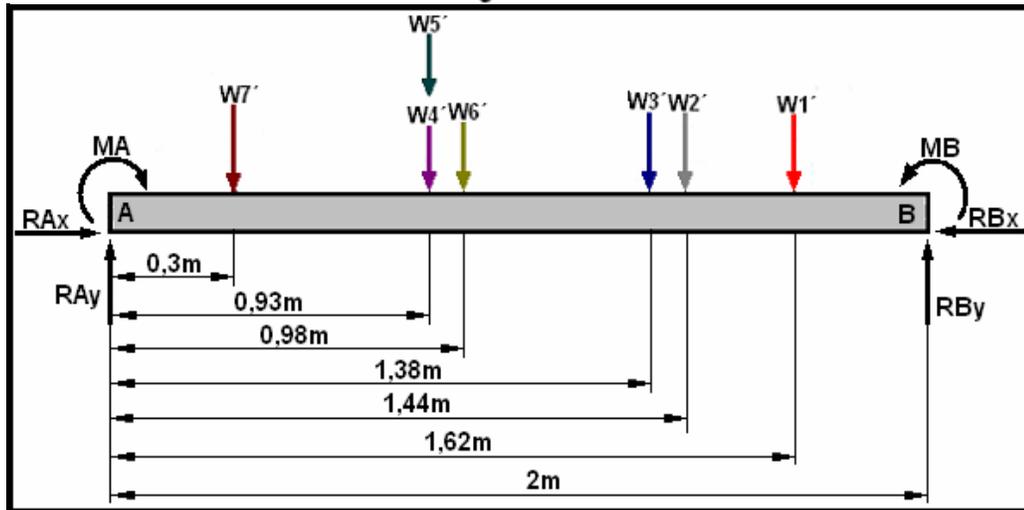
En la **figura 76**, se observa un diagrama de cuerpo libre (D.C.L.), en donde se representan todas las cargas distribuidas y puntuales, así como la ubicación de los puntos en los que actúan en la estructura del banco de pruebas.

Figura 76. Diagrama de cuerpo libre (D.C.L.) de las fuerzas producidas por el peso de los elementos montados en la estructura del banco de pruebas



En la **figura 77**, se representan las fuerzas y momentos que se generan en la viga analizada; en este caso se tiene una viga empotrada en los dos extremos (A y B), por lo que existe una fuerza en el eje X (R_x), una fuerza en el eje Y (R_y) y un momento (M) en cada extremo.

Figura 77. Diagrama de fuerzas (reacciones) que se generan en los extremos de la viga analizada



2.8.1.3 Cálculo de fuerzas y momentos generados en los extremos de la viga analizada

En el eje X, no existen fuerzas que actúen sobre la estructura, por lo tanto las fuerzas que se generan en este caso en la viga empotrada son igual a 0, así:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ R_{Ax} - R_{Bx} &= 0 \\ R_{Ax} &= R_{Bx} = 0 \end{aligned} \quad \text{Ecuación 62}$$

Para determinar el valor de las fuerzas que existen en el eje Y, se aplican las siguientes ecuaciones⁶³:

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ R_{Ay} - W7' - W4' - W5' - W6' - W3' - W2' - W1' + R_{By} &= 0 \end{aligned} \quad \text{Ecuación 63}$$

⁶³ SHIGLEY. Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. Estados Unidos. Mc Graw-Hill Editores S.A. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

$$R_{Ay} - 258,90N - 28,07N - 590,83N - 263,87N - 15,98N - 125,09N - 178,40N + R_{By} = 0$$

$$R_{Ay} - 1461,14N + R_{By} = 0$$

Despejando R_{By}

$$R_{By} = 1461,14N - R_{Ay}$$

$$\sum MA = 0$$

$$W 7'(0,3m) + W 4'(0,93m) + W 5'(0,93m) + W 6'(0,98m) + W 3'(1,38m) + W 2'(1,44m) + W 1'(1,62m) - R_{By} (2m) + MA - MB = 0$$

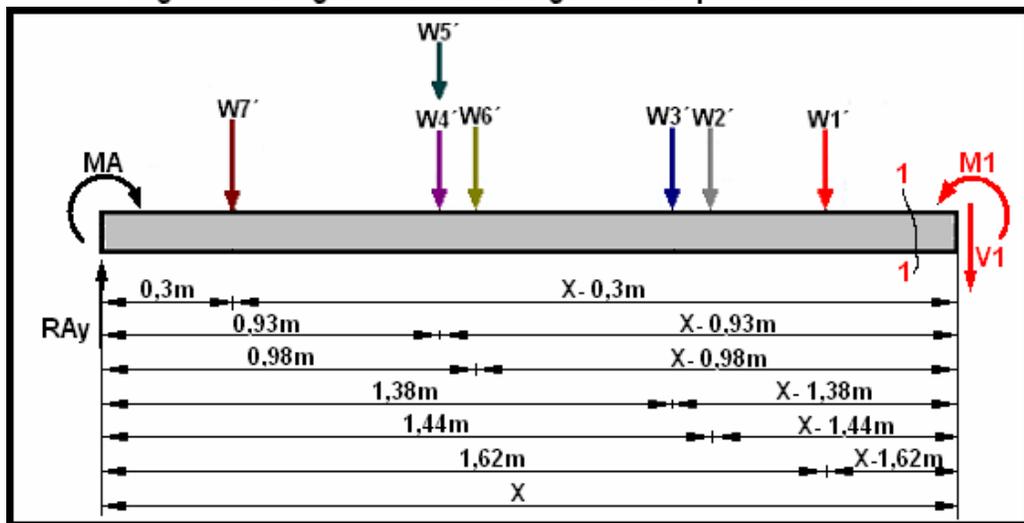
$$77,67Nm + 26,11Nm + 549,47Nm + 258,59Nm + 22,05Nm + 180,13Nm + 289,01Nm - R_{By} (2m) + MA - MB = 0$$

$$[1403.03Nm - R_{By} (2m) + MA - MB = 0]$$

Ecuación 64

En este caso, la barra analizada (empotrada en los dos extremos) de la estructura del banco de pruebas, es de tipo hiperestático, por lo que se aplicará el método de la doble integral⁶⁴ para determinar la deformación que va a sufrir la estructura. Por lo tanto, es necesario efectuar un corte (1-1) (**figura 78**), que permitirá plantear las ecuaciones necesarias para establecer la resistencia del perfil empleado en la estructura.

Figura 78. Diagrama de fuerzas generadas por el corte 1 - 1



⁶⁴ SINGER. Ferdinand L. Resistencia de materiales. Estados Unidos. Edición en versión español por Harla S.A. 1982 México DF. 560Pgs. Tercera edición.

Aplicando las ecuaciones de los sistemas hiperestáticos se tiene:

$$\sum M1 = 0$$

$$RAy(X) - W7'(X - 0,3) - W4'(X - 0,93) - W5'(X - 0,93) - W6'(X - 0,98) - W3'(X - 1,38) - W2'(X - 1,44) - W1'(X - 1,62) + MA - M1 = 0$$

$$M1 = RAy(X) - W7'(X - 0,3) - W4'(X - 0,93) - W5'(X - 0,93) - W6'(X - 0,98) - W3'(X - 1,38) - W2'(X - 1,44) - W1'(X - 1,62) + MA$$

Ecuación 65

$$E \cdot I \cdot \frac{d^2y}{dx^2} = M1$$

$$E \cdot I \cdot \frac{d^2y}{dx^2} = RAy(X) - W7'(X - 0,3) - W4'(X - 0,93) - W5'(X - 0,93) - W6'(X - 0,98) - W3'(X - 1,38) - W2'(X - 1,44) - W1'(X - 1,62) + MA$$

Ecuación 66

En donde:

E = Módulo de elasticidad⁶⁵ 200Gpa. (material: acero)

I = Momento de inercia (mm⁴)

M1 = Ecuación de momentos (N.m)

Integrando la ecuación 66 se obtiene:

Primera Integral:

$$E \cdot I \cdot \frac{dy}{dx} = \frac{RAy(X)^2}{2} - \frac{W7'(X - 0,3)^2}{2} - \frac{W4'(X - 0,93)^2}{2} - \frac{W5'(X - 0,93)^2}{2} - \frac{W6'(X - 0,98)^2}{2} - \frac{W3'(X - 1,38)^2}{2} - \frac{W2'(X - 1,44)^2}{2} - \frac{W1'(X - 1,62)^2}{2} + MAX + C1$$

Segunda Integral:

$$E \cdot I \cdot Y = \frac{RAy(X)^3}{6} - \frac{W7'(X - 0,3)^3}{6} - \frac{W4'(X - 0,93)^3}{6} - \frac{W5'(X - 0,93)^3}{6} - \frac{W6'(X - 0,98)^3}{6} - \frac{W3'(X - 1,38)^3}{6} - \frac{W2'(X - 1,44)^3}{6} - \frac{W1'(X - 1,62)^3}{6} + \frac{MAX^2}{2} + C1X + C2$$

⁶⁵ SHIGLEY. Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. Estados Unidos. Mc Graw-Hill Editores S.A. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

* **Condiciones de cálculo:**

Estas condiciones están en función a las posibilidades de cálculo que pueden plantearse en la viga que se analice, en el presente caso se tienen las siguientes:

<p>En la primera integral:</p> <p>$X = \text{distancias}, \quad \frac{dy}{dx} = \text{pendiente}, \quad C1 = \text{Factor de la primera integral}$</p> <p>$X = 0 ; \quad \frac{dy}{dx} = 0 ; \quad \therefore C1 = 0 ; \quad X = 2 ; \quad \frac{dy}{dx} = 0$</p> <p>En la segunda integral:</p> <p>$X = \text{distancias}, \quad Y = \text{deformación}, \quad C2 = \text{Factor de la segunda integral}$</p> <p>$X = 0 ; \quad Y = 0 ; \quad \therefore C2 = 0$</p>

Utilizando las condiciones posibles para la primera integral se tiene:

$$\begin{aligned}
 X = 2 ; \quad \frac{dy}{dx} = 0 \\
 0 = \frac{RAy(2)^2}{2} - \frac{258,90(2-0,3)^2}{2} - \frac{28,07(2-0,93)^2}{2} - \frac{590,83(2-0,93)^2}{2} - \frac{263,87(2-0,98)^2}{2} \\
 \quad - \frac{15,98(2-1,38)^2}{2} - \frac{125,09(2-1,44)^2}{2} - \frac{178,40(2-1,62)^2}{2} + 2MA + 0 \\
 0 = 2RAy - 374,11 - 16,07 - 338,22 - 137,27 - 3,07 - 19,61 - 12,88 + 2MA \\
 0 = 2RAy + 2MA - 901,23
 \end{aligned}$$

Ecuación 67

Utilizando las condiciones posibles para la segunda integral se tiene:

$$\begin{aligned}
 X = 2 ; \quad Y = 0 \\
 0 = \frac{RAy(2)^3}{6} - \frac{258,90(2-0,3)^3}{6} - \frac{28,07(2-0,93)^3}{6} - \frac{590,83(2-0,93)^3}{6} - \frac{263,87(2-0,98)^3}{6} \\
 \quad - \frac{15,98(2-1,38)^3}{6} - \frac{125,09(2-1,44)^3}{6} - \frac{178,40(2-1,62)^3}{6} + \frac{2^2}{2} MA + 0^2 + 0 \\
 0 = 1,33RAy - 211,99 - 5,73 - 120,63 - 46,67 - 0,63 - 3,66 - 1,63 + 2MA \\
 0 = 1,33RAy + 2MA - 390,94
 \end{aligned}$$

Ecuación 68

Resolviendo las ecuaciones 67 y 68 se obtiene:

$$\begin{array}{l}
 2RAy + 2MA - 901,23 = 0 \triangleright 2RAy + 2MA - 901,23 = 0 \\
 (-) 1,33RAy + 2MA - 390,94 = 0 \triangleright \frac{-1,33RAy - 2MA + 390,94 = 0}{0,67RAy \quad // \quad -510,29 = 0} \\
 \\
 RAy = \frac{510,29}{0,67} \\
 \underline{\underline{RAy = 761,63 N}}
 \end{array}$$

Reemplazando RAy en la ecuación 63 se tiene:

$$\begin{array}{l}
 RBy = 1461,14 N - RAy \\
 RBy = 1461,14 N - 761,63 N \\
 \underline{\underline{RBy = 699,51 N}}
 \end{array}$$

Reemplazando RAy en la ecuación 67 se tiene:

$$\begin{array}{l}
 0 = 2RAy + 2MA - 901,23 \\
 0 = 2(761,63 N) + 2MA - 901,23 \\
 0 = 1523,26 N + 2MA - 901,23 \\
 0 = 622,03 + 2MA \\
 MA = \frac{-622,03}{2} \\
 \underline{\underline{MA = -311,02 Nm}}
 \end{array}$$

Reemplazando los valores de MA y RBy en la ecuación 64 se obtiene:

$$\begin{array}{l}
 1403,03Nm - RBy(2m) + MA - MB = 0 \\
 1403,03Nm - 699,51N(2m) + (-311,02Nm) - MB = 0 \\
 1403,03Nm - 1399,02Nm - 311,02Nm - MB = 0 \\
 -307,01Nm - MB = 0 \\
 \underline{\underline{MB = -307,01 Nm}}
 \end{array}$$

2.8.1.4 Cálculo de la deformación máxima (Y_{\max}) en la estructura del banco de pruebas

Para obtener la deformación máxima en la viga analizada de la estructura, se debe localizar el punto (distancia) en el que esta se produce. Para ello es necesario utilizar la ecuación de la primera integral empleando la siguiente condición:

$$Y_{\max} \Leftrightarrow (\text{pendiente} = 0) \Leftrightarrow \frac{dx}{dy} = 0$$

$$\begin{aligned} 0 &= 380,82(X)^2 - 129,45[X^2 - 2X(0,3) + (0,3)^2] - 14,04[X^2 - 2X(0,93) + (0,93)^2] \\ &- 295,42[X^2 - 2X(0,93) + (0,93)^2] - 131,94[X^2 - 2X(0,98) + (0,98)^2] \\ &- 7,99[X^2 - 2X(1,38) + (1,38)^2] - 62,55[X^2 - 2X(1,44) + (1,44)^2] \\ &- 89,2[X^2 - 2X(1,62) + (1,62)^2] + (-311,02)X \\ 0 &= -349,77X^2 + 1092,04X - 785,03 \end{aligned}$$

Ecuación 69

Aplicando la fórmula para ecuaciones de segundo grado con dos incógnitas⁶⁶, se resuelve la ecuación 69, para obtener el valor de la distancia a la que se producirá la deformación máxima, así:

$$\begin{aligned} X &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (\text{para ecuaciones de segundo grado con dos incógnitas}) \\ 0 &= \frac{-1092,04 \pm \sqrt{(-1092,04)^2 - 4(-349,77)(-785,03)}}{2(-349,77)} \\ 0 &= \frac{-1092,04 \pm 306,97}{-699,54} \\ X_1 &= \underline{1,12} \quad (\text{valor con el que se va a realizar el cálculo}) \\ X_2 &= 1,99 \quad (\text{valor próximo a 2.} \therefore \text{no hay deformación}) \end{aligned}$$

⁶⁶ Larouse. Matemáticas. Francia. Editorial printer colombiana. 1992. Bogotá. 210Pgs. Última edición

Reemplazando el valor de X1, en la ecuación de la segunda integral se obtiene:

$$\begin{aligned}
 E. I. Y_{\max} &= \frac{761,63(1,12)^3}{6} - \frac{258,90(1,12-0,3)^3}{6} - \frac{28,07(1,12-0,93)^3}{3} \\
 &- \frac{590,83(1,12-0,93)^3}{6} - \frac{263,87(1,12-0,98)^3}{6} - \frac{15,98(1,12-1,38)^3}{6} - \frac{125,09(1,12-1,44)^3}{6} \\
 &- \frac{178,40(1,12-1,62)^3}{6} + \frac{(-311,02)(1,12)^2}{2} + 0 + 0 \\
 (200\text{GPa}). I. Y_{\max} &= 178,34\text{Nm}^3 - 23,79\text{Nm}^3 - 0,03\text{Nm}^3 - 0,68\text{Nm}^3 - 0,12\text{Nm}^3 - 195,07\text{Nm}^3 \\
 (200 \times 10^9 \text{ N/m}^2). I. Y_{\max} &= -41,35\text{Nm}^3
 \end{aligned}$$

Ecuación 70

Finalmente para obtener la deformación máxima (Ymax), se necesita determinar los valores del módulo de elasticidad (E) y del momento de inercia (I).

En el caso del módulo de elasticidad, su valor depende del material de la viga que es de acero y se consigue en catálogos o tablas, por lo tanto de las tablas se tiene un módulo de elasticidad⁶⁷ de 200GPa; y para conocer el valor del momento de inercia (**Fig. 79**) se aplican las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 \bar{I}_x &= \bar{I}_x + A \cdot (d)^2 \\
 \bar{I}_x &= I_x - A \cdot (d)^2
 \end{aligned}$$

Ecuación 71

En donde:

\bar{I}_x = Momento de inercia⁶⁸ que pasa por el centro de gravedad del perfil

I_x = Momento de inercia (teorema de Steiner)⁶⁹

A = Área del perfil

d = Distancia de cada figura de \bar{I}_x a I_x

Cuando pasa por el momento de inercia del eje I_x

$$\bar{I}_x = \frac{b \cdot h^3}{3}$$

Ecuación 72

⁶⁷ SHIGLEY. Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. Estados Unidos. Mc Graw-Hill Editores S.A. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

⁶⁸ SINGER. Ferdinand L. Resistencia de materiales. Estados Unidos. Edición en versión español por Harla S.A. 1982 México DF. 560Pgs. Tercera edición.

⁶⁹ Teorema de Steiner: "permite trasladar el momento de inercia con respecto a un eje paralelo"

Cuando no pasa por el momento del eje de inercia I_x

$$\bar{I}_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Ecuación 73

En donde:

\bar{I}_x = Momento de inercia que pasa por el centro de gravedad del perfil
b = Base
h = Altura

$$dT = \frac{A1 \cdot d1 + A2 \cdot d2 + A3 \cdot d3 + A4 \cdot d4}{A1 + A2 + A3 + A4}$$

Ecuación 74

$$AT = A1 + A2 + A3 + A4$$

Ecuación 75

$$IxT = Ix1 + Ix2 + Ix3 + Ix4$$

Ecuación 76

$$\bar{IxT} = IxT - AT \cdot (dT)^2$$

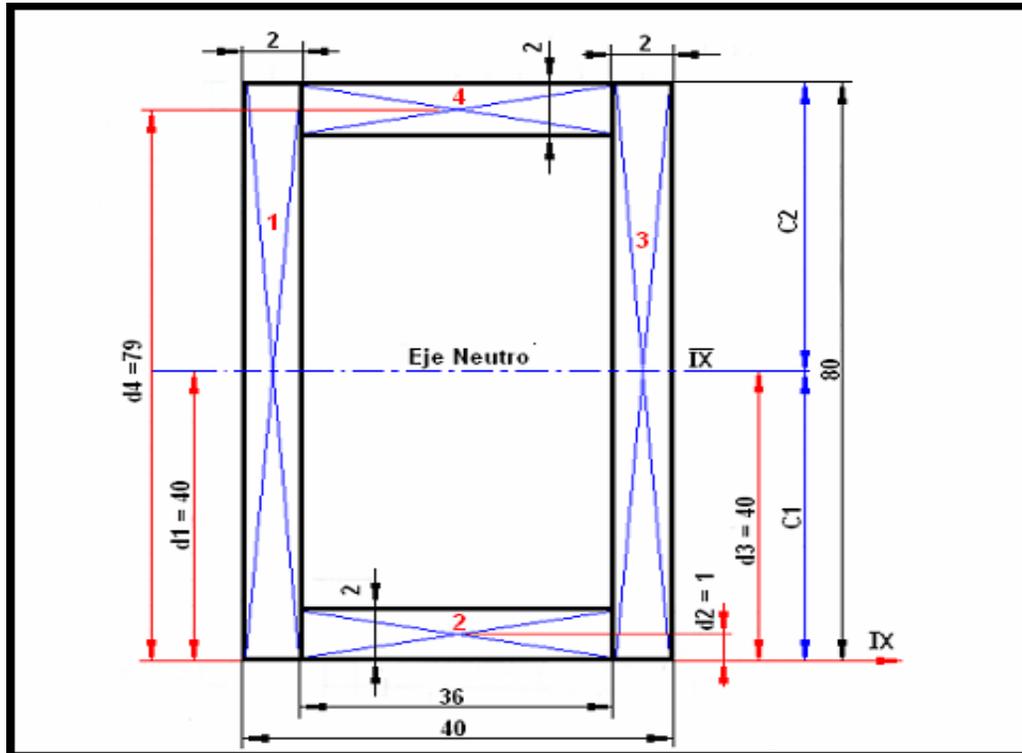
Ecuación 77

En donde:

dT = Distancia total entre \bar{I}_x y I_x
AT = Área total del perfil
IxT = Momento de inercia total
 \bar{IxT} = Momento de inercia total que pasa por el centro de gravedad del perfil

Para realizar el cálculo del momento de inercia, se divide a la superficie del perfil en figuras rectangulares (**Fig. 79**) tratando de hacer que la mayoría de las mismas pasen por el eje de inercia (I_x) trazada en una de las fibras externas del perfil y se determina el momento de inercia y el área de cada una de las figuras, para luego obtener el valor total mediante la suma de los parciales calculados.

Figura 79. Cálculo del momento de inercia IX del perfil empleado en la estructura



Empleando la ecuación 72 para las figuras del perfil que pasan por el eje del momento de inercia I_x se tiene:

$$I_{x1} = \frac{b \cdot h^3}{3} = \frac{2 \cdot (80)^3}{3} = 341333,33 \text{ mm}^4$$

$$I_{x2} = \frac{b \cdot h^3}{3} = \frac{36 \cdot (2)^3}{3} = 96 \text{ mm}^4$$

$$I_{x3} = \frac{b \cdot h^3}{3} = \frac{2 \cdot (80)^3}{3} = 311333,33 \text{ mm}^4$$

Para el caso de la figura que no pasa por el eje del momento de inercia (I_x) (**rectángulo 4 de la figura 79**) se aplica el teorema de Steiner ⁷⁰ mediante las ecuaciones 71 y 73:

$$I_{x4} = \overline{I_{x4}} + A4 \cdot (d4)^2$$

$$I_{x4} = \frac{b \cdot h^3}{12} + A4 \cdot (d4)^2 = \frac{(36)(2)^3}{12} + [(36)(2)] [(79)^2] = 449376 \text{ mm}^4$$

⁷⁰ Teorema de Steiner: “permite trasladar el momento de inercia con respecto a un eje paralelo”

El momento de inercia total (I_{xT}) se obtiene de la ecuación 76:

$$I_{xT} = 341333,33mm^4 + 96mm^4 + 341333,33mm^4 + 449376mm^4$$

$$\underline{\underline{I_{xT} = 1132138,66mm^4}}$$

Para obtener la distancia total (dT) y el área total (AT) se aplican las ecuaciones 74 y 75 respectivamente:

$$dT = \frac{A1.d1 + A2.d2 + A3.d3 + A4.d4}{A1 + A2 + A3 + A4}$$

$$dT = \frac{[(2)(80)(40)] + [(36)(2)(1)] + [(2)(80)(40)] + [(36)(2)(79)]}{(2)(80) + (36)(2) + (2)(80) + (36)(2)}$$

$$\underline{\underline{dT = 40mm}}$$

$$AT = A1 + A2 + A3 + A4$$

$$AT = 160mm^2 + 72mm^2 + 160mm^2 + 72mm^2$$

$$\underline{\underline{AT = 464mm^2}}$$

Por último, para obtener el momento de inercia total que pasa por el centro de gravedad del perfil ($\overline{I_{xT}}$) se aplica la ecuación 71:

$$\overline{I_{xT}} = 1132138,66 - [(464mm^2)(40mm)^2]$$

$$\underline{\underline{\overline{I_{xT}} = 389738,66mm^4}}$$

Una vez que se ha calculado el momento de inercia ($\overline{I_{xT}}$) del perfil de la estructura y que se conoce el módulo de elasticidad (E), se reemplaza sus valores en la ecuación 70 y se obtiene la deformación total de la estructura, así:

$$E \cdot I \cdot Y_{\max} = -41,35Nm^3$$

$$(200 \times 10^9 N/m^2)(3,89 \times 10^{-07} m^4)Y_{\max} = -41,35Nm^3$$

$$(77947,73Nm^2)Y_{\max} = -41,35Nm^3$$

$$Y_{\max} = \frac{-41,35Nm^3}{77947,73Nm^2}$$

$$Y_{\max} = -0,53 \times 10^{-3} m = \underline{\underline{-0,53mm}} = (5,3 \times 10^{-4} m)$$

Para verificar si la viga de la estructura analizada tiene la suficiente resistencia se utiliza la siguiente condición:

$$Y_{\max} \leq \frac{\text{Longitud de la viga}}{360}$$

$$0,53\text{mm} \leq \frac{2000\text{mm}}{360}$$

$$0,53\text{mm} \leq 5,55\text{mm}$$

De acuerdo a lo obtenido, se concluye que la resistencia de la viga es muy alta, por lo tanto, la deformación en la estructura va a ser mínima, afirmando mediante el cálculo efectuado que no se van a presentar fallas por este tipo de esfuerzo.

2.8.2 Cálculo del momento flexionante (Mf)

Para verificar la resistencia del material y dimensiones de la viga analizada, es necesario que los resultados de cálculo cumplan con la siguiente condición de resistencia:

$$S \geq \frac{Mf}{\sigma}$$

En donde :

S = Módulo de resistencia

Mf = Momento flexionante

σ = Esfuerzo

Ecuación 78

La dimensión de la viga es de 2m, por lo tanto se puede emplear valores para el cálculo que estén entre 0 y 2m; así:

$$0 \leq X \leq 2$$

Aplicando la ecuación 66 se tiene:

$$E. I. \frac{d^2y}{dx^2} = Mf$$

$$\underline{X = 0}$$

$$Mf = 761,63N(0) - 258,90N(0 - 0,3) - 28,07N(0 - 0,93) - 590,83N(0 - 0,93) \\ - 263,87N(0 - 0,98) - 15,98N(0 - 1,38) - 125,09N(0 - 1,44) - 178,40N(0 - 1,62) \\ + (-311,02Nm)$$

$$\underline{Mf = 1091,91Nm}$$

$$E. I. \frac{d^2y}{dx^2} = Mf$$

$$\underline{X = 0,5}$$

$$Mf = 761,63N(0,5) - 258,90N(0,5 - 0,3) - 28,07N(0,5 - 0,93) - 590,83N(0,5 - 0,93) \\ - 263,87N(0,5 - 0,98) - 15,98N(0,5 - 1,38) - 125,09N(0,5 - 1,44) - 178,40N(0,5 - 1,62) \\ + (-311,02Nm)$$

$$\underline{Mf = 742,25Nm}$$

$$E. I. \frac{d^2y}{dx^2} = Mf$$

$$\underline{X = 1}$$

$$Mf = 761,63N(1) - 258,90N(1 - 0,3) - 28,07N(1 - 0,93) - 590,83N(1 - 0,93) \\ - 263,87N(1 - 0,98) - 15,98N(1 - 1,38) - 125,09N(1 - 1,44) - 178,40N(1 - 1,62) \\ + (-311,02Nm)$$

$$\underline{Mf = 392,50Nm}$$

$$E. I. \frac{d^2y}{dx^2} = Mf$$

$$\underline{X = 1,5}$$

$$Mf = 761,63N(1,5) - 258,90N(1,5 - 0,3) - 28,07N(1,5 - 0,93) - 590,83N(1,5 - 0,93) \\ - 263,87N(1,5 - 0,98) - 15,98N(1,5 - 1,38) - 125,09N(1,5 - 1,44) - 178,40N(1,5 - 1,62) \\ + (-311,02Nm)$$

$$\underline{Mf = 42,74Nm}$$

$$E \cdot I \cdot \frac{d^2y}{dx^2} = Mf$$

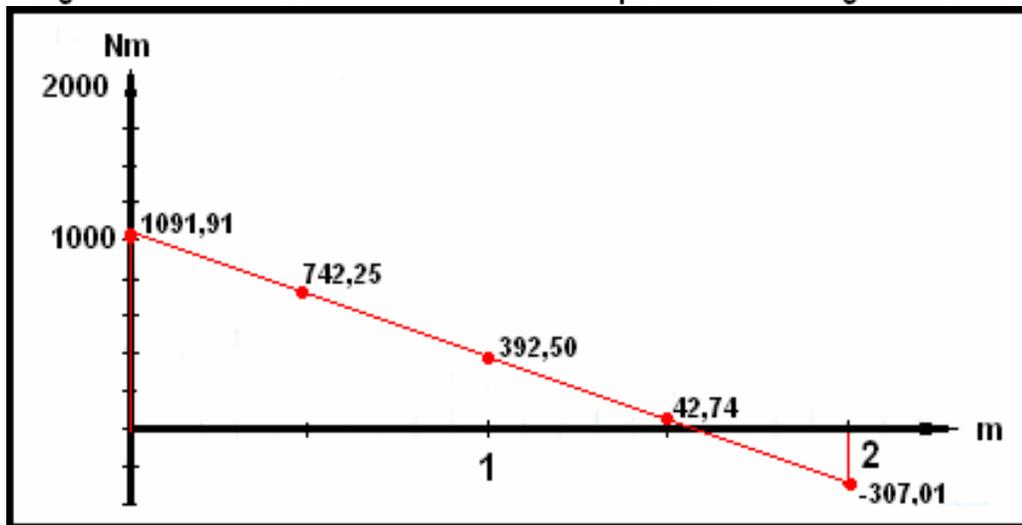
$$X = 2$$

$$Mf = 761,63N(2) - 258,90N(2 - 0,3) - 28,07N(2 - 0,93) - 590,83N(2 - 0,93) \\ - 263,87N(2 - 0,98) - 15,98N(2 - 1,38) - 125,09N(2 - 1,44) - 178,40N(2 - 1,62) \\ + (-311,02Nm)$$

$$Mf = -307,01Nm$$

En la **figura 80**, se grafican los valores del momento flexionante (Mf) que actúa sobre la viga analizada.

Figura 80. Gráfico del momento flexionante que actúa en la viga analizada



2.8.3 Cálculo del módulo de resistencia (S)

Para determinar el valor del módulo de resistencia (S) se aplica la siguiente ecuación:

$$S = \frac{I}{C} \quad \text{Ecuación 79}$$

En donde:

S = Módulo de resistencia

I = Momento de Inercia del perfil de la estructura

C = Distancia desde el eje neutro hacia las fibras del perfil de la estructura

$$S = \frac{389738,66mm^4}{40mm}$$

$$S = 9743,47mm^3 = \underline{\underline{9,74^{-0,6}m^3}}$$

2.8.4 Cálculo del esfuerzo permisible (σ_{perm})

Para establecer el esfuerzo permisible de la viga analizada se aplica la siguiente ecuación:

$$\sigma_{permisible} = \frac{S_y}{\eta} \quad \text{Ecuación 80}$$

En donde:

σ_{perm} = Esfuerzo permisible (N/m^2)

η = Factor de seguridad

S_y = Resistencia de fluencia del material⁷¹ (Acero = 240 Mpa)

Empleando un factor de seguridad $\eta=2$ se tiene:

$$\sigma_{permisible} = \frac{240 \times 10^6 \text{ N} / \text{m}^2}{2}$$

$$\sigma_{permisible} = 120 \times 10^6 \text{ N} / \text{m}^2$$

Aplicando la condición de cálculo planteada en la ecuación 78, que permite verificar la resistencia de la viga se tiene:

$$S \geq \frac{Mf}{\sigma}$$

$$9,74^{-06} \text{ m}^3 \geq \frac{1091,91 \text{ Nm}}{120 \times 10^6 \text{ N} / \text{m}^2}$$

Se cumple que :

$$9,74^{-06} \text{ m}^3 \geq 9,09^{-06} \text{ m}^3$$

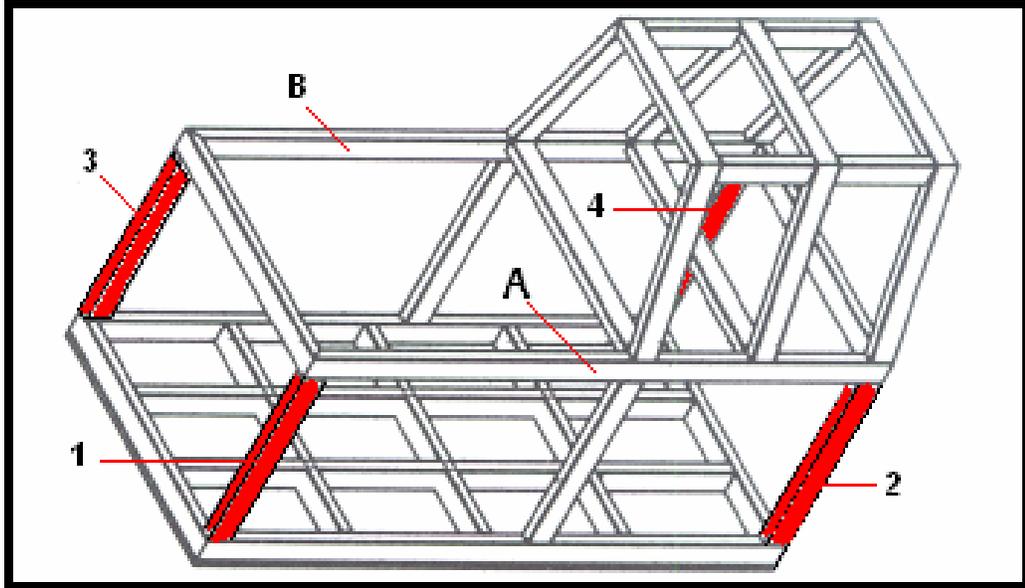
La condición de cálculo que se plantea en la ecuación 78 si se cumple, por lo tanto, se garantiza que la viga analizada tiene gran resistencia a los esfuerzos descritos, que son producidos por los elementos que lleva montados en su estructura el banco de pruebas.

⁷¹ SHIGLEY. Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. Estados Unidos. Mc Graw-Hill Editores S.A. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

2.8.5 Cálculos del esfuerzo de pandeo en la estructura

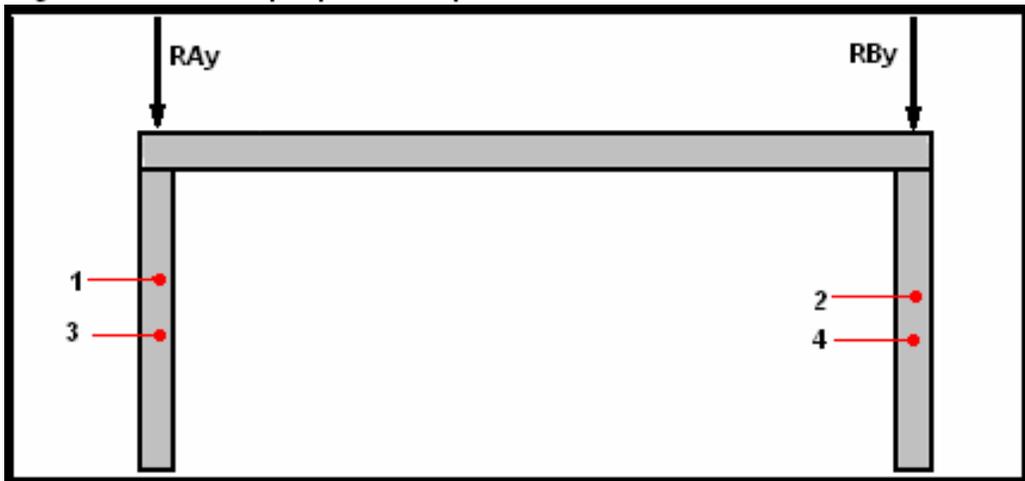
En la estructura diseñada para el banco de pruebas, se tienen cuatro columnas principales que van a soportar el peso de los elementos montados. Estas columnas pueden ser observadas en la **figura 81**.

Figura 81. Columnas principales de la estructura sometidas a pandeo



Para iniciar el cálculo del esfuerzo a pandeo, es necesario obtener de los cálculos anteriores el valor de las reacciones (RA_y y RB_y) que son las que actúan verticalmente sobre las columnas de la estructura del banco de pruebas (**Fig. 82**).

Figura 82. Fuerzas que producen pandeo sobre las columnas de la estructura



De la **figura 81**, se establece que las columnas 1 y 3 van a soportar cargas iguales, de la misma manera las columnas 2 y 4 van a estar sometidas a los mismos esfuerzos.

a. Análisis de las columnas 1 y 3:

El peso total que van a soportar estas columnas corresponde al valor de la reacción RA_y , por lo tanto:

$$\begin{aligned} Pt_{1-3} &= RA_y \\ Pt_{1-3} &= 761,63N \end{aligned}$$

b. Análisis de las columnas 2 y 4:

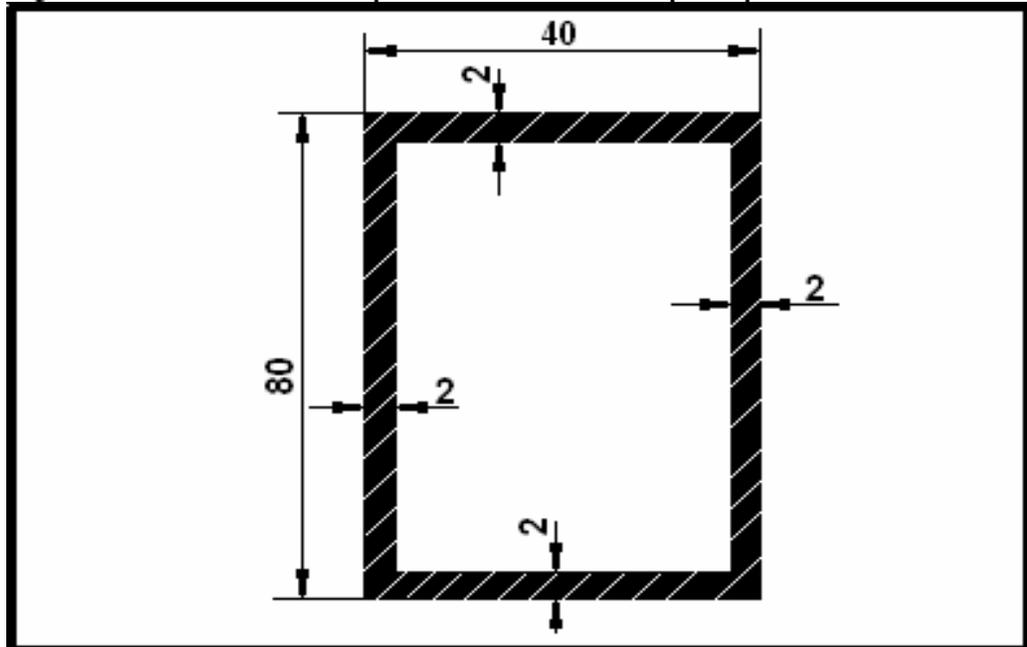
El peso total que van a soportar estas columnas corresponde al valor de la reacción RB_y , por lo tanto:

$$\begin{aligned} Pt_{2-4} &= RB_y \\ Pt_{2-4} &= 699,51N \end{aligned}$$

2.8.5.1 Cálculo del área transversal de contacto del perfil

Una vez que se ha establecido la fuerza (peso) que va a soportar cada columna se prosigue a determinar el área de contacto del perfil empleado en la estructura. En la **figura 83**, se observan las dimensiones que permiten obtener el área transversal (A) del perfil (es el mismo para las 4 columnas) que soportará el peso de los elementos montados en la estructura del banco.

Figura 83. Dimensiones del perfil de las columnas principales de la estructura



Considerando las dimensiones del perfil que constan en la **figura 83**, se tiene:

$$\begin{aligned}
 \text{Area (A)} &= \text{Base (b)} \cdot \text{Altura (h)} \\
 \text{Area de contacto} &= A_{\text{exterior}}(1) - A_{\text{interior}}(2) \\
 A &= b_1 \cdot h_1 - A_2 \cdot h_2 \\
 A &= (40\text{mm})(80\text{mm}) - (36\text{mm})(76\text{mm}) \\
 A &= \underline{464\text{mm}^2} = (4,64^{-4} \text{m}^2)
 \end{aligned}$$

2.8.5.2 Relación de Esbeltez⁷²:

En esta relación, se vincula a la longitud de la columna (L) y al radio de giro del perfil de la viga (K), y que comparándolo con el factor de seguridad se plantean condiciones para determinar la ecuación (E. Euler o E. Jonson)⁷³ que se debe emplear en los cálculos.

$$\text{Relación de Esbeltez: } \frac{L}{K}$$

2.8.5.3 Cálculo del radio de giro (K)⁷⁴

Para obtener el valor del radio de giro se emplea la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 I &= K^2 \cdot A \\
 K^2 &= \frac{I}{A} \\
 \text{Se trabaja con el menor:} \\
 K_x &= \sqrt{\frac{I_x}{A}} \\
 K_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}}
 \end{aligned}$$

Ecuación 81

⁷² SHIGLEY. Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. Estados Unidos. Mc Graw-Hill Editores S.A. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

⁷³ SHIGLEY. Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. Estados Unidos. Mc Graw-Hill Editores S.A. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

⁷⁴ MISCHKE. Charles R. Diseño en ingeniería mecánica. Estados Unidos. Mc Graw-Hill Editores S.A. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

En donde:

$$\begin{aligned} K_x &= \text{Radio de giro del perfil en el eje x} \\ K_y &= \text{Radio de giro del perfil en el eje y} \\ A &= \text{Área transversal} \\ \overline{I_x} &= \text{Momento de inercia del perfil en el eje x} \\ \overline{I_y} &= \text{Momento de inercia del perfil en el eje y} \end{aligned}$$

El valor del momento de inercia del centro de gravedad en el eje x ($\overline{I_x}$) del perfil de la columna de acuerdo a lo calculado anteriormente (ecuación 71) es de:

$$\boxed{\begin{aligned} \overline{I_x T} &= 1132138,66 - [(464\text{mm}^2)(40\text{mm})^2] \\ \underline{\underline{\overline{I_x T} &= 389738,66\text{mm}^4}} \end{aligned}}$$

Para obtener el valor del momento de inercia del centro de gravedad en el eje y ($\overline{I_y}$) del perfil de la columna analizada, se tienen las siguientes ecuaciones⁷⁵:

$$\boxed{\begin{aligned} I_y &= \overline{I_y} + A \cdot (d)^2 \\ \overline{I_y} &= I_y - A \cdot (d)^2 \end{aligned}} \quad \text{Ecuación 82}$$

En donde:

- $\overline{I_y}$ = Momento de inercia⁷⁶ que pasa por el centro de gravedad del perfil en el eje Y.
- I_y = Momento de inercia (teorema de Steiner)⁷⁷
- A = Área del perfil
- d = Distancia de cada figura de $\overline{I_y}$ a I_y

$$\boxed{\begin{aligned} \text{Cuando pasa por el eje del momento de inercia } I_y \\ \overline{I_y} = \frac{b \cdot h^3}{3} \end{aligned}} \quad \text{Ecuación 83}$$

$$\boxed{\begin{aligned} \text{Cuando no pasa por el eje del momento de inercia } I_y \\ \overline{I_y} = \frac{b \cdot h^3}{12} \end{aligned}} \quad \text{Ecuación 84}$$

⁷⁵ SINGER. Ferdinand L. Resistencia de materiales. Estados Unidos. Edición en versión español por Harla S.A. 1982 México DF. 560Pgs. Tercera edición.

⁷⁶ SINGER. Ferdinand L. Resistencia de materiales. Estados Unidos. Edición en versión español por Harla S.A. 1982 México DF. 560Pgs. Tercera edición.

⁷⁷ Teorema de Steiner: "permite trasladar el momento de inercia con respecto a un eje paralelo"

En donde:

\bar{I}_y = Momento de inercia que pasa por el centro de gravedad del perfil
b = Base
h = Altura

$$dT = \frac{A1.d1 + A2.d2 + A3.d3 + A4.d4}{A1 + A2 + A3 + A4} \quad \text{Ecuación 85}$$

$$AT = A1 + A2 + A3 + A4 \quad \text{Ecuación 86}$$

$$IyT = Iy1 + Iy2 + Iy3 + Iy4 \quad \text{Ecuación 87}$$

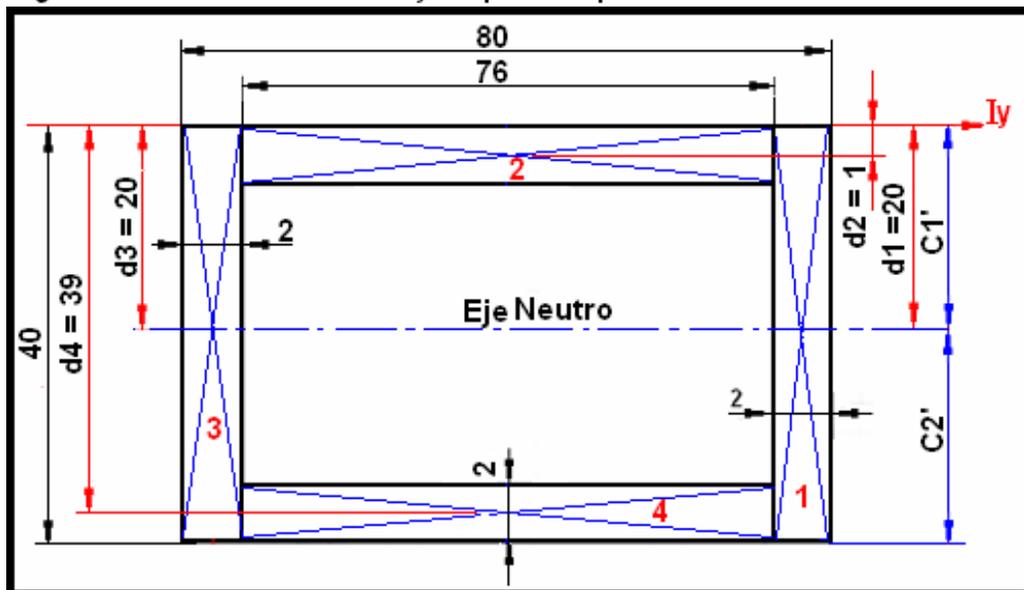
$$\bar{I}_{yT} = IyT - AT.(dT)^2 \quad \text{Ecuación 88}$$

En donde:

dT = Distancia total entre \bar{I}_y y I_y
AT = Área total del perfil
IyT = Momento de inercia total
 \bar{I}_{yT} = Momento de inercia total que pasa por el centro de gravedad del perfil

En la **figura 84**, se observa la posición del perfil de la viga para el cálculo del momento de inercia en el eje Y. De igual forma que para el cálculo del momento de inercia del eje X, se ha dividido al perfil de la viga en cuatro figuras (rectángulos), y se ha determinado el momento de cada una, para luego sumar sus valores y obtener un momento de inercia total.

Figura 84. Momento de inercia I_y del perfil empleado en las columnas del banco



Aplicando la ecuación 83, para las figuras que pasan por el momento de inercia del eje Y trazado en la **figura 84**, se tiene:

$$\overline{Iy1} = \frac{2 \cdot (40)^3}{3} = 42666,67 \text{ mm}^4$$

$$\overline{Iy2} = \frac{76 \cdot (2)^3}{3} = 202,67 \text{ mm}^4$$

$$\overline{Iy3} = \frac{2 \cdot (40)^3}{3} = 42666,67 \text{ mm}^4$$

Para el caso de la figura rectangular (**rectángulo 4 de la figura 84**), que no pasa con uno de sus lados por el eje del momento de inercia (Iy) se aplica el teorema de Steiner,⁷⁸ mediante las ecuaciones 82 y 84:

$$Iy4 = \overline{Iy4} + A4 \cdot (d4)^2$$

$$Iy4 = \frac{b \cdot h^3}{12} + A4 \cdot (d4)^2 = \frac{(76)(2)^3}{12} + [(76)(2)] [(39)^2] = 231242,67 \text{ mm}^4$$

El momento de inercia total (IyT) se obtiene aplicando la ecuación 87:

$$IyT = 42666,67 \text{ mm}^4 + 202,67 \text{ mm}^4 + 42666,67 \text{ mm}^4 + 231242,67 \text{ mm}^4$$

$$\underline{\underline{IyT = 316778,68 \text{ mm}^4 = 3,16^{-7} \text{ m}^4}}$$

Para obtener la distancia total (dT) y el área total (AT) se aplican las ecuaciones 85 y 86 respectivamente:

$$dT = \frac{A1 \cdot d1 + A2 \cdot d2 + A3 \cdot d3 + A4 \cdot d4}{A1 + A2 + A3 + A4}$$

$$dT = \frac{[(2)(40)(20)] + [(76)(2)(1)] + [(2)(40)(20)] + [(76)(2)(39)]}{(2)(40) + (76)(2) + (2)(40) + (76)(2)}$$

$$\underline{\underline{dT = 20 \text{ mm}}}$$

$$AT = A1 + A2 + A3 + A4$$

$$AT = 80 \text{ mm}^2 + 152 \text{ mm}^2 + 80 \text{ mm}^2 + 152 \text{ mm}^2$$

$$\underline{\underline{AT = 464 \text{ mm}^2}}$$

⁷⁸ Teorema de Steiner: “permite trasladar el momento de inercia con respecto a un eje paralelo”

Por último, para establecer el momento de inercia total que pasa por el centro de gravedad del perfil (\overline{IyT}) se aplica la ecuación 88:

$$\overline{IyT} = 316778,68 - [(464\text{mm}^2)(20\text{mm})^2]$$

$$\underline{\underline{\overline{IyT} = 131178,68\text{mm}^4 = 1,31^{-07} \text{m}^4}}$$

Con los valores obtenidos de los momentos del perfil de la viga, tanto del eje X como el del eje Y, se reemplaza dichos valores en la ecuación 81 para establecer el radio de giro Kx y Ky, así:

$$Kx = \sqrt{\frac{389738,66\text{mm}^4}{464\text{mm}^2}}$$

$$\underline{\underline{Kx = 28,98\text{mm}}}$$

$$Ky = \sqrt{\frac{131178,68\text{mm}^4}{464\text{mm}^2}}$$

$$\underline{\underline{Ky = 16,81\text{mm}}}$$

Debido a que el radio de giro Ky, es menor, se trabaja con este valor para prevenir fallos mecánicos en la columna; luego se procede a aplicar la relación de Esbeltez y comparar con el factor de seguridad $\left(\frac{L}{K}\right)_1$, para determinar la ecuación de cálculo que se debe utilizar (E. Euler o E. Jonson)⁷⁹, teniendo en cuenta las siguientes condiciones:

$$\left. \text{Si } \frac{L}{K} \geq \frac{L}{K}_1 \right) \Rightarrow \text{Se aplicará la Ecuación de Euler}$$

$$\left. \text{Si } \frac{L}{K} \leq \frac{L}{K}_1 \right) \Rightarrow \text{Se aplicará la Ecuación de Jhonson}$$

⁷⁹ MISCHKE. Charles R. Diseño en ingeniería mecánica. Estados Unidos. Mc Graw-Hill Editores S.A. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

A continuación se plantean las ecuaciones de Jhonson y de Euler:

Ecuación De Jhonson

$$\frac{P_{crit}}{A} = S_y - \left(\frac{S_y \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot K} \right)^2 \cdot \frac{1}{C \cdot E} \quad \text{Ecuación 89}$$

$$P_{crit} = A \left[S_y - \left(\frac{S_y \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot K} \right)^2 \frac{1}{C \cdot E} \right]$$

Ecuación De Euler

$$P_{crit} = \frac{C \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \quad \text{Ecuación 90}$$

$$\frac{P_{crit}}{A} = \frac{C \cdot \pi^2 \cdot E}{(L/K)^2}$$

En donde:

Pcrit = Carga crítica

A = Área transversal del perfil de la columna

Sy = resistencia de fluencia del material (acero = 240 Mpa)

E = Módulo de elasticidad del material (acero = 200Gpa)

C = Constante de condición de sujeción de la columna (**Tabla 17** – Pg. 161)

L = Longitud de la columna

I = Momento de inercia del perfil de la columna

K = Radio de giro del perfil de la columna

π = Constante de cálculo Pi.

2.8.5.4 Cálculo del factor de seguridad de resistencia al esfuerzo de pandeo $\left(\frac{L}{K_1} \right)$

Se lo obtiene de la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{L}{K} \right)_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot C \cdot E}{S_y}} \quad \text{Ecuación 91}$$

En donde:

π = Constante de cálculo Pi.

C = Constante de sujeción (**Tabla 17**– Pg. 161)

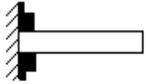
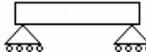
E = Módulo de elasticidad (Acero = 200Gpa)⁸⁰

Sy = Resistencia de fluencia (Acero = 240Mpa)

⁸⁰ MISCHKE. Charles R. Diseño en ingeniería mecánica. Estados Unidos. Mc Graw-Hill Editores S.A. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

El valor de la constante de sujeción (C) corresponde en este caso al pandeo de la condición de empotramiento en ambos extremos. En la **tabla 17**, se tienen los casos de sujeción y sus valores⁸¹. (Para efectos de cálculo se trabaja con los valores conservadores).

Tabla 17. Valores de la constante de sujeción "C"

CASOS DE PANDEO		
CONSTANTE DE SUJECIÓN "C"		
CONDICIONES DE SUJECIÓN	Valor Teórico	Valor Conservador
Empotrado en el un extremo y libre en el otro 	1/4	1/4
Articulado en el un extremo y articulado en el otro 	1	1
Empotrado en el un extremo y articulado en el otro 	2	1
Empotrado en el un extremo y empotrado en el otro extremo 	4	1

Aplicando la ecuación 91, se tiene:

$$\left. \frac{L}{K} \right)_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot (\pi^2) \cdot (1) \cdot (200 \times 10^9 \text{ N/m}^2)}{240 \times 10^6 \text{ N/m}^2}}$$

$$\left. \frac{L}{K} \right)_1 = \underline{\underline{128,25}}$$

Al comparar los valores obtenidos de la relación de Esbeltez y del factor de seguridad se tiene:

$$\frac{L}{K} = \frac{800\text{mm}}{16,81\text{mm}} = \underline{\underline{47,59}}$$

$$\left. \frac{L}{K} \right)_1 = \underline{\underline{128,25}}$$

$$\left. \frac{L}{K} \right)_1 \geq \frac{L}{K} \rightarrow \therefore \text{se aplicará la parábola de Jhonson}$$

⁸¹ SHIGLEY. Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. Estados Unidos. Mc Graw-Hill Editores S.A. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.

Aplicando la ecuación 89, (ecuación de Jhonson) se obtiene:

$$P_{crit} = A \left[S_y - \left(\frac{S_y \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot K_y} \right) \right] \frac{1}{C \cdot E}$$

$$P_{crit} = 4,64^{-4} m^2 \left[240 \times 10^6 \frac{N}{m^2} - \left(\frac{(240 \times 10^6 N/m^2)(0,8m)}{2 \cdot \pi \cdot (0,016m)} \right) \frac{1}{(1) \cdot (200 \times 10^9 N/m^2)} \right]$$

$$P_{crit} = \underline{\underline{111360N}}$$

Por último, para determinar si existe pandeo en la columna que se analiza, se debe aplicar la siguiente condición⁸²:

Condición que permite establecer la existencia o no de pandeo:

$$P_{crit} \geq P_{max}$$

Ecuación 92

El peso máximo (P máx.) que soporta una columna de la estructura, está en función del factor de diseño, que para este caso será $\eta d = 10$ y de la fuerza que soporta cada columna (Pt), así:

Columnas 1 y 3:

$$P_{max_{1-3}} = (P_{t_{1-3}})(\eta d)$$

$$P_{max_{1-3}} = (761,63N)(10)$$

$$P_{max_{1-3}} = \underline{\underline{7616,3N}}$$

Columnas 2 y 4:

$$P_{max_{2-4}} = (P_{t_{2-4}})(\eta d)$$

$$P_{max_{2-4}} = (699,51N)(10)$$

$$P_{max_{2-4}} = \underline{\underline{6995,1N}}$$

⁸² SINGER. Ferdinand L. Resistencia de materiales. Estados Unidos. Edición en versión español por Harla S.A. 1982 México DF. 560Pgs. Tercera edición.

Aplicando la condición de verificación de pandeo (ecuación 92), se tiene:

Columnas 1 y 3:

$$\langle 111360N \geq 7616,3N \rangle$$

Por lo tanto no existirá pandeo en las columnas 1 y 3 de la estructura del banco de pruebas.

Columnas 2 y 4:

$$\langle 111360N \geq 6995,1N \rangle$$

Por lo tanto no existirá pandeo en las columnas 2 y 4 de la estructura del banco de pruebas.

De esta forma, se concluyen los cálculos en la estructura, verificando que no existan fallas de resistencia mecánica (deformación, esfuerzos y pandeo) producidas por los elementos que van montados sobre el banco de pruebas.

CONCLUSIONES PARCIALES:

Los cálculos efectuados en este capítulo tanto para la selección de la potencia del motor eléctrico como para la construcción de los dispositivos mecánicos permiten demostrar matemáticamente la correcta selección de los mismos, además confirman que el diseño elaborado para la fabricación del banco de pruebas, se encuentra bajo los parámetros de resistencia a los esfuerzos que han sido analizados y que van a producirse durante su funcionamiento, garantizando que los elementos empleados son lo suficientemente fuertes, fiables y seguros a las condiciones de trabajo a las que deben estar sometidos durante su actividad.

CAPÍTULO III

CONSTITUCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS

INTRODUCCIÓN:

Luego de realizar los cálculos de construcción de los componentes mecánicos que constituyen el banco de pruebas, en el capítulo III se presenta la descripción y análisis de los mecanismos de accionamiento, de sujeción, de potencia, de transmisión, de alimentación, además se detalla el funcionamiento de los principales sistemas por medio de esquemas y planos de conexión.

Los sistemas básicos de funcionamiento y de control a los que va enfocado el estudio de este capítulo son el sistema eléctrico y el sistema hidráulico; el primero que es el encargado del control y el segundo corresponde a la alimentación y abastecimiento del líquido de ensayo.

El funcionamiento del banco de pruebas, sigue una secuencia previamente programada, que va desde el encendido general, introducción de parámetros, puesta en marcha, observación de estado, apagado general, apagado de emergencia y verificación de resultados.

3.1 Constitución y especificaciones

Con el fin de responder a las exigencias más importantes que se requieren para verificar las bombas de inyección tipos A y P, el banco de pruebas ha de estar equipado con los elementos e instrumentos indispensables para realizar las principales pruebas de comprobación en las bombas de inyección especificadas. El banco de pruebas diseñado, está constituido principalmente por los elementos citados en la **tabla 18**, los cuales serán descritos durante el desarrollo de este capítulo.

Tabla 18. Principales elementos que constituyen el banco de pruebas diseñado

ITEM	ELEMENTOS MECÁNICOS	ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	ELEMENTOS HIDRÁULICOS
1	Estructura metálica	Motor eléctrico 7.5hp	Juego de probetas
2	Cubiertas	Variador de velocidad	Bomba de alimentación de combustible
3	Eje de transmisión	Sistema cuenta vueltas	Depósito de combustible
4	Placas de soporte para el eje de transmisión	Sistema de corte de combustible	Medidor de presión
5	Cabezal	Motor eléctrico 3hp	Filtros de combustible
6	Mecanismo de sujeción elástico bomba - cabezal	Motores eléctricos actuadores 12V	Cañerías
7	Placa base	Fuente logo 24V/5A	Inyectores
8	Placas de soporte para la mesa de sujeción	Fuente 12V/8A	Válvulas reguladoras de presión
9	Mesa de sujeción	PLC (S7 200) CPU224XP	Válvula limitadora de caudal
10	Caja porta probetas	Ventiladores	
11	Placa porta-probetas	Caja eléctrica hermética	
12	Eje porta-probetas y manijas	Térmicos, contactores, breakers y relés	
13	Elementos de traba del eje porta-probetas	Transmisor	
14	Malla de protección	Transformador 220V-(120V/12V)	
15	Recolector de combustible	HMI TD -200C	
16	Bases de sujeción para las bombas de inyección tipo A y P	Termocupla	
17	Poleas	Niquelinas	

3.2 Elementos mecánicos

Los elementos mecánicos que constituyen el banco de pruebas, sirven de soporte a los aparatos de los otros sistemas como por ejemplo la estructura y la placa base, otros dispositivos mecánicos permiten el funcionamiento correcto del banco como por ejemplo el eje principal, el cabezal y las piezas de sujeción. Todos cumplen una función específica dentro del banco. Los elementos mecánicos más importantes han sido construidos en base a los cálculos detallados en el capítulo 2 y de acuerdo a los diseños estéticos que facilitan su funcionabilidad.

3.2.1 Estructura metálica

En la **figura 85**, se puede observar la estructura del banco de pruebas, que está conformada por tubos estructurales de acero de 80 X 40mm; la **figura 86**, muestra la base del mismo que lo conforman una lámina de acero de 2000 X 900 X 1,4mm y una tabla de 2000 X 900 X 15mm, lo que permite disminuir las oscilaciones o vibraciones que puede sufrir el banco de pruebas durante su funcionamiento.

Figura 85. Estructura metálica del banco de pruebas

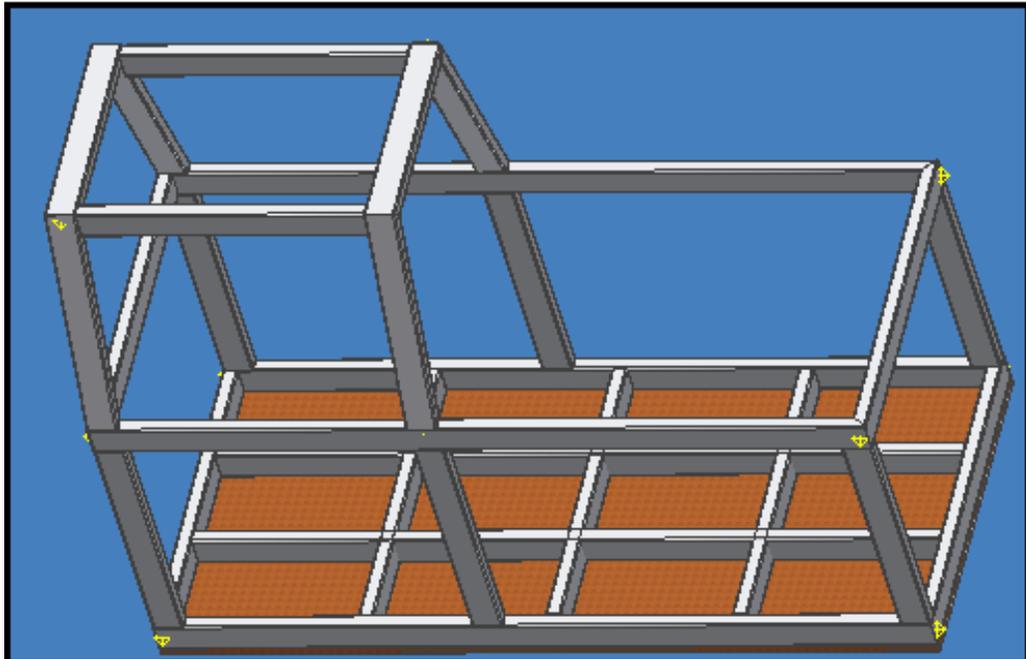
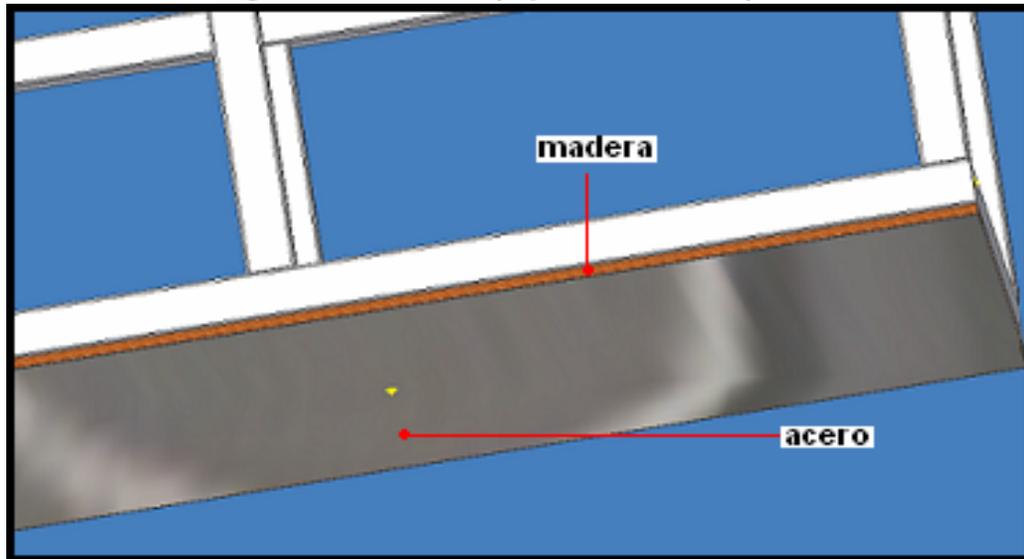


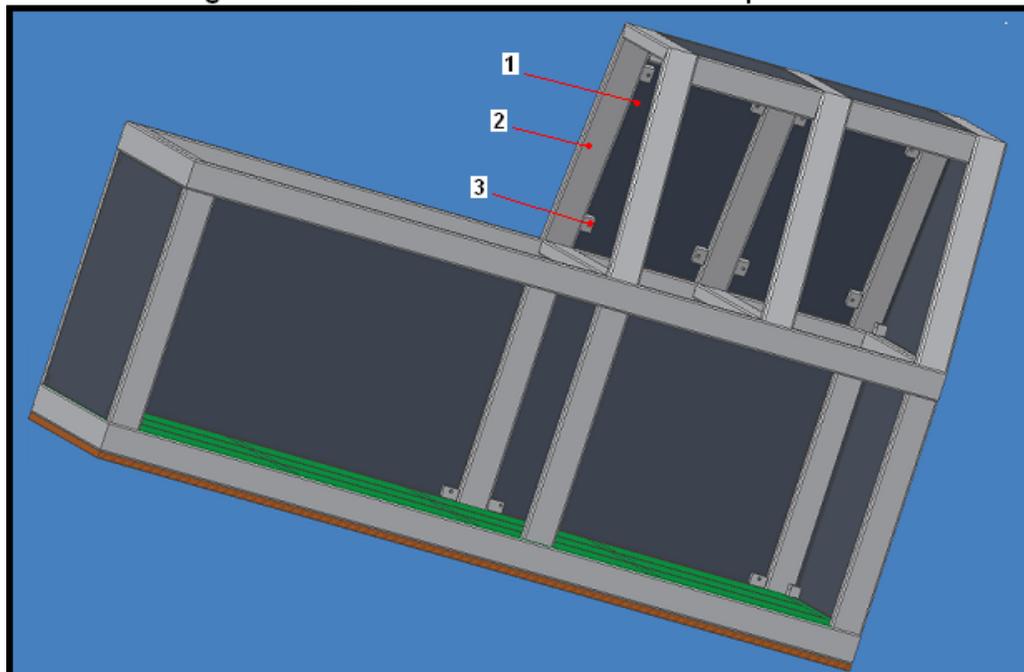
Figura 86. Base de apoyo del banco de pruebas



3.2.2 Cubiertas

Las cubiertas exteriores (1) (**Fig. 87**) con las que va provisto el banco son de plancha de acero de 2mm de espesor y van sujetas a la estructura (2) del mismo por medio de tornillos y topes (3), por lo que pueden ser desmontadas fácilmente.

Figura 87. Cubiertas exteriores del banco de pruebas

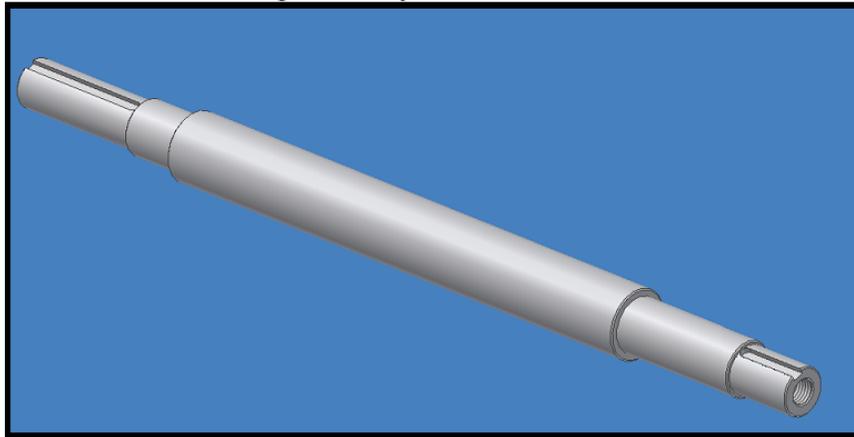


1. Cubiertas exteriores 2. Estructura metálica 3. Topes de sujeción

3.2.3 Eje de transmisión

La **figura 88**, muestra un elemento de gran importancia en la transmisión de movimiento, que va desde el motor eléctrico a la bomba de inyección, la transmisión se lo realiza por medio de bandas y poleas. Este elemento es el eje de transmisión cuyo diseño ha sido elaborado en base a cálculos de resistencia mecánica, de acuerdo al trabajo y a esfuerzos a los que va a estar sometido.

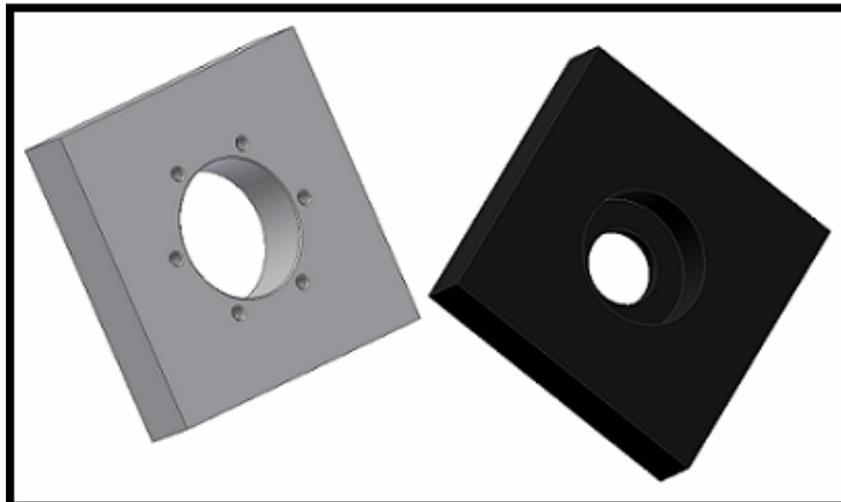
Figura 88. Eje de transmisión



3.2.4 Placas de soporte para el eje de transmisión

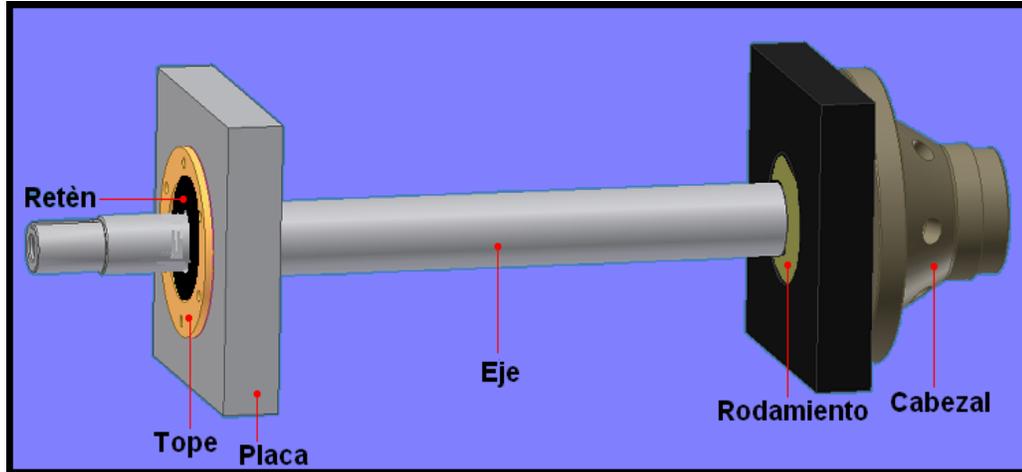
El eje de transmisión se apoya en dos placas (**Fig. 89**), las mismas que van montadas fijamente en una parte de la estructura del banco. Las dos placas alojan en su interior a un rodamiento de rodillos cilíndricos para sujetar al eje de transmisión.

Figura 89. Placas de soporte para el eje de transmisión



El conjunto Eje-Placas-Cabezal, ilustrado en la **figura 90**, se acopla por medio de rodamientos que se ubican a presión en el interior de las placas, posteriormente el eje es introducido en los rodamientos y el cabezal se une al eje por medio de una cuña o chaveta. Las placas y el eje están diseñadas de modo que los rodamientos no se salgan durante el accionamiento del eje, para ello se dispone de cambios de sección y de topes para estos elementos.

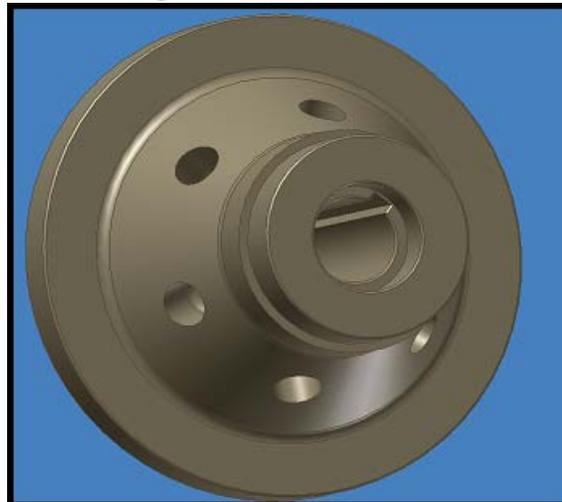
Figura 90. Conjunto eje - placas - cabezal



3.2.5 Cabezal

En la **figura 91**, se representa al cabezal del banco, por medio del cual se unen el eje principal con el eje de la bomba de inyección a través de dispositivos de sujeción elástica (**Fig. 93**). El cabezal, está hecho de acero de transmisión; en la parte externa de su circunferencia tiene graduados los 360° en intervalos de 1 grado, y en su interior lleva practicado un cuñero para la chaveta de unión con el eje de transmisión.

Figura 91. Cabezal del banco



3.2.6 Mecanismo para la selección de grados de giro

Figura 92. Mecanismo selector de grados

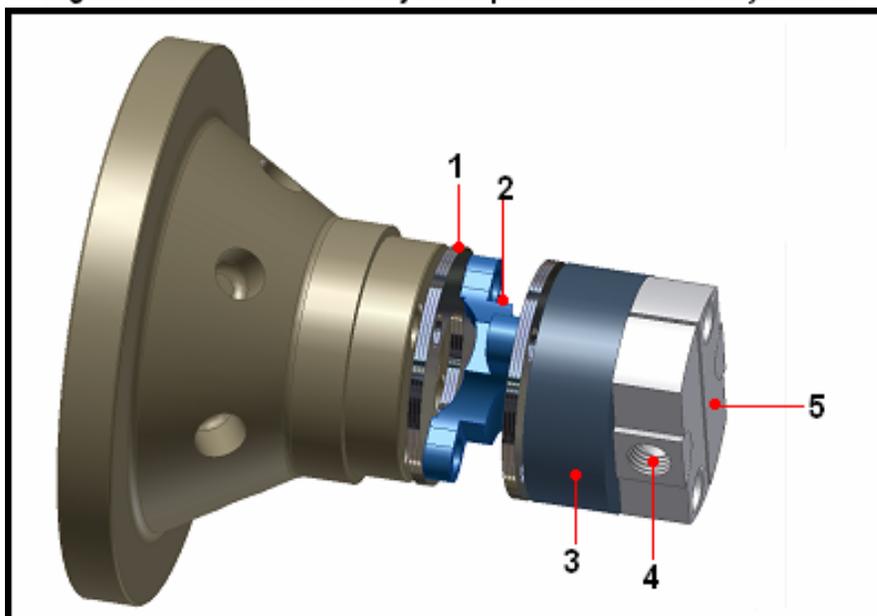


La **figura 92**, muestra el mecanismo para la selección de grados; éste sirve para la comprobación exacta del comienzo de inyección en cada uno de los elementos de la bomba de inyección de acuerdo al número de elementos. Este mecanismo trabaja conjuntamente con el tambor del cabezal graduado en 360°.

3.2.7 Mecanismo de sujeción elástico de la bomba de inyección al cabezal del banco de pruebas

El mecanismo de sujeción elástica (**figura 93**) está conformado por 6 arandelas (1) de acero, ubicadas a cada extremo de un elemento de unión tipo cruceta (2), además consta de un soporte (3), que permite el acoplamiento de dos elementos móviles (5) que son los que sujetan a la bomba de inyección por medio de un cono de unión. Estos dispositivos permiten la absorción de vibraciones durante la transmisión del movimiento del cabezal a la bomba de inyección.

Figura 93. Elementos de sujeción para la bomba de inyección



1.Arandelas elásticas 2.Cruceta 3.Soporte 4.Muelle 5.Elementos móviles

La **figura 94**, muestra a los elementos de sujeción elásticos montados en el cabezal del banco de pruebas.

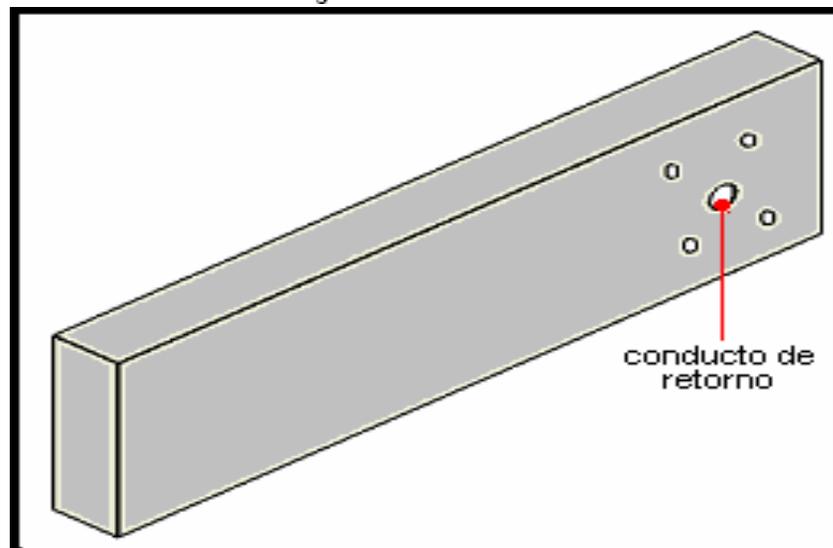
Figura 94. Elementos de sujeción elásticos montados en el cabezal



3.2.8 Placa base

Además, el banco diseñado está provisto de elementos fijos como el que se observa en la **figura 95**. Este elemento es una placa que sirve de base para otras piezas que cumplen la función de sujetar a la bomba de inyección diesel. Esta placa va montada fija a la estructura del banco, tiene rectificadas todas sus caras y posee un agujero para el retorno de combustible que cae al tanque desde los inyectores o desde las probetas de verificación de caudal.

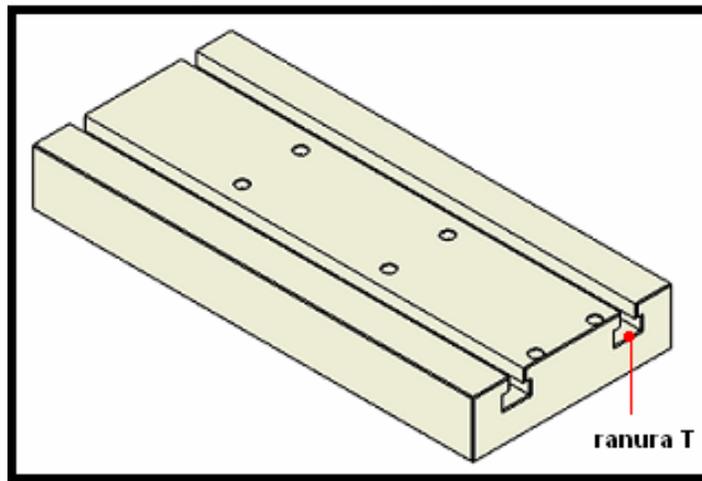
Figura 95. Placa base



3.2.9 Mesa de sujeción

En la **figura 96**, se tiene la mesa de sujeción para la bomba de inyección. Esta mesa va montada sobre la placa base por medio de unas placas más pequeñas que sirven de alzas y permiten que ésta vaya correctamente nivelada, todas las superficies de esta mesa son rectificadas, posee dos canales en T en donde se va a deslizar la base que sujeta a la bomba de inyección.

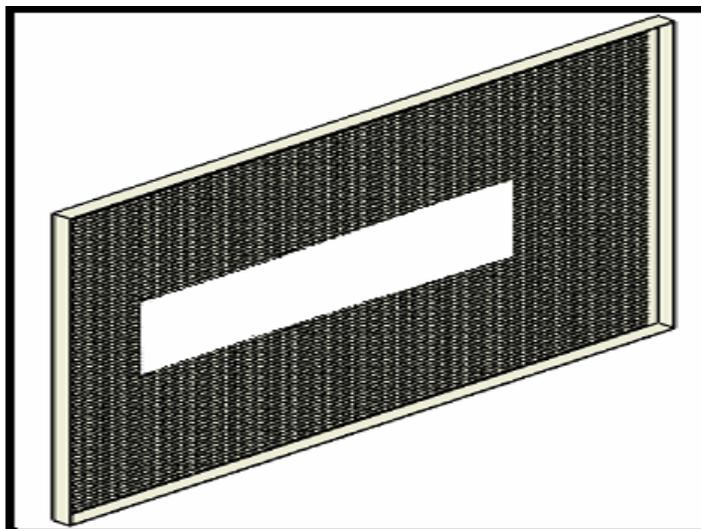
Figura 96. Mesa de sujeción



3.2.10 Malla de protección

En la parte inferior de la mesa de sujeción, se encuentra colocada una malla protectora (**Fig. 97**) desmontable y que tiene como objeto evitar que caigan impurezas de gran tamaño en el recolector del líquido de ensayo.

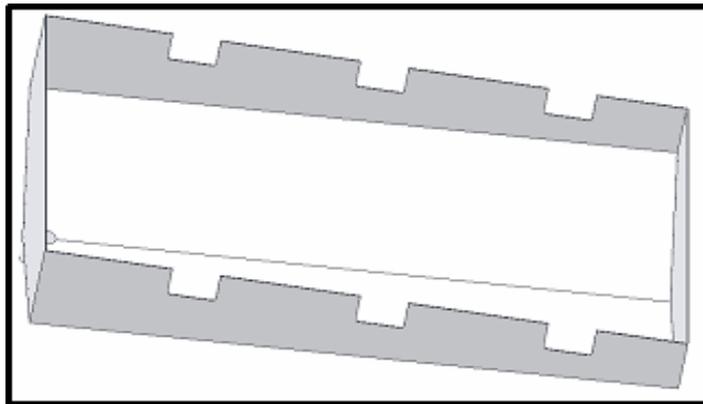
Figura 97. Malla de protección



3.2.11 Recolector de combustible

El líquido de ensayo (diesel) que retorna de la bomba de inyección y de los inyectores del banco, es recogido en una bandeja (recolector) (**Fig. 98**) que tiene como misión enviar todo el líquido de ensayo por medio de un conducto al tanque para que vuelva a ser usado y recircule nuevamente por todo el sistema, permitiendo mantener al circuito de alimentación a un nivel adecuado de abastecimiento para continuar con las comprobaciones de la bomba de inyección.

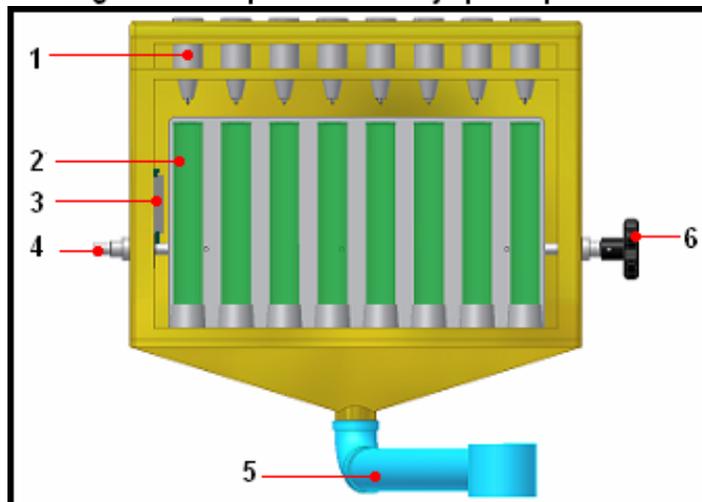
Figura 98. Recolector del líquido de ensayo



3.2.12 Caja porta-probetas

También se dispone de una caja porta-probetas (**Fig. 99**), que aloja a los elementos de medición de caudal (probetas). En la parte superior de esta caja, se encuentran ubicados los inyectores de prueba y en la parte inferior se dispone de un conducto de retorno para que el líquido de ensayo caiga al recolector y retorne al tanque de almacenamiento.

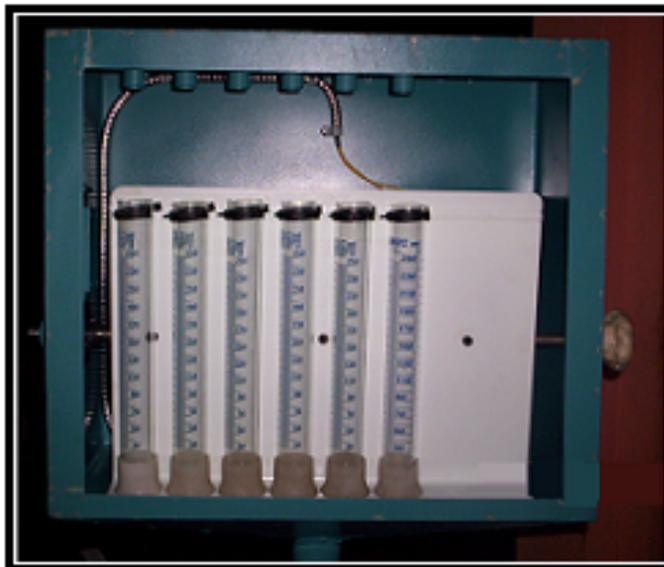
Figura 99. Esquema de la caja porta-probetas



- 1.Porta-inyectores 2.Probetas 3.Mecanismo de traba
4.Eje de las placas porta-probetas 5.Conducto de retorno 6.Manija

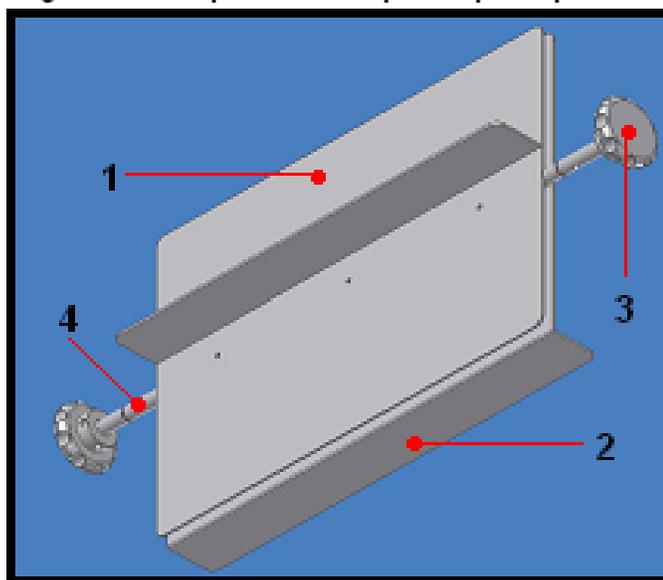
La **figura 100**, muestra la caja porta-probetas construida; la cual aloja a la placa y al eje porta-probetas. En su interior se dispone del espacio suficiente para girar los 360° a la placa y seleccionar las probetas grandes (250ml) o las pequeñas (50ml).

Figura 100. Caja porta-probetas construida



3.2.13 Placas porta-probetas

Figura 101. Esquema de las placas porta-probetas



1.Placas para las probetas pequeñas 2.Placa para las probetas grandes 3.Manija 4.Eje

La placa porta-probetas (**Fig.101**), está constituida por dos planchas de acero (1 y 2), atornilladas sobre un eje (4), por medio de unas manijas (3) se puede girar las placas

para seleccionar las probetas pequeñas (50ml) o las grandes (250ml) según la cantidad de caudal que se requiera medir.

En la **figura 102**, se observa el aspecto real de una de las placas porta-probetas

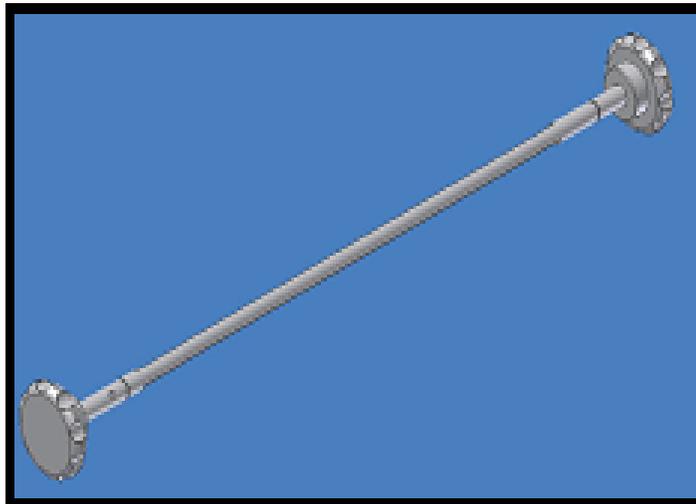
Figura 102. Placa porta-probetas



3.2.14 Eje y manijas de las placas porta-probetas

El eje de la placa porta-probetas (**Fig.103**), está hecho de acero de transmisión, la placa porta-probetas se sujeta al mismo por medio de tornillos; en sus extremos se colocan las manijas, que ayudan a girar y seleccionar las probetas adecuadas según la prueba que se vaya a efectuar.

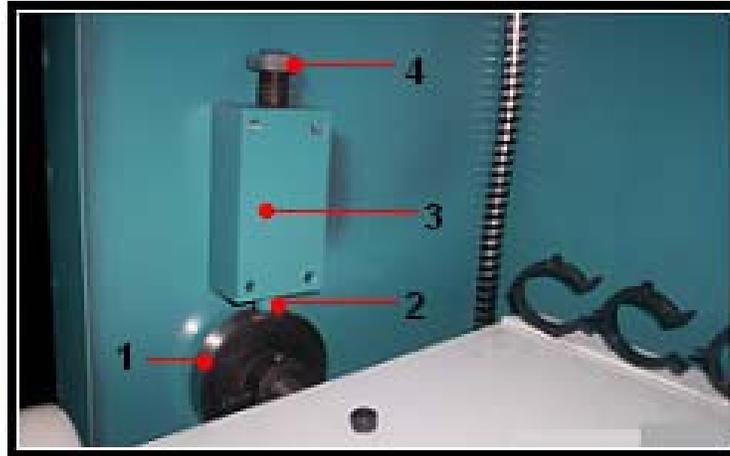
Figura 103. Eje y manijas de las placas porta-probetas



3.2.15 Mecanismo de traba del eje porta-probetas

El mecanismo de traba del eje porta-probetas se observa en la **figura 104**, este mecanismo esta localizado en la parte interna a un costado de la caja porta-probetas y está constituido por una arandela giratoria (1) con cavidad, un eje con punta redonda (2) que se acopla en la cavidad de la arandela, un soporte (3) en cuyo interior se desliza el eje empujado por un muelle y una tuerca de calibración (4).

Figura 104. Mecanismo de traba del eje porta-probetas



1.Arandela giratoria 2.Eje 3.Soporte 4.Tuerca de calibración

3.2.16 Conos porta-inyectores

La **figura 105**, muestra los conos que alojan en su interior a los inyectores. Estos elementos están hechos de mica y se sujetan en la parte superior interna de la caja porta-probetas por medio de tornillos y tuercas; tienen la función de recolectar el combustible inyectado y enviarlo hacia la parte inferior en donde se encuentran las probetas.

Figura 105. Conos porta-inyectores



3.2.17 Placa del sistema de corte del combustible

En la **figura 106**, se observa a la placa que permite el corte de combustible hacia las probetas; se trata de una plancha de acero inoxidable y está ubicada entre los conos porta-inyectores y las probetas.

Figura 106. Placa del sistema de corte de combustible



3.2.18 Bases de sujeción para las bombas de inyección tipo A y P

En las **figuras 107 y 108**, se observan los diseños de las bases de acople para la sujeción y montaje en el banco de pruebas de las bombas de inyección tipo A y P respectivamente.

Figura 107. Base de sujeción para la bomba tipo A

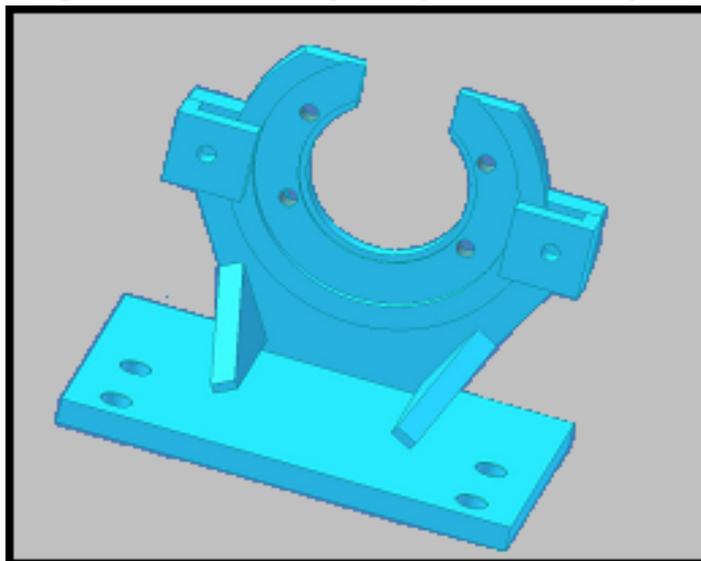
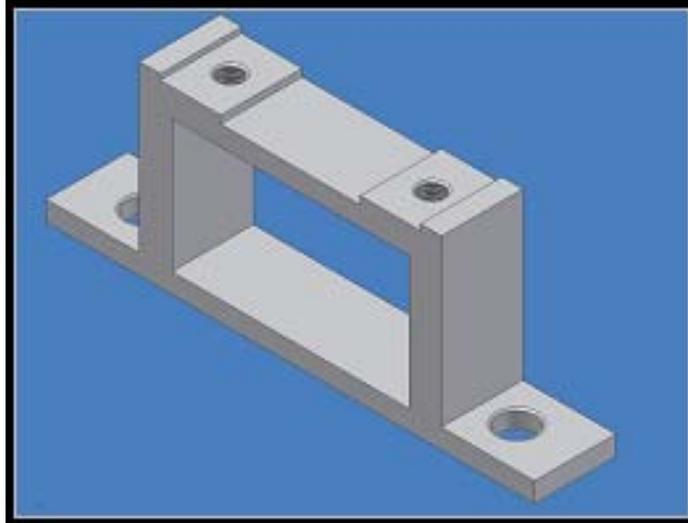


Figura 108. Base de sujeción para la bomba tipo P



Las **figuras 109 y 110**, muestran el aspecto de las bases de sujeción construidas para el montaje de las bombas de inyección tipo A y P.

Figura 109. Base construida para la bomba tipo A



Figura 110. Base construida para la bomba tipo P



3.2.19 Conos de transmisión

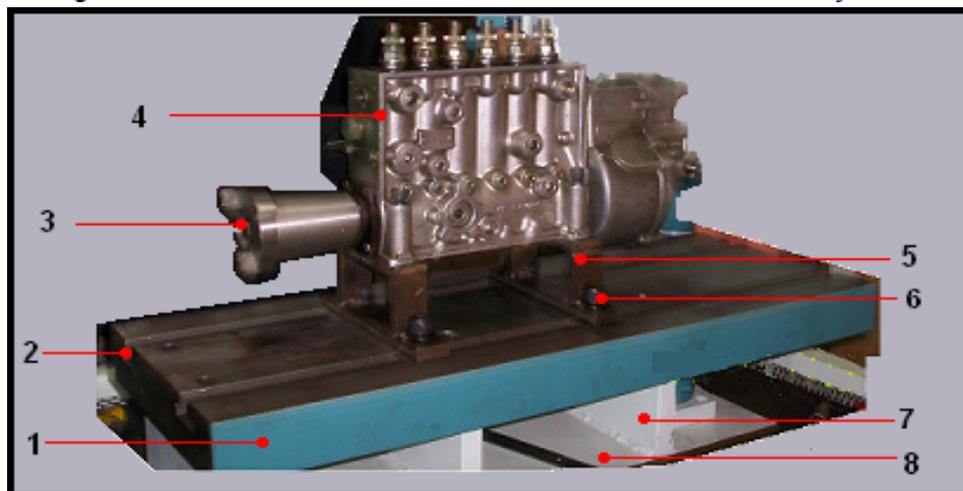
Para la transmisión de movimiento entre el banco de pruebas y la bomba de inyección se emplea un cono (Fig. 111), el cual va montado en el eje de la bomba de inyección y el otro extremo se une con los elementos de sujeción elásticos que están unidos al cabezal del banco de pruebas.

Figura 111. Conos de transmisión



En la figura 112, se observa colocada sobre el banco una bomba de inyección tipo P (4) sobre cuyo eje esta montado el cono de transmisión (3). Además se observa las bases de acople (5) apoyadas sobre la mesa de sujeción (1) provista de dos canales en T (2) en cuyo interior se alojan los bulones (6) que permiten deslizar la bomba a través de dichas canales. Todos estos elementos se apoyan sobre las placas de soporte (7) que a su vez van soldadas a la placa base (8).

Figura 112. Cono de transmisión montado en la bomba de inyección



1.Mesa de sujeción 2.Canales T 3.Cono de transmisión 4.Bomba de inyección
5.Bases de acople 6.Bulones de deslizamiento 7.Placas de soporte 8.Placa base

3.2.20 Poleas

La **figura 113**, muestra una de las poleas que se emplean para transmitir el movimiento desde el motor eléctrico hacia el eje principal del banco de pruebas. Tanto la polea ubicada en el eje del motor como la polea ubicada en el extremo del eje principal poseen dos ranuras para que el movimiento sea transmitido por medio de bandas tipo V, en su interior llevan practicadas unas canales que sirven de cuñeros para acoplarse al eje respectivo con el que trabajan, además las dos poleas mencionadas poseen el mismo tamaño por lo que la transmisión de movimiento es de 1:1.

Figura 113. Polea de transmisión



3.2.21 Ensamblado general del sistema mecánico

El ensamblado general de los elementos mecánicos del banco de pruebas se muestra de forma secuencial, de acuerdo al proceso en el que fue construido en las siguientes figuras:

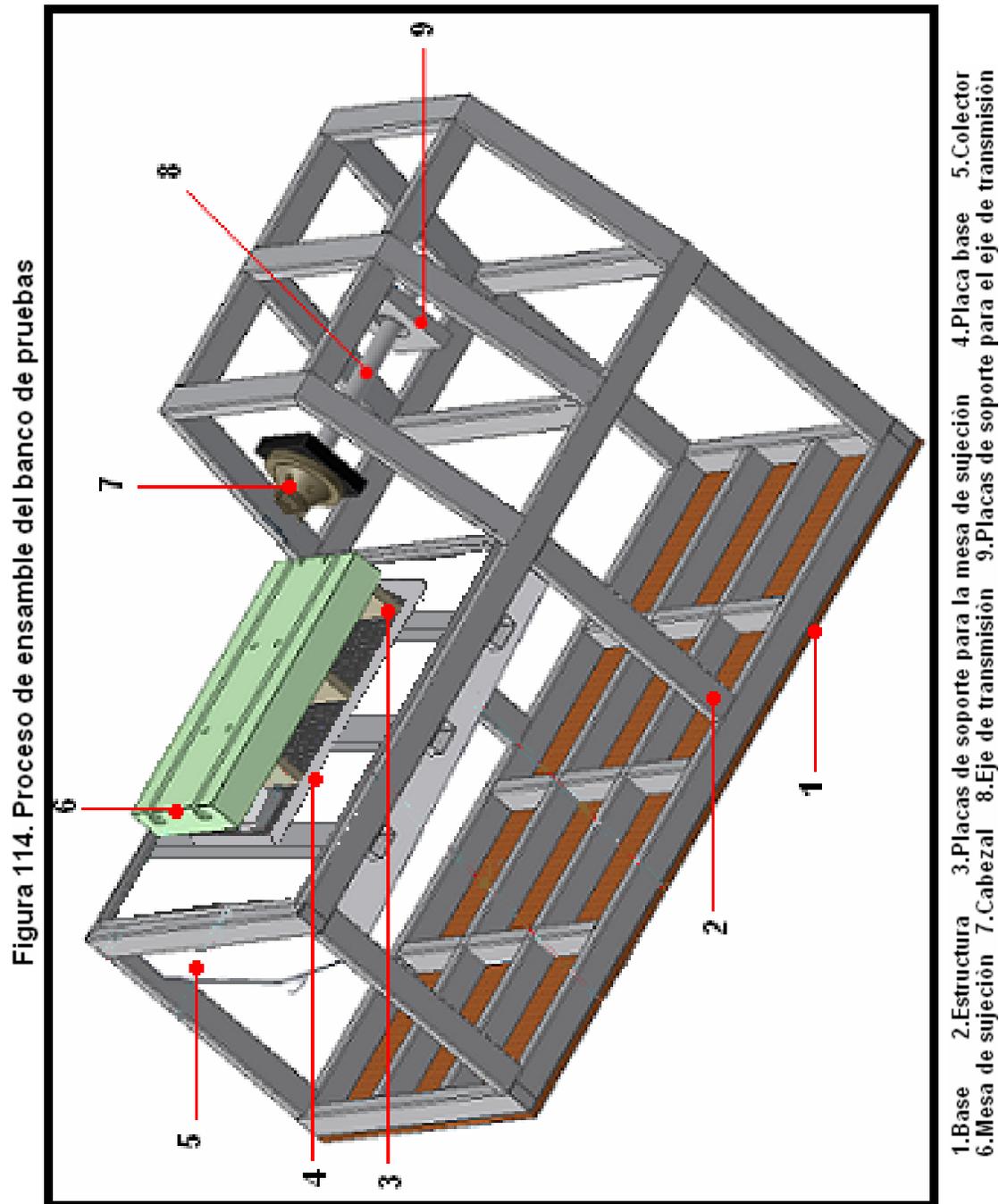
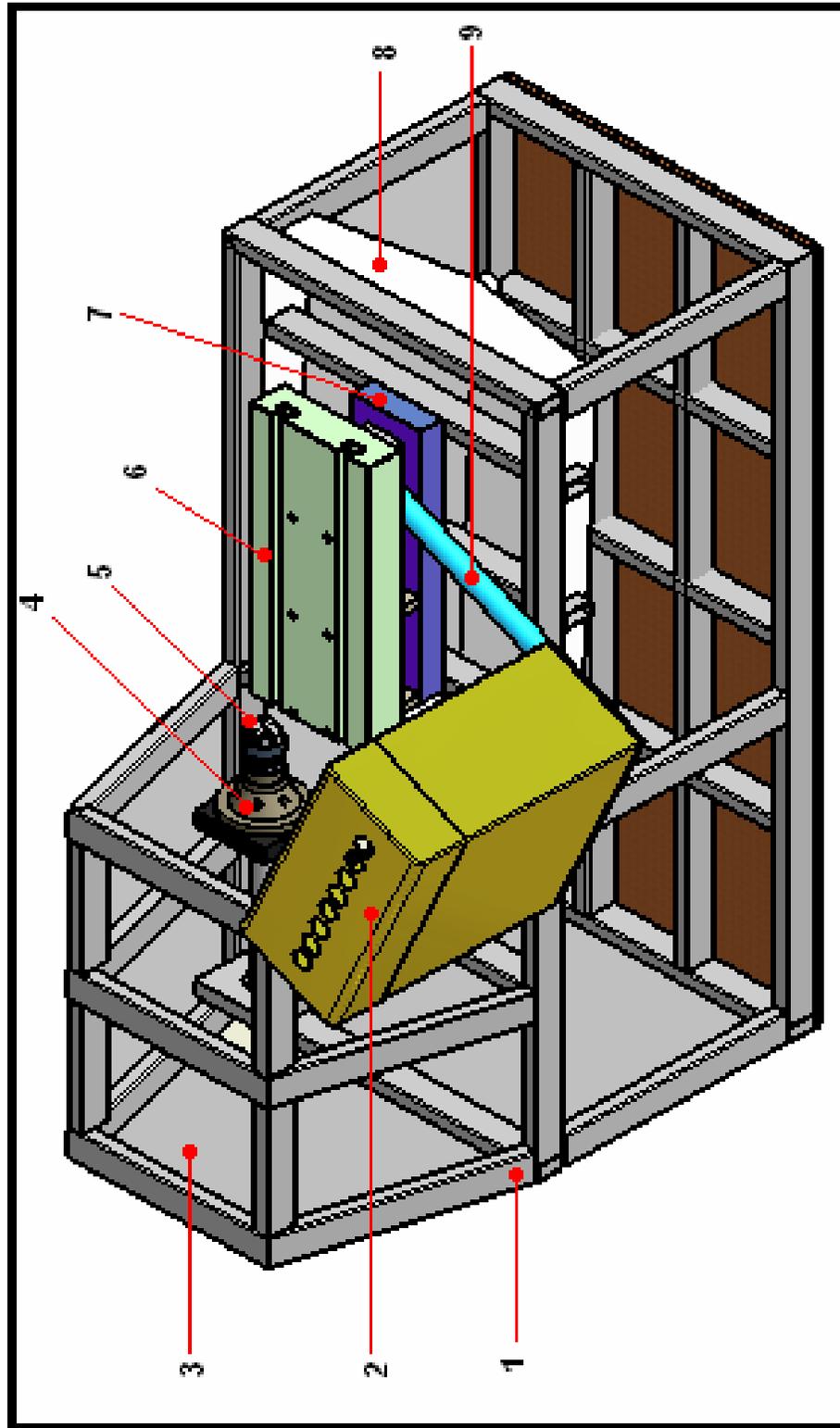
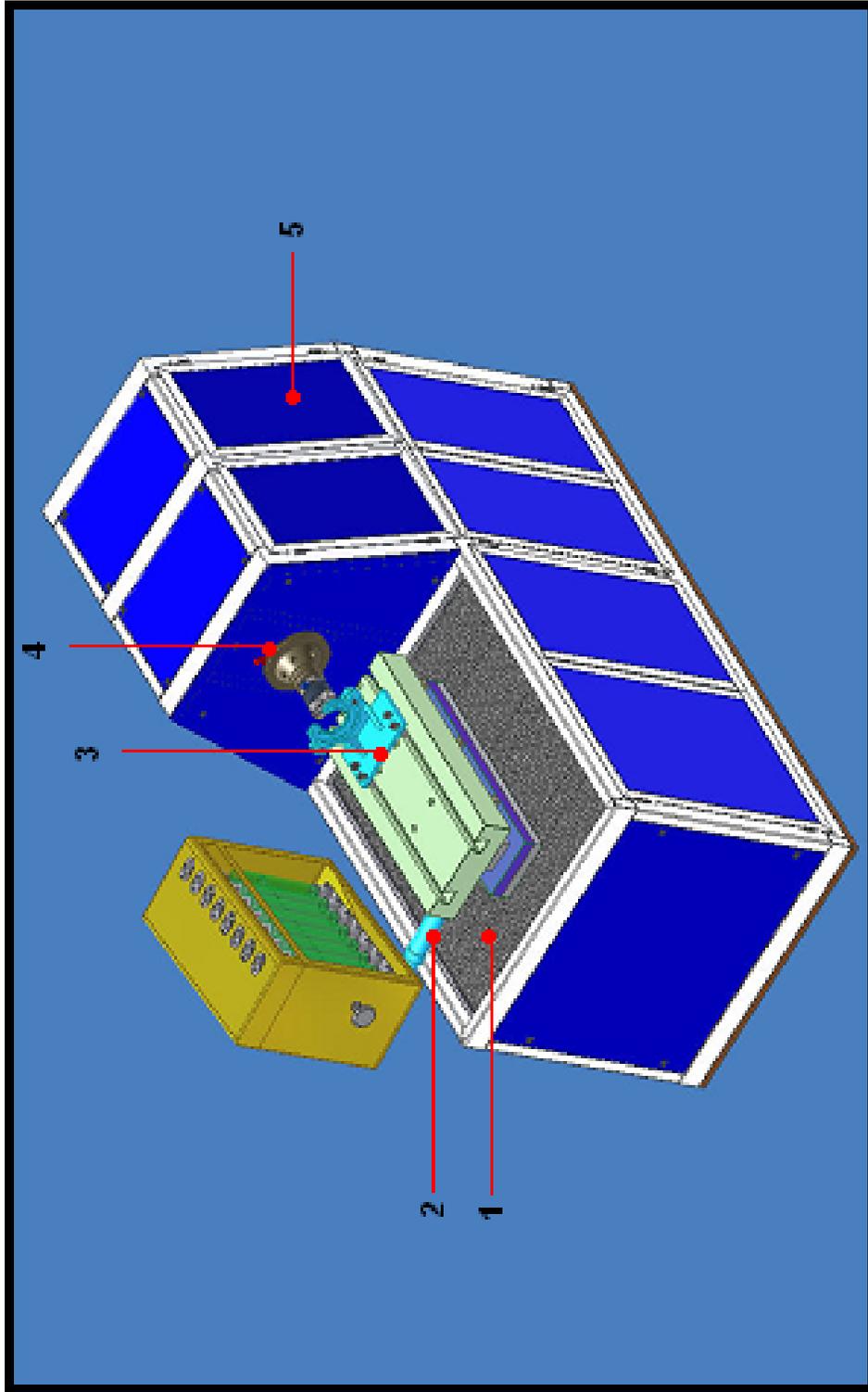


Figura 115. Proceso de ensamble del banco de pruebas



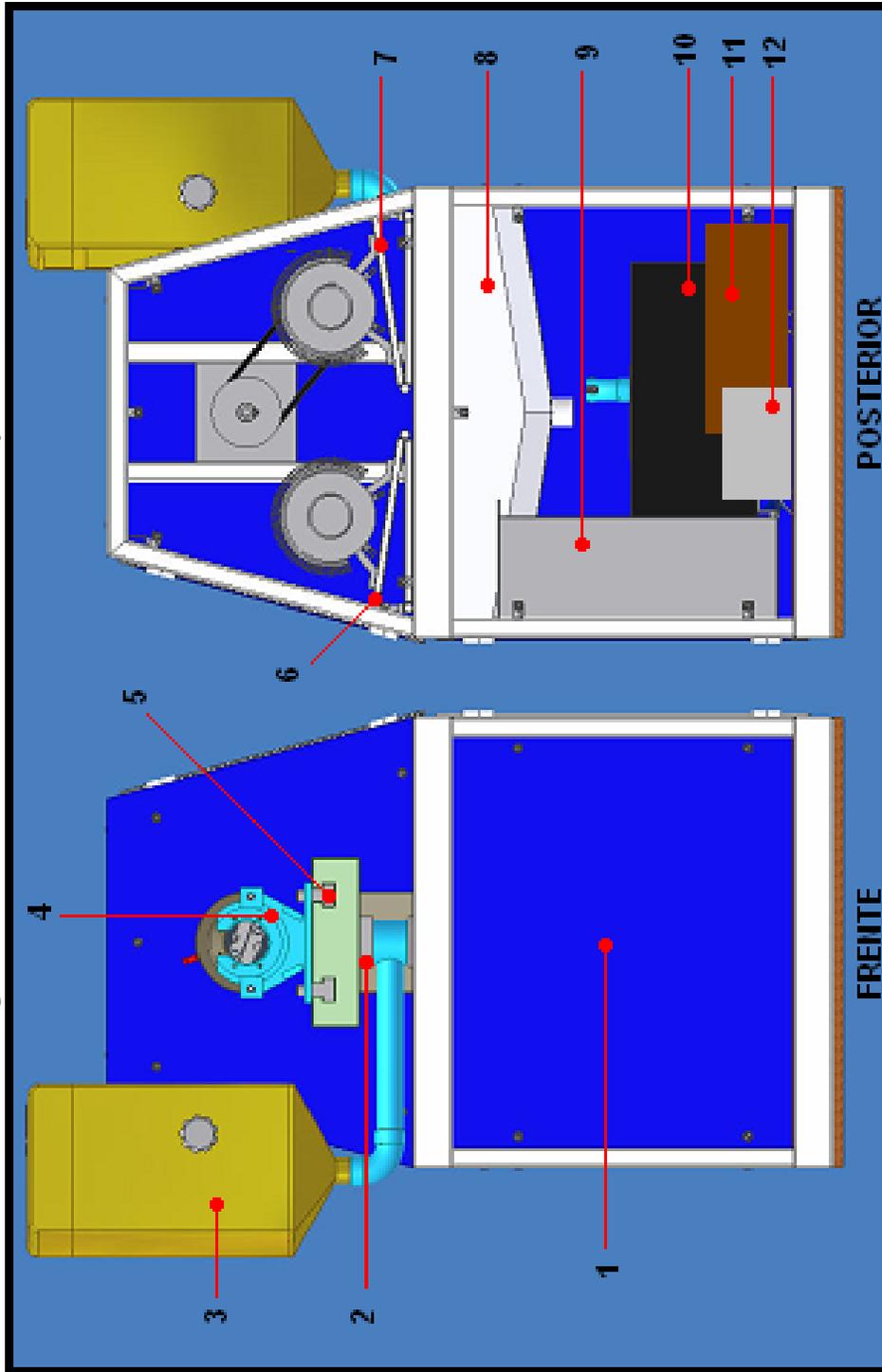
- 1. Estructura
- 2. Caja porta-probetas
- 3. Cubiertas
- 4. Cabezal
- 5. Mecanismo de sujeción de la bomba de inyección al cabezal
- 6. Mesa de sujeción
- 7. Placa base
- 8. Colector
- 9. Tubo de retorno de combustible

Figura 116. Proceso de ensamble del banco de pruebas



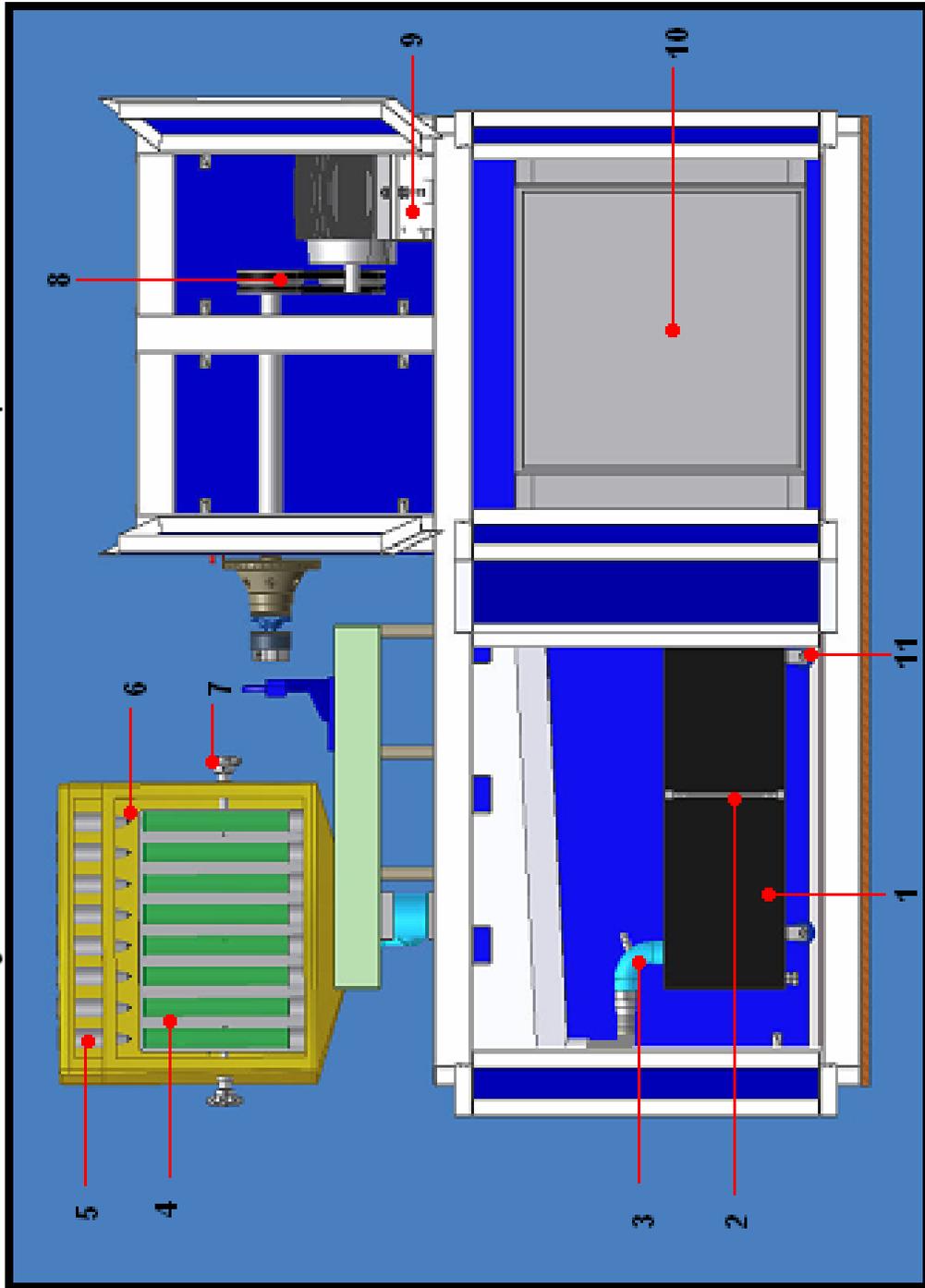
- 1. Malla de protección
- 2. Tubo de retorno de combustible
- 3. Base de sujeción para la bomba de inyección
- 4. Mecanismo para la selección de grados
- 5. Cubiertas

Figura 117. Proceso de ensamble del banco de pruebas



1. Cubiertas
2. Placas de alojamiento de los rodamientos de la caja porta-probetas
3. Caja porta-probetas
4. Base de sujeción para la bomba de inyección
5. Bujes de deslizamiento
6. Tanque de desluzamiento
7. Placas de soporte del motor principal
8. Colector de combustible
9. Caja para el sistema eléctrico
10. Tanque de combustible
11. Placa para alojar a los elementos del sistema hidráulico
12. Caja para el transformador de corriente

Figura 118. Proceso de ensamble del banco de pruebas



- 1. Tanque de combustible
- 2. Medidor del nivel de combustible
- 3. Tubo de retorno de combustible
- 4. Placa porta-probetas
- 5. Conos porta-inyectores
- 6. Puntas de recolección del combustible inyectado
- 7. Manijas y eje de las placas port-probetas
- 8. Poleas y bandas de transmisión
- 9. Placas de soporte para los motores eléctricos
- 10. Riel y ruedas del tanque de combustible
- 11. Riel y ruedas del sistema eléctrico

3.3 Elementos eléctricos y electrónicos del banco de pruebas

Los elementos eléctricos y electrónicos son los encargados del manejo y control de funcionamiento del banco de pruebas. La electrónica facilita la parametrización e introducción de datos y actividades que se desean efectuar en el banco; la parte eléctrica es la que cumple con las acciones programadas a través de los elementos electrónicos, transmitiendo su función a los componentes mecánicos al momento de poner en marcha al banco.

3.3.1 Descripción del sistema eléctrico/electrónico del banco de pruebas

Este sistema ha sido denominado eléctrico/electrónico, porque está constituido con elementos de carácter eléctrico (motores, ventiladores, térmicos, etc) y otros que se identifican como elementos electrónicos (variador, PLC, encoder, teclado TD 200, etc); este sistema en el banco de pruebas tiene la misión de controlar todas las actividades de operación. La corriente de alimentación para el banco debe ser de 220V alterna, los motores eléctricos y el variador de velocidad funcionan con una conexión trifásica; otros componentes como el PLC y las niquelinas se alimentan con 110V. Además, se han instalado fuentes de corriente y transformadores para comandar a elementos más pequeños como los motores actuadores de 12V.

El eje del sistema eléctrico/electrónico y del banco de pruebas es el PLC, que se encuentra programado de modo que sea capaz de establecer las rpm a las que gira el motor eléctrico principal y el número de vueltas que éste gira, medir e indicar la temperatura del líquido de ensayo, permitir el ingreso de los parámetros de verificación al comprobar una bomba de inyección y contar el número de horas de funcionamiento de sus principales elementos para darles mantenimiento.

Todos los elementos eléctricos están protegidos contra posibles daños causados por cortocircuitos o cambios en la tensión de alimentación; los dispositivos de protección son brakers, contactores y térmicos los cuales actúan como fusibles dentro del sistema eléctrico.

3.3.2 Sistema variador de velocidad

El sistema variador de velocidad es esencial en el banco diseñado, este sistema es el que va a controlar las revoluciones a las que debe girar el eje principal que está unido al cabezal en donde se acopla la bomba de inyección que se vaya a comprobar. Las revoluciones de salida no son constantes, van a depender de los datos técnicos de la bomba que se esté verificando, por tal motivo es necesario programar y manejar la velocidad de acuerdo a los requerimientos específicos de cada una.

3.3.2.1 Componentes del sistema variador de velocidad

Los principales componentes del sistema variador de velocidad son:

- El motor eléctrico principal.
- El variador de velocidad.
- El autómata programable.

3.3.2.2 Motor eléctrico principal

Es el elemento encargado de dar movimiento al eje principal de transmisión mediante un sistema de bandas y poleas. La potencia del motor eléctrico (**Fig.119**) con el que está provisto el banco de pruebas es de 7.5 hp. La selección de la potencia del motor principal, está en función a los cálculos realizados previamente en el capítulo 2, con ello se asegura que esta potencia es la suficiente para cumplir con los objetivos del banco de pruebas diseñado.

Figura 119. Motor eléctrico principal (Tipo Inverter Duty)



a. Características y descripción del motor principal

El motor principal del banco de pruebas diseñado, debido a sus características facilita que el control del sistema sea completamente electrónico; se trata de un motor tipo “inverter duty”, que gracias a su potencia y torque constante permite eliminar la parte mecánica de un banco de pruebas tradicional. Las principales características que brinda este motor son⁸³:

- Puede operar en diferentes rangos de velocidad, sin problemas de calefacción.
- Posee internamente un sistema de protección térmica que corta el circuito del motor cuando este se calienta o se carga excesivamente.
- Funciona con gran eficacia a frecuencias variables.
- A diferencia de un motor normal, brinda un mejor rendimiento a bajas revoluciones sin sufrir deterioros prematuros.
- Es fiable cuando se requiere un torque del 100%, en rangos de baja velocidad.
- Es eléctricamente reversible.
- Mejor resistencia en sus bobinas a voltajes y armónicos altos.
- Ahorra el consumo de energía cuando el paso de frecuencia no es constante.
- Está diseñado para mejorar los requisitos de carga como: rangos de velocidad, exactitud de velocidad, potencia y velocidad-torque.
- La potencia es constante con una velocidad de hasta dos veces la base de Rpm.

Las características nominales⁸⁴ del motor eléctrico principal se citan en la **tabla 19**.

Tabla 19. Características nominales del motor principal del banco de pruebas

CARACTERÍSTICAS NOMINALES DEL MOTOR ELÉCTRICO	
POTENCIA :	7,5 Hp/ 5,5Kw
VELOCIDAD BASE :	1765 RPM
VELOCIDAD MÁXIMA :	3540/4200 RPM
TIPO DE CONEXIÓN:	Trifásica PH3
VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN:	230/460 V
NUMERO DE POLOS :	4
MOTOR TIPO :	INVERTER DUTY -TENV-(no ventilado)
CORRIENTE A PLENA CARGA (FL) :	21,0/10,5 A
FRECUENCIA :	60/120 Htz
TORQUE A PLENA CARGA (FL) :	22,3/11,1(Ft.Libs)---30,26/15,06(N.m)

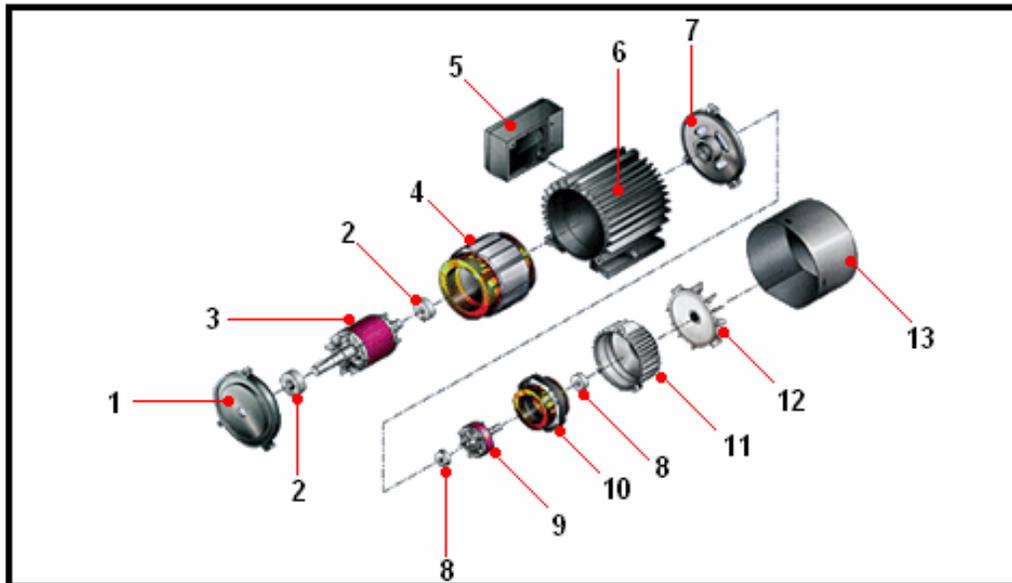
⁸³ www.Marathon Inverter Duty

⁸⁴ www.Marathon Inverter Duty

b. Control de funcionamiento del motor principal

El motor eléctrico principal, en el banco de pruebas funciona comandado por el variador de velocidad, que permite que su accionamiento sea a diferentes regímenes de velocidad para elaborar las pruebas de comprobación de las bombas de inyección a ralenty, media carga y a plena carga. Además en la parte externa de su eje, se ha montado un sensor de velocidad (encoder) que indica el número de revoluciones y el número de vueltas por minuto a las que está girando este motor. En la **figura 120**, se observa el despiece del motor empleado en el banco de pruebas.

Figura 120. Elementos del motor eléctrico (marathon inverter duty)



1.Platillo 2.Rodamientos 3.Eje-rotor principal 4.Bobinado principal 5.Regleta de bornes 6.Carcasa con patas 7.Platillo posterior 8.Rodamientos 9.Rotor secundario 10.Bobinado secundario 11.Carcasa 12.Ventilador plástico 13.Caperuza

3.3.2.3 Variador de velocidad

Este elemento puede ser identificado como la caja de cambios que tiene el banco diseñado; su función es la de controlar la velocidad del motor principal mediante la variación de frecuencia (Hz). Las características nominales⁸⁵ del variador son expuestas en la **tabla 20**.

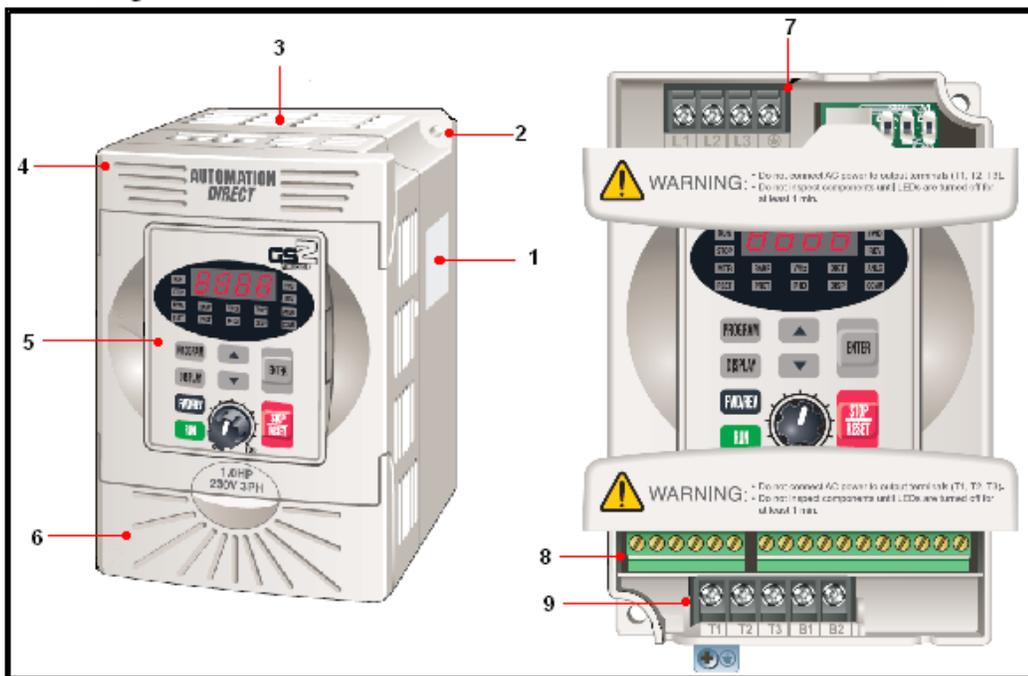
⁸⁵ www.automation-direct.com. AC Drives. Catálogo: GS2-27P5. PDF.

Tabla 20. Características nominales del variador de velocidad

VARIADOR DE VELOCIDAD	
MODELO :	GS2-27P5
MARCA :	AUTOMATION DIRECT
POTENCIA DE SALIDA :	7,5 Hp - 5,5 Kw
CORRIENTE DE SALIDA NOMINAL:	25 A
VOLTAJE MÁXIMO DE SALIDA:	200 / 240V
FRECUENCIA DE SALIDA :	0,1 / 400 Hz
VOLTAJE DE ENTRADA :	200 / 240 V
FRECUENCIA NOMINAL DE ENTRADA :	50 / 60 Hz
CORRIENTE DE ENTRADA NOMINAL :	28 A
TOLERANCIA VOLTAJE / FRECUENCIA :	V +/- 10%, F +/- 5%
PÉRDIDAS A 100% (Ln/Watt) :	255
PESO :	8,5 Lbs

En la **figura 121**, se observan las partes principales que conforman el variador de velocidad GS2.

Figura 121. Partes externas del variador de velocidad GS2-27P5



- 1.Etiqueta de placa de identificación 2.Orificios para montaje 3.Rejillas de ventilación
 4.Cubierta superior 5.Teclado 6.Cubierta inferior 7.Terminales de alimentación eléctrica
 8.Terminales de control de entradas y salidas 9.Bornes de conexión al motor

a. Terminales de alimentación

Los terminales de alimentación van ubicados en la parte superior del variador y permiten conectar a este aparato eléctrico a una tensión de 200 a 240V. El variador de velocidad es alimentado por corriente alterna a través de los terminales L1, L2 y L3 (7) (**Fig. 121**), que es transformada en corriente continua por medio de un

rectificador de 6 diodos. A partir de la barra de CC (circuito de corriente continua con condensadores) se genera un sistema trifásico de corriente alterna por la conmutación muy rápida de 6 transistores IGBT (**Fig. 123**) conectados a tres terminales T1, T2, y T3, en el modo de modulación del ancho de pulsos (PWM) de tal modo que se produce una corriente casi sinusoidal de frecuencia y amplitud de voltaje variable que permite alimentar un motor de corriente alternada trifásico.⁸⁶

b. Terminales de control de entradas y salidas

El variador posee entradas y salidas (8) de tipos analógicas y digitales (**Fig. 121**). Por medio de éstas, se puede predeterminar las velocidades de salida a través de la programación y control por el teclado, emplear el potenciómetro que lleva incluido (3 a 5 Kilohmios) o comandar la velocidad requerida desde un autómatas programable enviando señales de mando (4 a 20 mA).

El variador de velocidad GS2 usa un sistema de control con microprocesador, produciendo un método de salida de relación constante voltaje sobre frecuencia (Volt/Hz), con posibilidades de ajuste, y mantiene el torque constante en un rango de 1Hz hasta la frecuencia básica del motor (50 o 60Hz), tiene posibilidades de control por teclado o externo remoto con señales analógicas y discretas o con señales digitales con el protocolo MODBUS, ajuste amplio de aceleración y desaceleración, frenado dinámico o de corriente continua, posibilidad de compensación de deslizamiento y de torque de partida, protección del motor, control de lazo cerrado PID y otras funciones⁸⁷.

c. Teclado del variador

Los componentes (**Fig. 122**) que constituyen el teclado del variador son:

Visor LED (1): El visor LED muestra los valores de operación y las secciones de parámetros del variador.

Indicadores LED (2): Son 14 los indicadores y muestran en que modo de funcionamiento se encuentra el variador.

⁸⁶ [Www.Automation Direct. AC Drives. Catálogo: GS2-27P5. PDF.](#)

⁸⁷ [Www.Automation Direct. AC Drives. Catálogo: GS2-27P5. PDF.](#)

Tecla Program (3): Al presionar repetidamente la tecla program, se completa un ciclo por los grupos de parámetros, el indicador LED se enciende para mostrar qué grupo de parámetros ha sido seleccionado.

Tecla Display (4): Al presionar la tecla display, se completa un ciclo con los valores operacionales del variador cuando no está en modo program. Cuando está en modo program, el visor exhibirá el valor del parámetro seleccionado.

Tecla Fwd/Rev (5): Al presionar la tecla Fwd/Rev se cambia la dirección de giro del eje del motor.

Tecla Run (6): Al presionar la tecla Run. Comienza la operación del variador. Esta tecla no tiene ninguna función si el variador es controlado por los terminales de control externos.

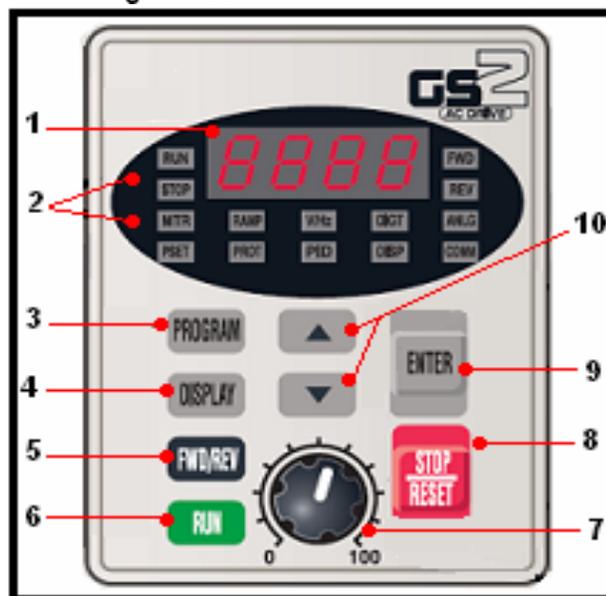
Potenciómetro (7): El potenciómetro permite ajustar la frecuencia de operación

Tecla Stop/Reset (8): Para la operación del variador. Si el variador ha parado debido a una falla, se debe eliminar la falla primero y luego presionar esta tecla para reponer el variador.

Tecla Enter (9): Permite ver y almacenar parámetros.

Teclas Up/Down (10): Las teclas Up/Down, permiten cambiar valores de parámetros. Estas teclas se pueden usar también para buscar diversos parámetros o valores de funcionamiento⁸⁸.

Figura 122. Teclado del variador



1.Visor LED 2.Indicadores LED 3.Tecla program 4.Tecla display 5.Tecla Fwd/Rev
6.Tecla rum 7.Potenciómetro 8.Tecla stop/reset 9.Tecla enter 10.Teclas Up/Down

⁸⁸ www.automation-direct.com. AC Drives. Catálogo: GS2-27P5. PDF.

d. Diagramas de conexión del variador de velocidad

En las **figuras 123 y 124**, se observan los diagramas eléctricos de conexión para el funcionamiento del variador de velocidad.

Figura 123. Circuito básico del variador de velocidad GS2

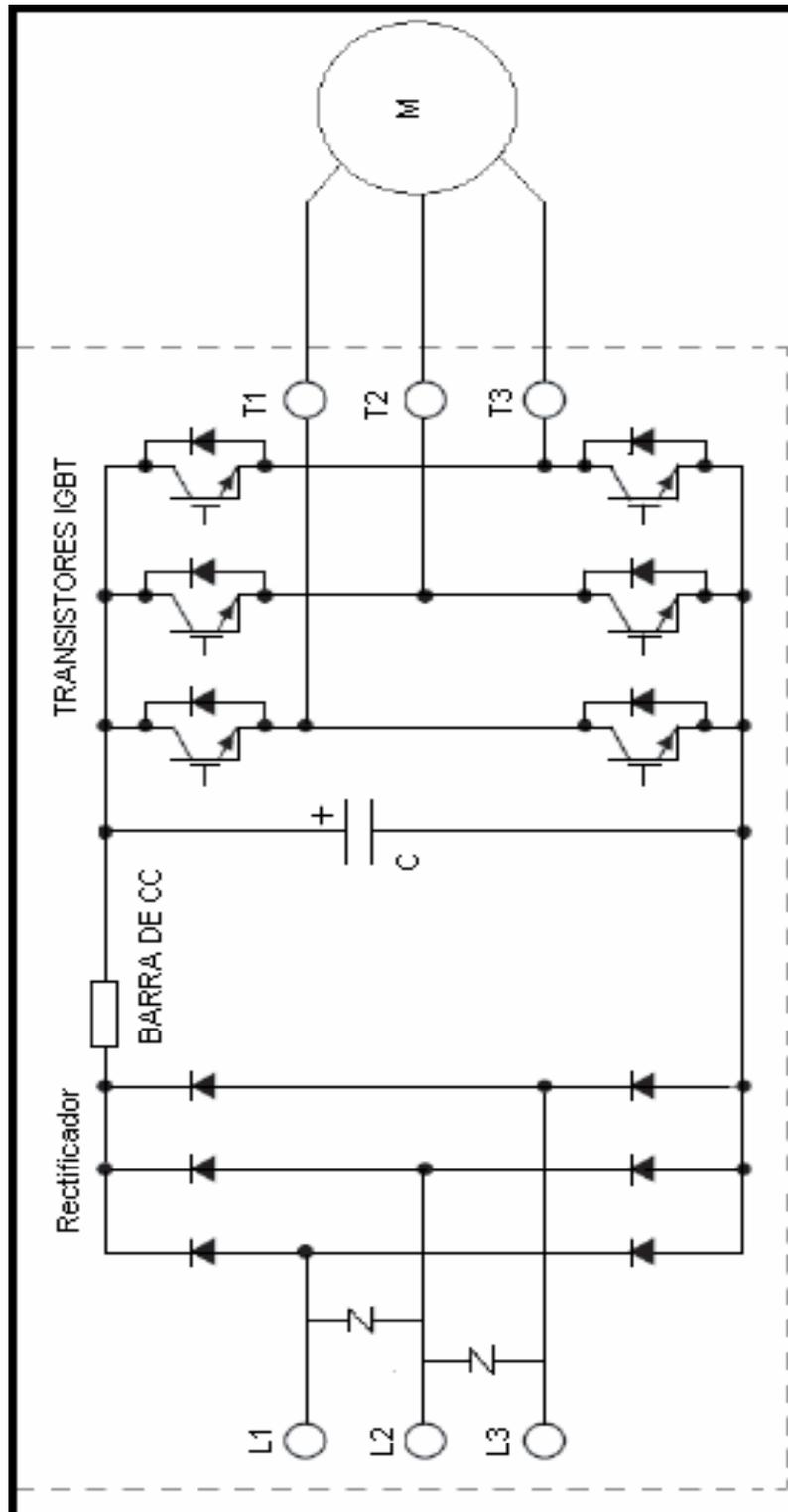
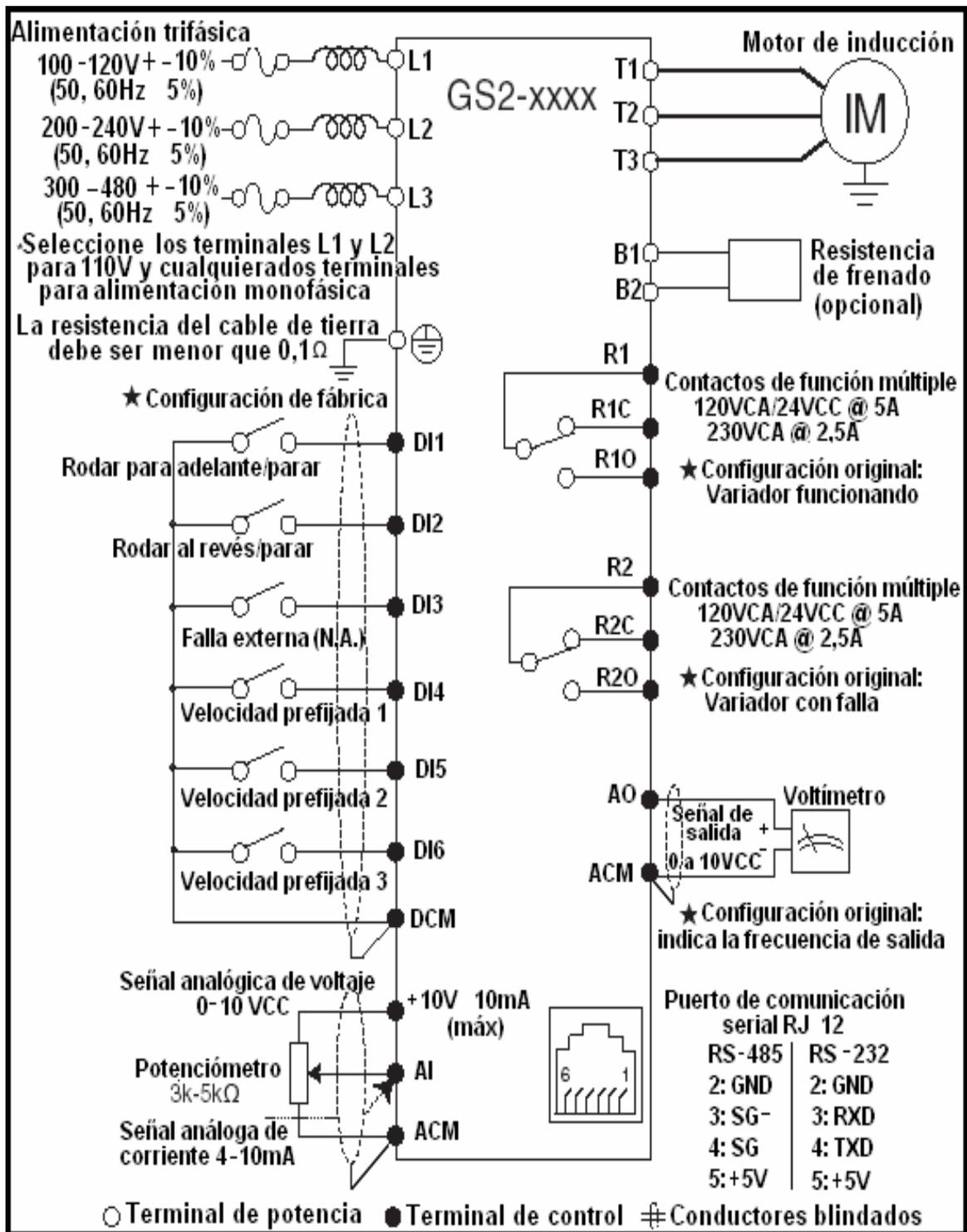
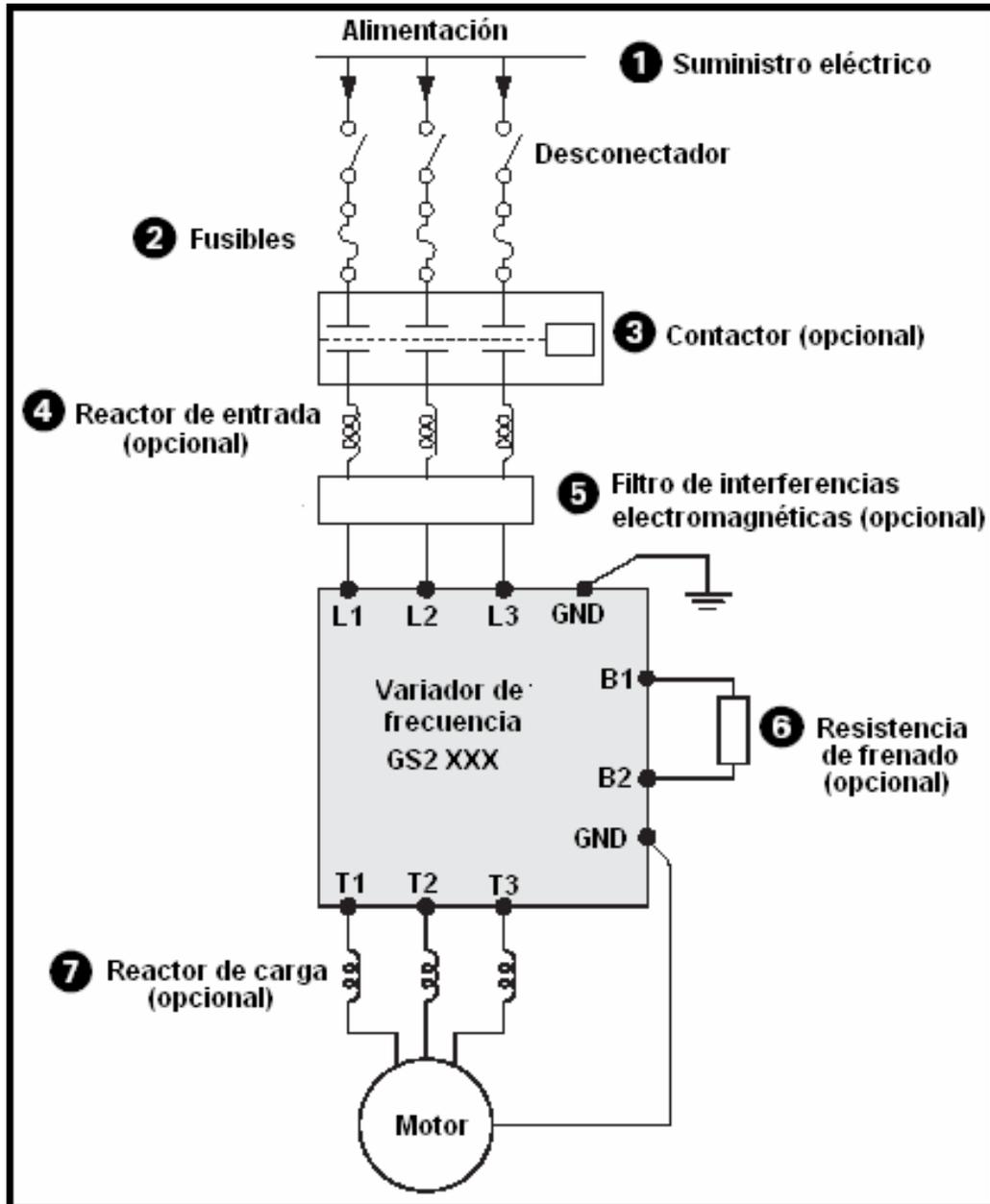


Figura 124. Diagrama de cableado del variador de velocidad GS2



En la **figura 125**, se observa el diagrama del cableado externo para la conexión del variador de velocidad⁸⁹.

Figura 125. Cableado externo para la conexión del variador de velocidad



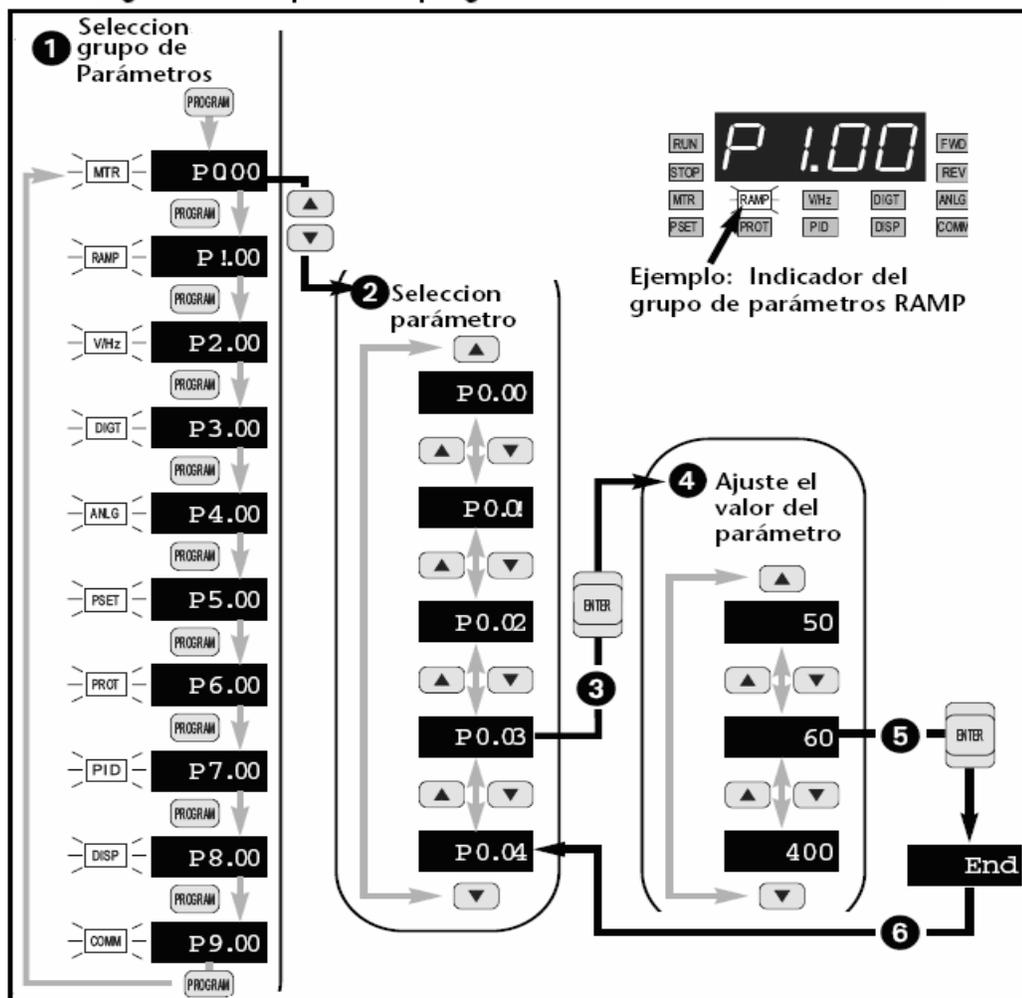
⁸⁹ www.automation.com. Direct. AC Drives. Catálogo: GS2-27P5. PDF.

e. Programación del variador de velocidad

La programación del variador de velocidad, se detalla de forma sencilla en el esquema de la **figura 126**; los pasos básicos para efectuar este proceso son:

1. Accionar la tecla PROGRAM varias veces para moverse en los grupos de parámetros.
2. Una vez que se ha llegado al grupo, usar las teclas UP/DOWN para moverse por los parámetros de ese grupo.
3. Cuando se llega al parámetro deseado, pulsar la tecla ENTER.
4. Usar las teclas UP/DOWN, para ajustar el valor del parámetro deseado.
5. Aplastar la tecla ENTER, para seleccionar el valor requerido. Luego se verá automáticamente la palabra END en el visor para indicar que se ha cambiado el valor del parámetro. Después de haber ajustado el valor requerido; el variador saltará al parámetro del siguiente grupo.

Figura 126. Esquema de programación del variador de velocidad



En la **tabla 21**, se detalla una lista con los parámetros más importantes para la programación del variador de velocidad de acuerdo a la aplicación requerida, que en este caso es para comandar al motor principal del banco de pruebas. Los parámetros que no se encuentran en la lista, no dejan de ser importantes para la programación del variador, se tratan de aplicaciones de contactos múltiples, aceleraciones múltiples, transiciones de frecuencia, aumentos de torque, aceleraciones más suaves, saltos y bandas de frecuencia preprogramados, comunicaciones de tipo serial, etc; que para la presente aplicación no son necesarios.

Tabla 21. Lista de parámetros importantes para la programación del variador (1 de 4)

PARÁMETROS DEL MOTOR				
PMT	DESCRIPCIÓN	RANGO	ORIGINAL	PROGRAMADO
P0.00	Voltaje en la placa del motor	200 / 240	240	230
P0.01	Corriente en la placa del motor	30% a 100% de la corriente nominal de salida del variador	Corriente nominal	21
P0.02	Frecuencia básica del motor	50/60/400	60	60
P0.03	Velocidad básica del motor	375 a 9999 RPM	1750	1765
P0.04	Velocidad máxima del motor	P0-03 a 9999 RPM	P0-03	3200
RAMPAS				
P1.00	Métodos de parada	0: Rampa para parar 1: Parado por fricción	0	0
*P1.01	Tiempo de aceleración 1	0,1 a 600 segundos	10	5
*P1.02	Tiempo de desaceleración 1	0,1 a 600 segundos	30	5
VOLTS/HERTZ				
P2.00	Ajustes de Volt/Hertz	0: Propósito general 1: Alto torque de partida 2: Ventiladores y bombas 3: Aplicación especial	0	0
*P2.01	Compensación de deslizamiento	0 a 10	0	0
*P2.02	Refuerzo de torque de partida	0 a 10	0	0
P2.04	Frecuencia de punto medio (solo si P2.00 esta en 3)	0.1 a 400 Hz	1.5	1.5
P2.05	Voltaje de punto medio	2.0 a 240V	10	10
P2.06	Frecuencia de salida mínima	0.1 a 20 Hz	1.5	1.5
P2.07	Voltaje de salida mínimo	2 a 50 V	10	10
P2.08	Frecuencia portadora PWM	1 a 12 KHz.	12	12

Tabla 21. Lista de parámetros importantes para la programación del variador (2 de 4)

ENTRADAS/SALIDAS DISCRETAS				
PMT	DESCRIPCIÓN	RANGO	ORIGINAL	PROGRAMADO
P3.00	Origen del comando de operación	0: Operación determinada por el teclado	0	1
		1: Operación determinada por contactos externos de control y la tecla STOP está activada		
		2: Operación determinada por contactos externos de control y la tecla STOP está desactivada		
		3: Operación determinada por la interfase RS-485; la tecla STOP está activada		
		4: Operación determinada por la interfase RS-485; la tecla STOP está desactivada		
P3.01	Terminales de entrada de funciones múltiples (D11 D12)	0: D11 FWD/STOP, D12 REV/STOP 1: D11 RUN/STOP, D12 REV/FWD 2: D11 RUN momentáneo (NO o NC) D12 REV/FWD D13 STOP momentáneo (NC)	0	1
PARÁMETROS DE SEÑALES ANÁLOGAS				
P4.00	Origen del comando de frecuencia	00: Frecuencia determinada por el potenciómetro del teclado	0	3
		01: Frecuencia determinada por las teclas UP o DOWN		
		02: Frecuencia determinada por la entrada 0 a 10V en el Terminal AI con selección por contacto. El switch SW1 debe estar en AVI		
		03: Frecuencia determinada por la entrada de 4 a 20mA en el terminal AI con selección por contacto. El switch SW1 debe estar en ACL.		
		04: Frecuencia determinada por la entrada de 0 a 20mA en el terminal AI con selección por switch. El switch SW1 debe estar en ACL.		
		05: Frecuencia determinada por la interfase de comunicación RS-485		

⁹⁰ www.automation.com. Direct. AC Drives. Catálogo: GS2-27P5. PDF.

Tabla 21. Lista de parámetros importantes para la programación del variador (3 de 4)

PARÁMETROS DE PROTECCIÓN				
PMT	DESCRIPCIÓN	RANGO	ORIGINAL	PROGRAMADO
P6.00	Nivel de sobrecarga térmica electrónica	00: Con motor inverter duty 01: Motor Standard 02: Inactivo	0	0
P6.03	Inhibir dirección de giro inversa	00: Activado 01: Desactivado	0	0
P6.04	Auto regulación de voltaje de salida (AVR)	00: AVR activado	0	0
		01: AVR desactivado		
		02: AVR desactivado durante la aceleración		
		03: AVR desactivado durante parada		
P6.31 a P6.36	Códigos de falla	0: No ha ocurrido falla	0	0
		1: Sobrecorriente (oC)		
		2: Sobretensión (oV)		
		3: Sobrecalentamiento (oH)		
		4: Sobrecarga (oL)		
		5: Sobrecarga 1 (oL1)		
		6: Sobrecarga 2 (oL2)		
		7: Falla externa (EF)		
		8: Falla de la CPU 1 (CF1)		
		9: Falla de la CPU 2 (CF2)		
		10: Falla de la CPU 3 (CF3)		
		11: Falla de la protección del variador (HPF)		
		12: Sobrecalentamiento durante la aceleración (oCA)		
		13: Sobrecalentamiento durante la desaceleración (oCd)		
		14: Sobrecorriente durante frecuencia constante (oCn)		
		15: Falla de tierra o fusible quemado (GFF)		
16: Sobrecorriente durante frecuencia constante (oCn)				
17: Pérdida de fase en la entrada trifásica (PHL)				
18: Bloqueo base externo (bb)				
19: Falla en ajuste automático de aceleración o desaceleración (cFA)				
20: Código de protección del software				

Tabla 21. Lista de parámetros importantes para la programación del variador (4 de 4)

PARÁMETROS DEL VISOR				
PMT	DESCRIPCIÓN	RANGO	ORIGINAL	PROGRAMADO
* P8.00	Funciones del visor definidas por el usuario	00: Frecuencia de salida (Hz)	0	1
		01: Velocidad del motor (RPM)		
		02: Frecuencia a escala		
		03: Corriente de salida (A)		
		04: Carga del motor %		
		05: Voltaje de salida (V)		
		06: Voltaje de la barra de CC (V)		
		07: Referencia del lazo PID		
		08: Realimentación del lazo PID (PV)		
		09: Referencia de frecuencia		
*P9.08	Bloqueo de parámetros	00: Todos los valores pueden ser leídos y configurados	0	1
		01: Los parámetros pueden ser leídos solamente		
P9.11	Restaurar los valores originales	00 al 99. El valor 99 vuelve todos los valores originales a los de fábrica.	0	0
* ESTOS PARAMETROS PUEDEN SER AJUSTADOS DURANTE EL MODO RUN DEL VARIADOR.				

3.3.3 Sistema cuenta emboladas y revoluciones

Este sistema, es el encargado de contar el número de vueltas y el número de revoluciones por minuto que da el eje principal, el cual debe estar acoplado por medio del cabezal y de los dispositivos de sujeción al eje de levas de la bomba de inyección que se encuentre montada en el banco para su comprobación. Por lo tanto, este sistema permite verificar el número de inyectadas (emboladas) que efectúa cada elemento de bombeo, por medio del conteo del número de vueltas que gira el eje principal del banco independientemente de las revoluciones por minuto a las que la bomba de inyección esté girando.

⁹¹ www.automation.com. Direct. AC Drives. Catálogo: GS2-27P5. PDF.

3.3.3.1 Componentes del sistema cuenta emboladas y revoluciones

El principal elemento que conforma este sistema es un sensor de pulsos denominado encoder (**Fig. 127**), la señal de pulsos que envía el encoder es registrada por el autómatas programable (PLC) en donde es transformada mediante operaciones lógicas en una lectura de vueltas y de velocidad por minuto. De esta forma cuando el PLC, cuenta el número de vueltas programadas mediante el teclado de la pantalla del TD-200, controla a un actuador (motor eléctrico 12v) el cual permite o evita que el caudal inyectado caiga en las probetas de medición, para lograr esto el motor actuador controla a su vez a una plancha de acero colocada sobre la entrada de las probetas, estos elementos conforman el sistema de corte de combustible (**Fig. 129**).

3.3.3.2 Sensor de pulsos encoder

El encoder (**Fig.127**) montado en el banco es de gran precisión, capaz de enviar una señal al PLC de 1000 pulsos por revolución⁹², puede ser abastecido con una tensión de 12 o de 24 voltios. La conexión de alimentación de este elemento se la realiza directamente con la fuente interna del PLC y sus cables de señal se comunican con las entradas de su módulo digital para ser contadas y posteriormente visualizadas en forma de números en la pantalla del banco.

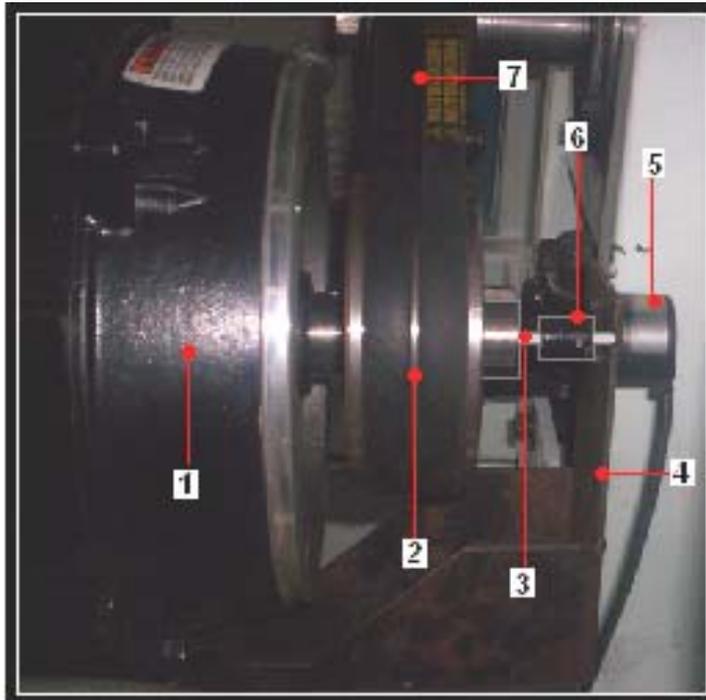
Figura 127. Sensor de pulsos (encoder)



⁹² www.automation.com. Direct. Sensors.

El eje del sensor, está acoplado mediante un pin y un acople (**Fig. 128**) al eje del motor eléctrico, controlando así el número de rpm y el número de vueltas a las que está girando el mismo y como la relación de transmisión entre el eje del motor eléctrico y el eje principal del banco de pruebas es 1:1, se va a tener como resultado las mismas revoluciones y velocidad a las que está girando la bomba de inyección.

Figura 128. Montaje del encoder en el eje del motor principal



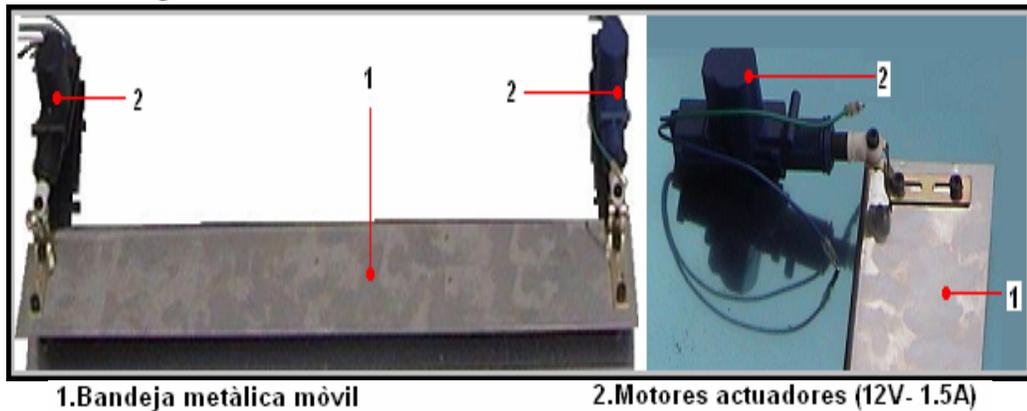
- | | | |
|--|-------------------|--------------------------------------|
| 1. Motor eléctrico | 2. Polea | 3. Pin (eje auxiliar acoplado Ø 6mm) |
| 4. Placa de soporte para el sensor encoder | 5. Sensor encoder | |
| 6. Acople (eje del sensor- eje auxiliar) | 7. Bandas | |

3.3.4 Sistema de corte de combustible

La verificación de las bombas de inyección se realiza a diferentes revoluciones por minuto y a diferentes números de emboladas (inyecciones); por lo tanto, es necesario controlar el caudal inyectado por cada elemento de bombeo en las diferentes pruebas que se efectúen. Para cumplir con esta función, se dispone en el banco de un sistema de corte de inyección del líquido de ensayo hacia las probetas de medición, obteniendo las medidas de caudal en cada prueba. Este sistema es activado por el PLC, el cual lee los datos parametrizados a través del teclado, datos como la velocidad y el número de emboladas a las que se quiere realizar la prueba. Luego del conteo de emboladas el PLC desactiva este sistema automáticamente.

El sistema de corte de combustible (**Fig. 129**), está conformado por una bandeja de acero inoxidable (1) y por dos actuadores (2) de 12 voltios. Cuando este sistema se encuentra en reposo el líquido no cae en las probetas ya que son tapadas por la bandeja que es halada por dos muelles para mantenerla en esta posición y cuando se activa el sistema los actuadores vencen la tensión de los muelles y descubren las entradas de la probetas para que caiga en su interior el líquido inyectado. Los datos de accionamiento de este sistema son tomados para cada prueba de la ficha técnica que posee la bomba de inyección que vaya a ser verificada en el banco de pruebas.

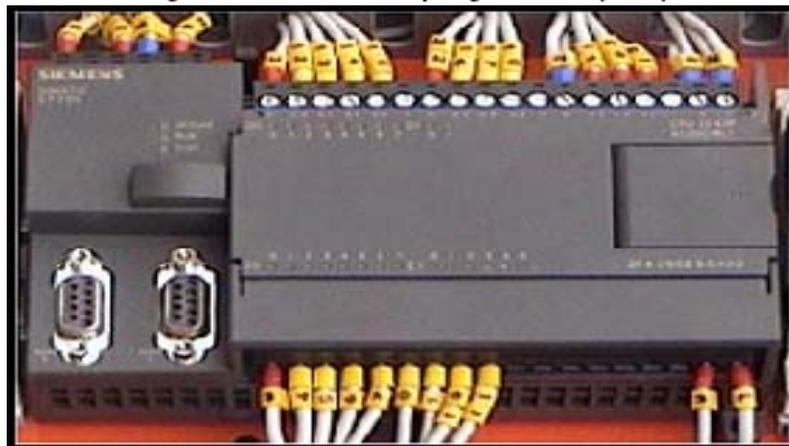
Figura 129. Elementos del sistema de corte de combustible



3.3.5 Controlador lógico programable (PLC-S7 200-CPU 224XP)

El principal dispositivo de control es el autómata programable o PLC (**Fig. 130**), que es el cerebro del banco diseñado. En este caso, se ha seleccionado al PLC Siemens S7-200 por sus características y capacidad, que son ideales para monitorear las variables (velocidad, vueltas, temperatura) que envían los sensores y que son procesadas a través de su programa interno; brindando como respuesta la ejecución de acciones (encendido, paro, alarmas, emergencia) ejecutadas por los diferentes sistemas del banco.

Figura 130. Autómata programable (PLC)



Los componentes que envían señal son conectados a las entradas del PLC (denominadas = I) y los componentes que reciben órdenes de mando por parte del PLC se conectan a las salidas (denominadas =Q)⁹³. Desde el punto de vista físico, esto corresponde a la relación que se detalla en la **tabla 22**. En donde, la entrada es la referencia de orden o mando, es la guía que indica al sistema la respuesta que se desea obtener, permite cumplir con las acciones de arranque, alteración del control del proceso de medición, parada de emergencia, cambios de velocidad, etc. La salida es la variable controlada, es la respuesta real del sistema. Las salidas son los equipos y/o aparatos que reciben la señal desde el controlador para ejecutar una acción en el equipo a ser controlado o para dar una señal de indicación sobre la marcha de proceso, las salidas controlan la activación o desactivación de los actuadores.

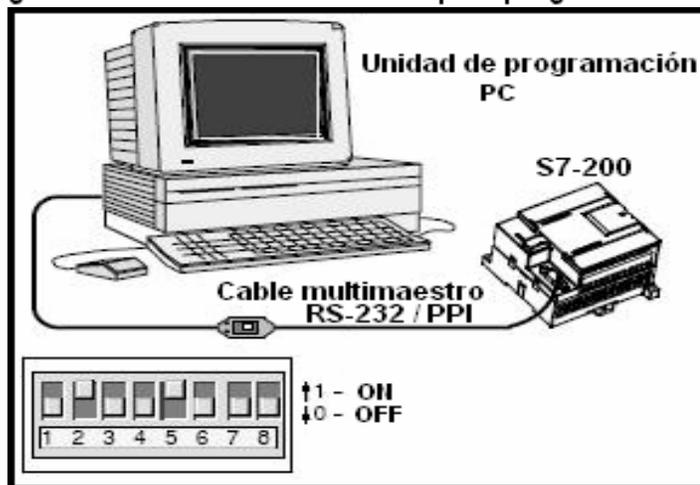
Tabla 22. Proceso de control ejecutado por el PLC

ENTRADA (causa)	PROCESO	SALIDA (efecto)
Emergencia de mando	Interfaz :	Energía mecánica
-sensores -interruptores -pulsadores -conmutadores -teclado -controles variables	Operador / Control	-actuadores -motores -bomba -contactores -relés -pantalla -medidores

3.3.5.1 Programación y características del PLC S7-200

Para programar el PLC S7-200, es necesario un PC (ordenador), un cable de interconexión (PC/PPI) y el software STEP 7 Micro/WIN (Fig. 131).

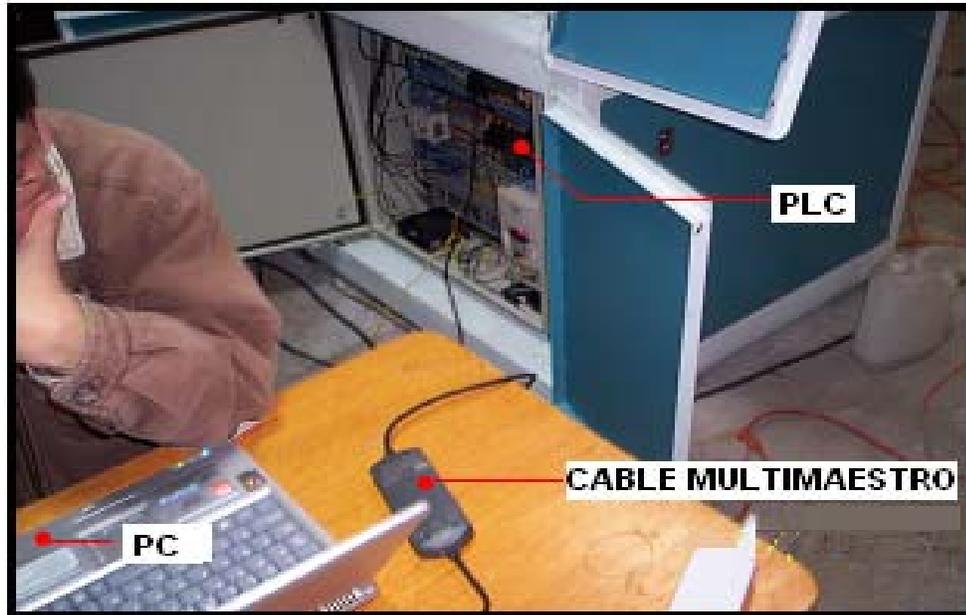
Figura 131. Elementos necesarios para programar el PLC



⁹³ www.siemens.com.co/Plc. Catálogo: S7-200

En la **figura 132**, se observa la comunicación para cargar el programa de ejecución del PC al PLC. El lenguaje de programación empleado en el software en este caso es el KOP, que se basa en esquemas y gráficos que facilitan su control.

Figura 132. Comunicación PC / PLC



En la **tabla 23**⁹⁴, se detallan las características principales del PLC S7-200.

Tabla 23. Características del PLC S7-200

FUNCIÓN	CPU 224 XP
Marca	Siemens
Microprocesador	Dentro de una carcasa compacta
Fuente de alimentación	Incorporada
Circuitos de entrada	14D / 2A
Circuitos de salida	10 D / 1A
Memoria de programa	8192 bytes
Memoria de datos	5120 bytes
Memoria backup	190 h
Memoria EEPROM	Si
Módulos de ampliación	7 módulos
Contadores rápidos	6 a 30 Khz (1fase) , 4 a 20Khz (2 fases)
Salidas de impulsos (CC)	2 a 20 Khz
Potenciómetros análogos	2
Reloj de tiempo real	Incorporado
Puertos de comunicación	2 RS485
Aritmética en coma flotante	Si
Velocidad de ejecución	0,37 microsegundos / operación
Lenguaje de programación	KOP, FUP, AWL

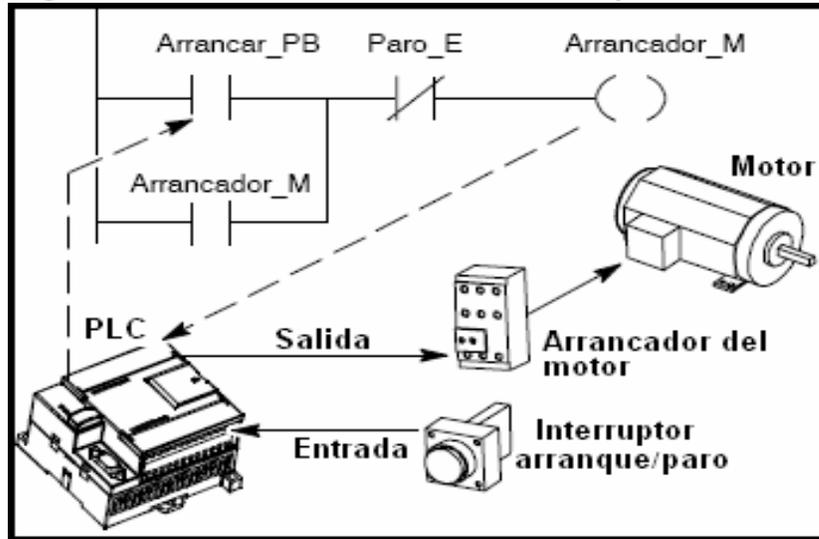
⁹⁴ www.siemens.com.co/Plc. Catálogo: S7-200

3.3.5.2 Funcionamiento básico del PLC S7-200

El proceso (**Fig. 133**) de funcionamiento básico⁹⁵ del S7-200 es el siguiente:

- el S7-200 lee el estado de las entradas
- el programa almacenado en el S7-200 utiliza las entradas para evaluar la lógica, durante la ejecución del programa se actualizan los datos
- el S7-200 escribe los datos en las salidas y se realiza el proceso.

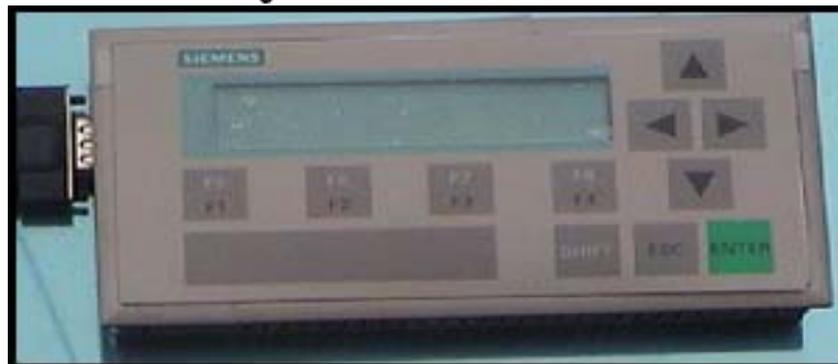
Figura 133. Proceso básico de un circuito simple en el S7-200



3.3.6 Pantalla (HMI) TD-200C

Para la visualización y control de los datos del proceso de trabajo durante el funcionamiento del banco, se ha empleado el panel TD-200C (**Fig. 134**), que es un visualizador de textos de dos líneas de 20 caracteres cada una y se comunica de forma directa con el S7-200 mediante uno de los puertos RS485 que tiene el PLC.

Figura 134. Pantalla TD-200C



⁹⁵ www.siemens.com.co

3.3.7 Teclado (HMI) TD-200C

El software STEP 7 Micro/win permite programar al TD-200C, para que éste pueda cumplir con la función de teclado en el banco de pruebas. Por medio de este elemento se efectúa la introducción de todas las operaciones de control. El TD-200C, tiene un teclado estándar de fábrica; pero en este caso ha sido diseñado (**Fig. 135**) de acuerdo a las necesidades de programación y de las operaciones de manejo necesarias para el funcionamiento del banco diseñado. Para ello, se lo ha provisto de un bloque de teclas numérico que permite ingresar los valores de velocidad y número de vueltas de conteo del eje principal, teclas asignadas a la introducción y verificación de parámetros que permiten visualizar diferentes pantallas de estado del funcionamiento (velocidad, vueltas, temperatura, periodos de mantenimiento), teclas de ingreso y salida del menú programado y teclas de cursor; todas estas facilitan seguir un proceso de operaciones durante la verificación de una bomba de inyección.

Figura 135. Teclado diseñado para el panel TD-200C



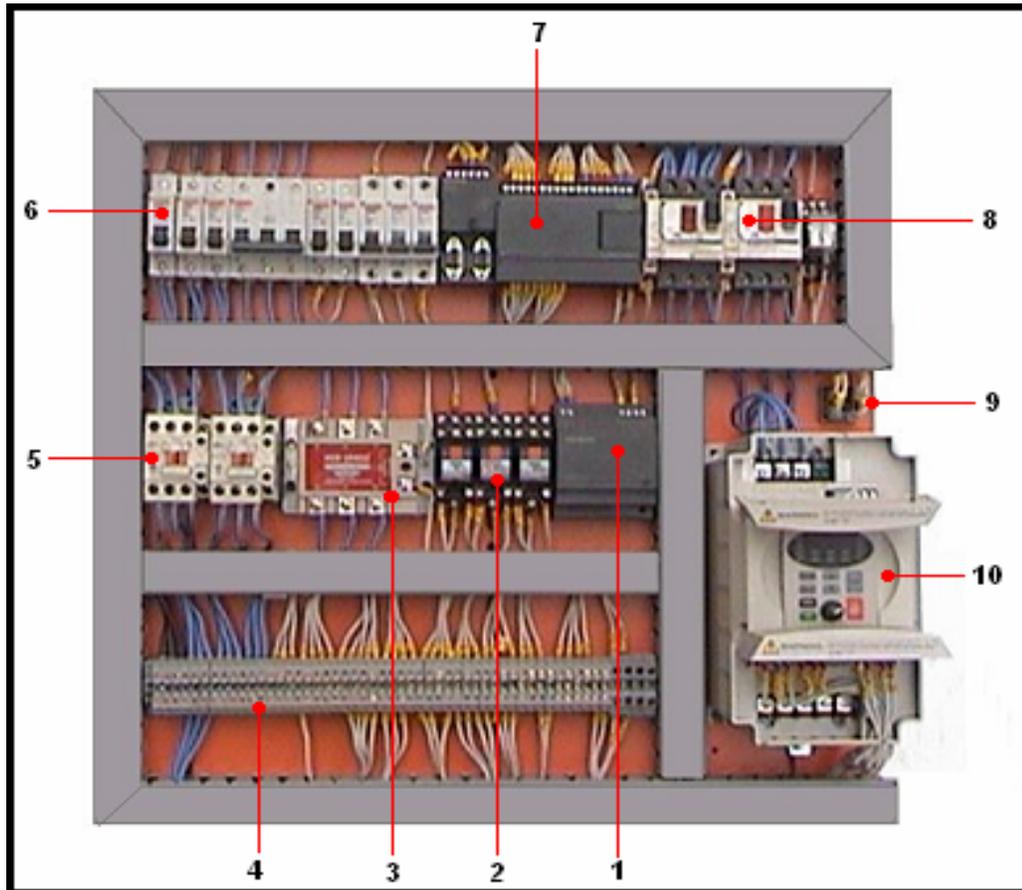
1. Bloque de teclas numérico 2. Teclas de activación directa del sistema de corte de combustible
 3. Teclas de cursor 4. Teclas de verificación, activación, y visualización de funcionamiento

3.3.8 Dispositivos y accesorios del sistema eléctrico - electrónico

La gran mayoría de los componentes de este sistema se encuentran ubicados en el interior de una caja eléctrica hermética. En la **figura 136**, se observa el cableado de conexión interna y los elementos que se encuentran en el tablero de la caja eléctrica. Con el fin de identificar cada una de las conexiones realizadas entre los

componentes; cada cable posee un sistema de codificación por medio de números y letras, de forma que si se desea verificar una conexión solo basta seguir el código de entrada y encontrar con la misma codificación la salida, de modo que es fácil determinar como están conectados los elementos entre si.

Figura 136. Tablero de conexiones y componentes eléctrico / electrónico



1.Fuente logo 2.Relés 3.Relè de estado sólido 4.Borneras 5.Contactores 6.Brakers
7.PLC 8.Tèrmicos / guarda-motor 9.Puente rectificador 10.Variador de velocidad

Los dispositivos enumerados en la **figura 136**, cumplen su propia función, protegen o controlan a otro elemento o a uno de los sistemas de funcionamiento del banco de pruebas, así:

1. Fuente logo: recibe en su entrada de 100 a 240V y brinda al sistema 24 V/2.5A; que sirven para activar a los actuadores del sistema de corte de combustible.
2. Relés: son los que permiten el paso de corriente a todos los elementos controlados por el PLC cuando necesitan ser activados; (actuadores, ventiladores disipadores de calor interno).

3. Relé de estado sólido: este elemento no tiene contactos mecánicos por lo que no existe desgaste interno en el mismo, está encargado de activar y desactivar a las niquelinas del tanque de combustible.
4. Borneras: todo el cableado del tablero eléctrico debidamente identificado llega a estos dispositivos que facilitan las conexiones necesarias de todos los componentes eléctricos/electrónicos del banco.
5. Contactores: estos elementos son los que permiten el paso de corriente hacia los motores eléctricos (principal y secundario)
6. Brakers: son los interruptores de todo el sistema eléctrico, además actúan como fusibles protegiéndolo a éste de posibles cortocircuitos, variaciones de tensión, etc.
7. Autómata programable (PLC): es el cerebro de todo el sistema eléctrico/electrónico y controla todos los procesos de trabajo.
8. Térmicos o guarda-motor: estos elementos protegen exclusivamente a los motores eléctricos (principal y secundario), los previene de sobrecargas de tensión, de consumo y de calor.
9. Puente rectificador: recibe la corriente alterna que proviene del transformador para convertirla en corriente continua y alimentar a elementos como el PLC y las niquelinas.
10. Variador de velocidad: controla las velocidades de funcionamiento del motor principal.

Otros elementos de gran importancia son los sensores de temperatura del líquido de ensayo; estos dispositivos son: la termocupla (**Fig. 137**) y el transmisor (**Fig. 138**).

Figura 137. Termocupla

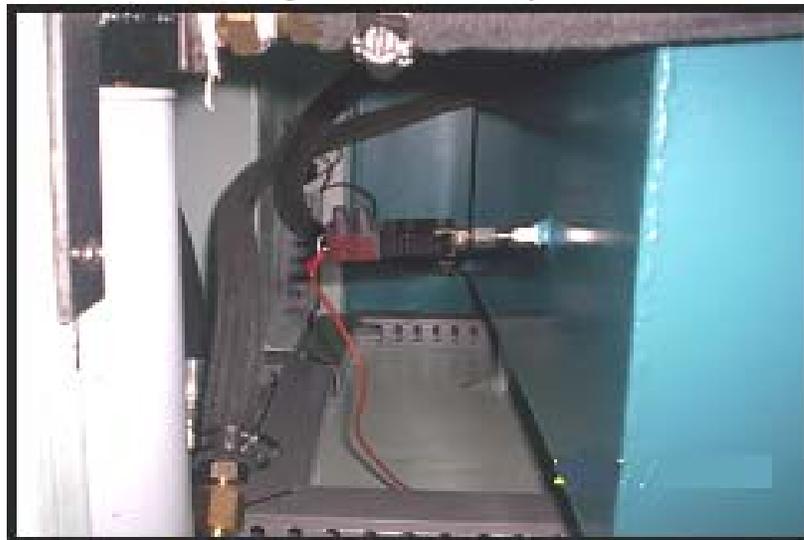


Figura 138. Transmisor

La termocupla (**Fig.137**), está ubicada en el tanque de combustible y mide la temperatura del líquido enviando señales de 4 a 20 mA; las mismas que son recibidas por el transmisor (**Fig. 138**), el cual las transforma en señales de tipo analógicas que a su vez son recibidas por el módulo analógico del PLC e introducidas como variables en su programa, a través del cual activa o desactiva a las niquelinas según la temperatura del líquido de pruebas.

3.4 Sistema hidráulico del banco de pruebas

La función del sistema hidráulico es la de alimentar y abastecer con el líquido de ensayo a la bomba de inyección que se encuentre montada en el banco de pruebas. Además, este sistema debe asegurar que el líquido llegue a la bomba de inyección en las condiciones ideales de funcionamiento (caudal, presión y temperatura), para ello se dispone en el mismo de una serie de elementos que lo constituyen (bomba de alimentación, válvula reguladora de caudal, válvulas reguladoras de presión, filtros, cañerías, etc) y que permiten que este sistema cumpla su misión correctamente.

3.4.1 El líquido de ensayo

El líquido de ensayo tiene como principal característica estar constituido por aditivos antiespumantes y lubricantes; para la verificación de las bombas de inyección el

líquido de prueba debe estar a una determinada temperatura, la cual viene especificada en la ficha de datos técnicos de la bomba que se esté verificando.

El líquido de ensayo que en este caso va a ser empleado en el banco es el diesel, el cual posee similares características a las del líquido de pruebas que se emplea en los laboratorios diesel. El diesel a más de tener parecidas características a las del líquido de ensayo, es más económico por lo que disminuyen los costos de mantenimiento del banco de pruebas a través de los cambios periódicos de esta sustancia.

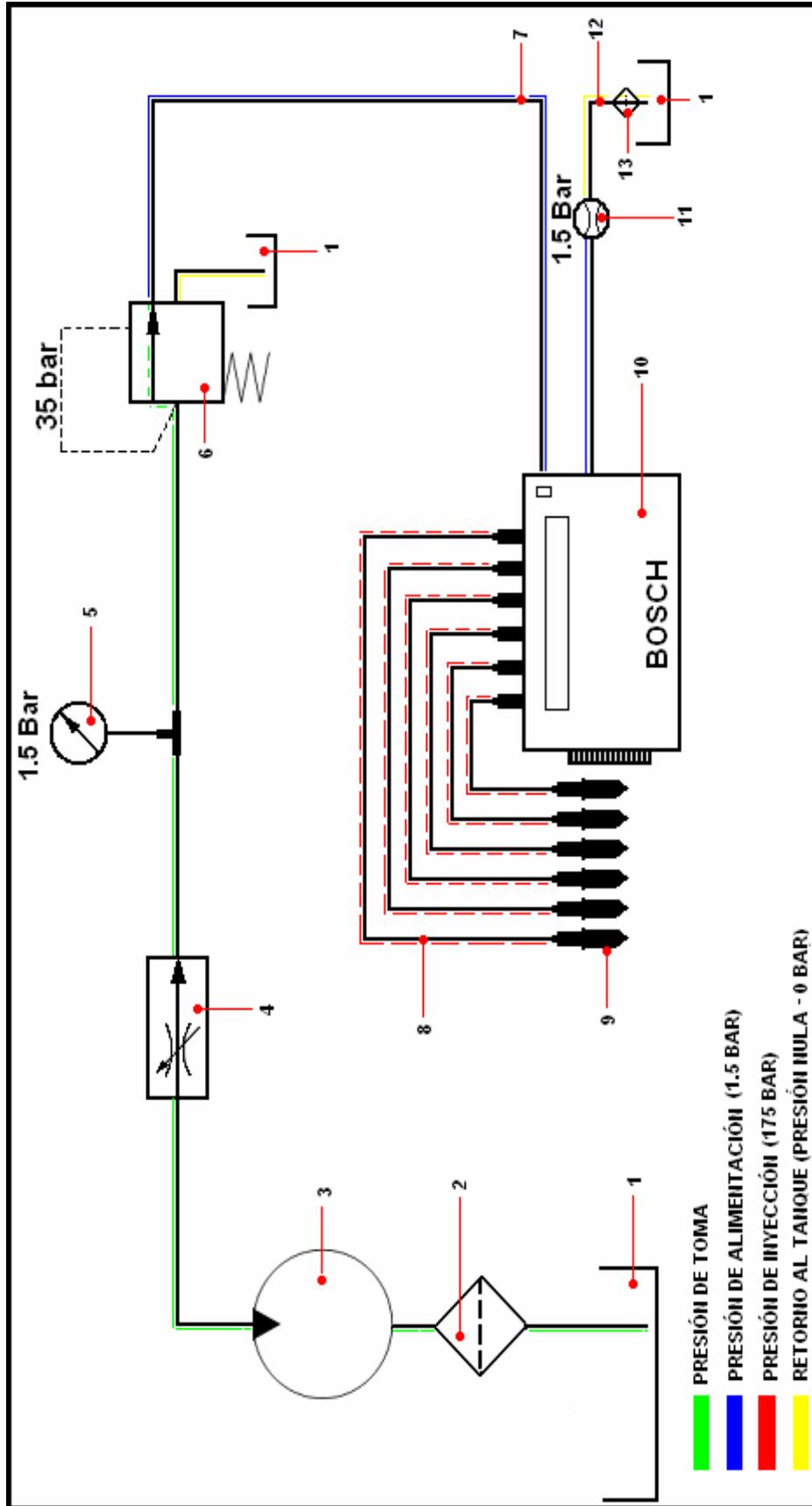
3.4.2 Esquema de funcionamiento del sistema hidráulico del banco de pruebas

En las **figuras 139 y 140**, se observan los esquemas con los componentes del sistema hidráulico. Al encender el banco de pruebas mediante el teclado, se prende al motor secundario que acciona a la bomba de alimentación hidráulica (3); la cual toma el líquido de ensayo desde el tanque (1) y lo pasa por el filtro (2); el caudal absorbido por la bomba es controlado por una válvula reguladora de caudal (4).

La presión del líquido de ensayo (diesel) que va a la bomba de inyección (10), es controlada por una válvula reguladora de presión (6) y una válvula estranguladora de caudal (11); la válvula reguladora (6) permite elevar la presión a 35 bar (507,63psi) y entra en funcionamiento cuando se tapa el retorno de la bomba de inyección (12).

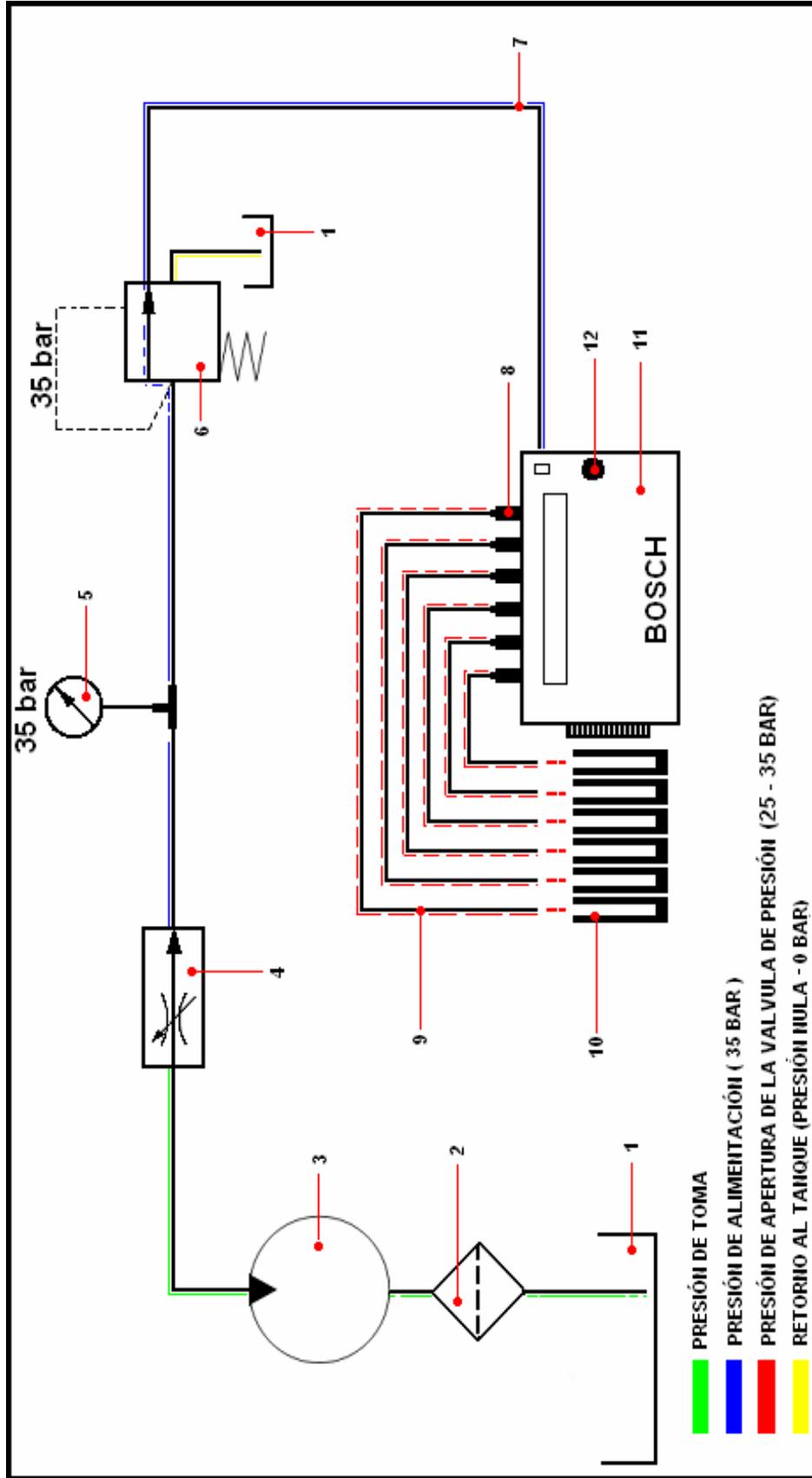
La válvula estranguladora (11) permite que la presión de alimentación sea de 1.5 bar (21,75psi), presión que se mantiene cuando se conecta el retorno de la bomba de inyección (12) a la manguera de retorno del banco de pruebas. La presión de trabajo a la que esté operando el banco, puede ser observada en un manómetro (5) instalado al sistema hidráulico y está ubicado en la parte frontal sobre el cabezal del banco, el manómetro empleado tiene una escala que va de 0 a 70 bares (0 a 1000 psi). Además se dispone de un filtro extra (13) para el líquido de ensayo, éste está ubicado en el conducto de retorno del tanque de combustible.

Figura 139. Esquema del sistema hidráulico del banco de pruebas (baja presión)



1.Tanque de combustible 2.Filtro de combustible 3.Bomba de alimentación hidráulica 4.Válvula reguladora de caudal 5.Manómetro 6.Válvula reguladora de presión (35 bar) 7.Manguera hidráulica 8.Cañerías 9.Inyectores 10.Bomba de inyección 11.Válvula estranguladora de caudal (1.5 bar) 12.Conducto de retorno 13.Filtro de combustible (retorno)

Figura 140. Esquema del sistema hidráulico del banco de pruebas (alta presión)



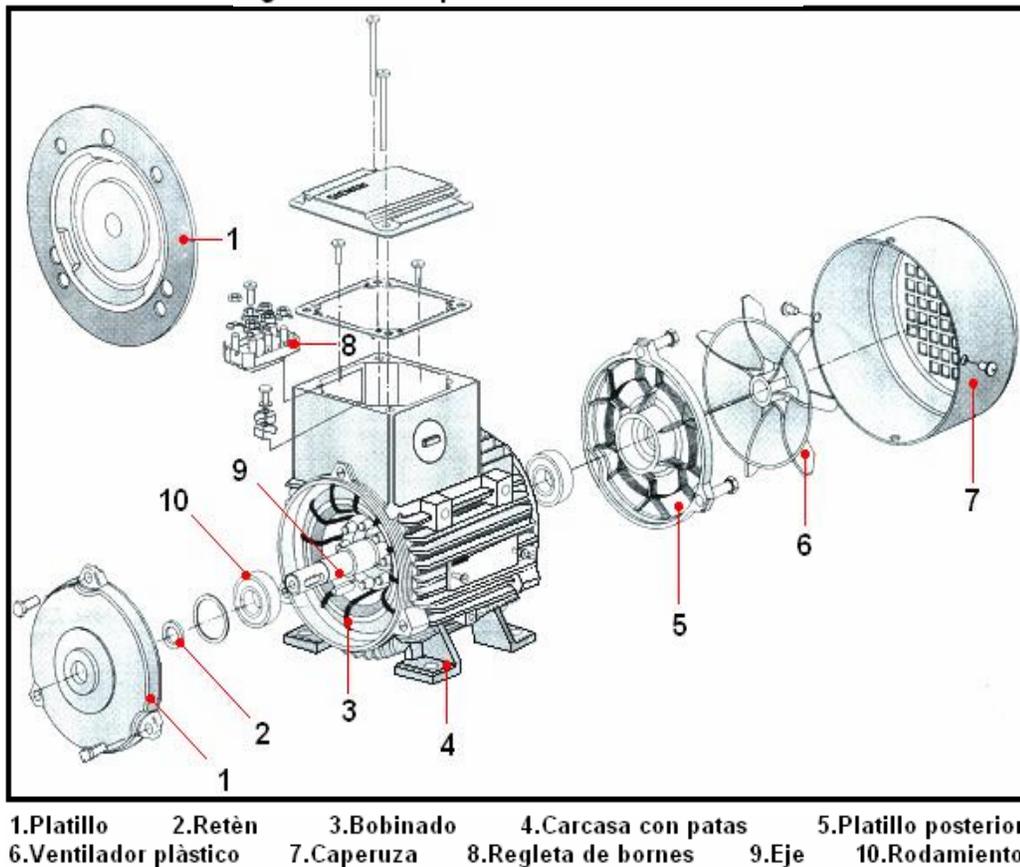
1.Tanque de combustible 2.Filtro de combustible 3.Bomba de alimentación hidráulica 4.Valvula reguladora de caudal 5.Manómetro 6.Valvula reguladora de presión 7.Manguera hidráulica 8.Valvula de presión de la bomba de inyección 9.Cañerías 10.Probetas 11.Bomba de inyección 12.Tapón (para el conducto de retorno)

3.4.3 Motor eléctrico secundario

El motor eléctrico secundario tiene la función de dar movimiento a la bomba hidráulica de alimentación. La relación de transmisión es de 1:2, por lo tanto la bomba hidráulica va a girar a la mitad de revoluciones a las que gira el motor eléctrico. Cuando este motor se enciende, hace girar a la bomba hidráulica o de alimentación, que toma el líquido de ensayo (diesel) desde el tanque; el líquido absorbido por la bomba hidráulica es filtrado y enviado por las cañerías hacia las válvulas de regulación y posteriormente hacia la bomba de inyección.

Su funcionamiento difiere con respecto al motor principal en que se trata de un motor normal con rotor de inducción de tipo jaula de ardilla. En la **figura 141**, se observa el despiece del motor secundario.

Figura 141. Despiece del motor secundario



Las características nominales⁹⁶ del motor secundario se citan en la **tabla 24**.

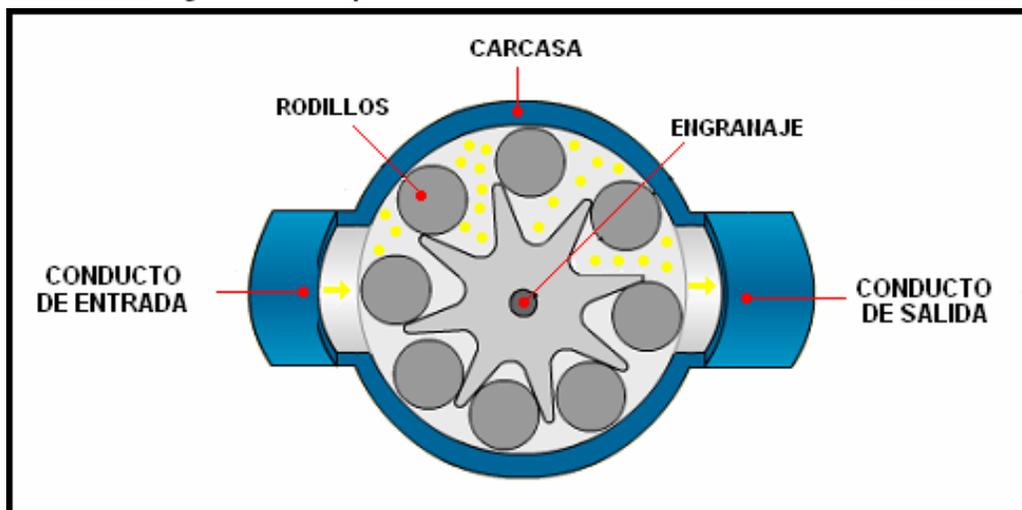
Tabla 24. Características nominales del motor secundario

MOTOR ELÉCTRICO (Siemens tipo 1LA7)	
POTENCIA :	3Hp / 2.2Kw
VELOCIDAD MÁXIMA :	1800 Rpm
TIPO DE CONEXIÓN :	Trifásica
VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN :	220 V
TORQUE :	Ta : 18 Tn : 12 N/m

3.4.4 Bomba hidráulica

La bomba hidráulica, es el elemento que envía el líquido de ensayo (diesel) desde el tanque de almacenamiento hacia la bomba de inyección, manteniendo el colector de la misma al nivel adecuado para realizar su verificación. La bomba hidráulica utilizada en este banco de pruebas es de tipo de rodillos. En la **figura 142**, se observa un esquema de funcionamiento de esta bomba.

Figura 142. Esquema de la bomba hidráulica de rodillos



La bomba hidráulica (**Fig. 143**) montada en el banco de pruebas, tiene la capacidad de brindar en la práctica un caudal constante de 12.61 lts/minuto a 830rpm; además puede alcanzar una presión de alimentación de hasta 45bar (652,5psi) y su accionamiento en el banco está dado por el motor eléctrico secundario a través de un sistema de banda y polea.

⁹⁶ www.siemens.com.co/catalogomotores.htm

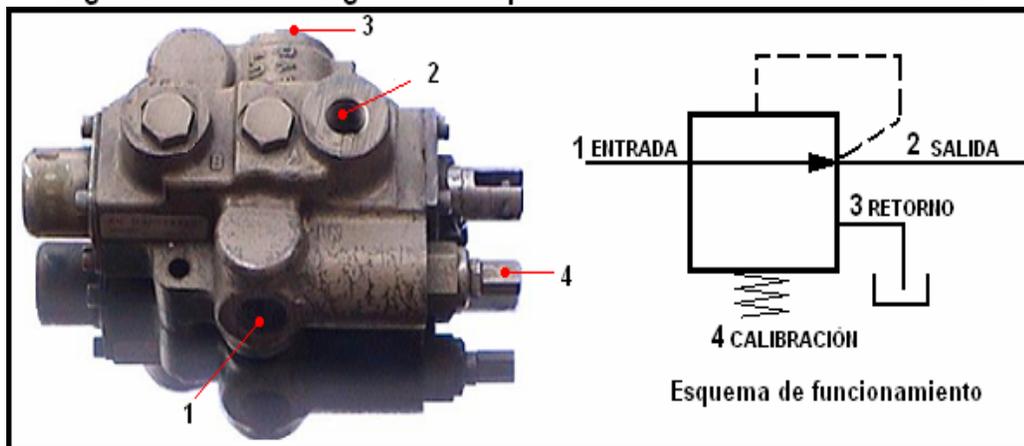
Figura 143. Bomba de alimentación hidráulica



3.4.5 Válvula reguladora de presión

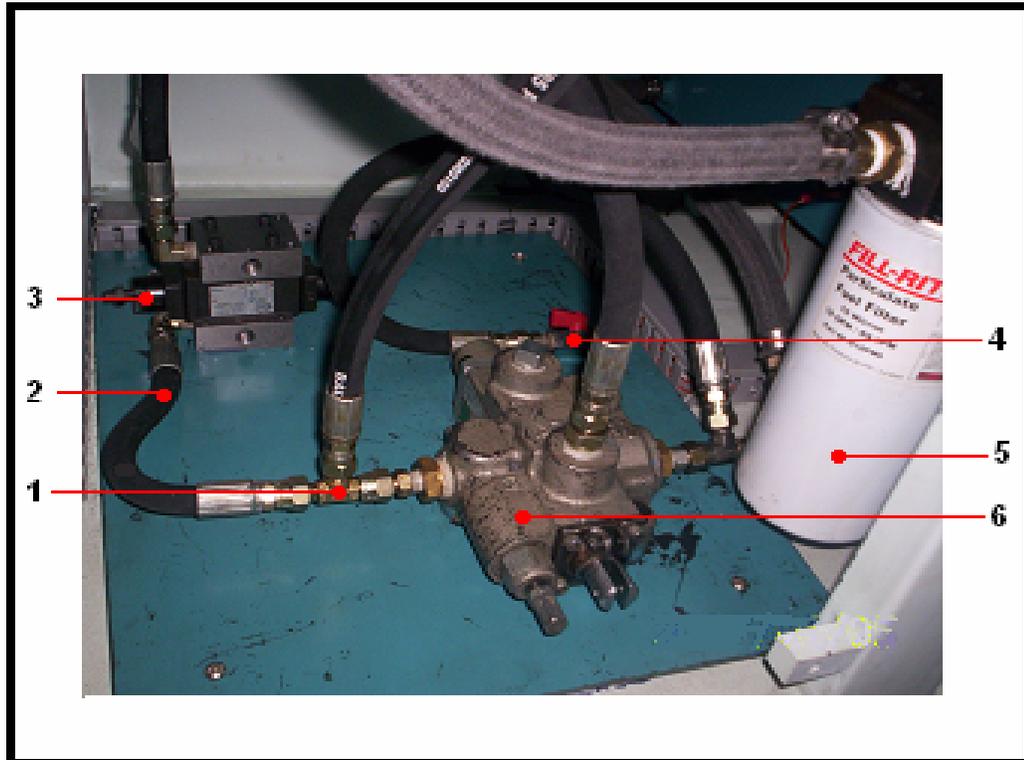
La regulación de la presión de alimentación (baja presión) y de la presión de verificación de fugas en las bombas de inyección (alta presión) se lo hace por medio de válvulas reguladoras. En la **figura 144**, se observa la válvula de regulación de presión, la cual mantiene 35bar (507,63psi) como máximo en el sistema hidráulico. La alta presión, se utiliza para verificar en las bombas de inyección la apertura de la válvula del elemento de bombeo. Además, esta válvula evita que se de una sobrepresión en el sistema hidráulico abriendo o cerrando su conducto de retorno en el caso de que el sistema hidráulico sobrepase los 35bar.

Figura 144. Válvula reguladora de presión de accionamiento mecánico



La presión de alimentación (1.5 bar), es la que se utiliza para realizar la gran mayoría de las pruebas de verificación de la bomba de inyección; esta presión se consigue gracias a la acción de la válvula (4) (**figura 145**), que estrangula el caudal de retorno de combustible elevando la presión en todo el sistema hidráulico a 1.5 bar.

Figura 145. Elementos y válvulas del sistema hidráulico



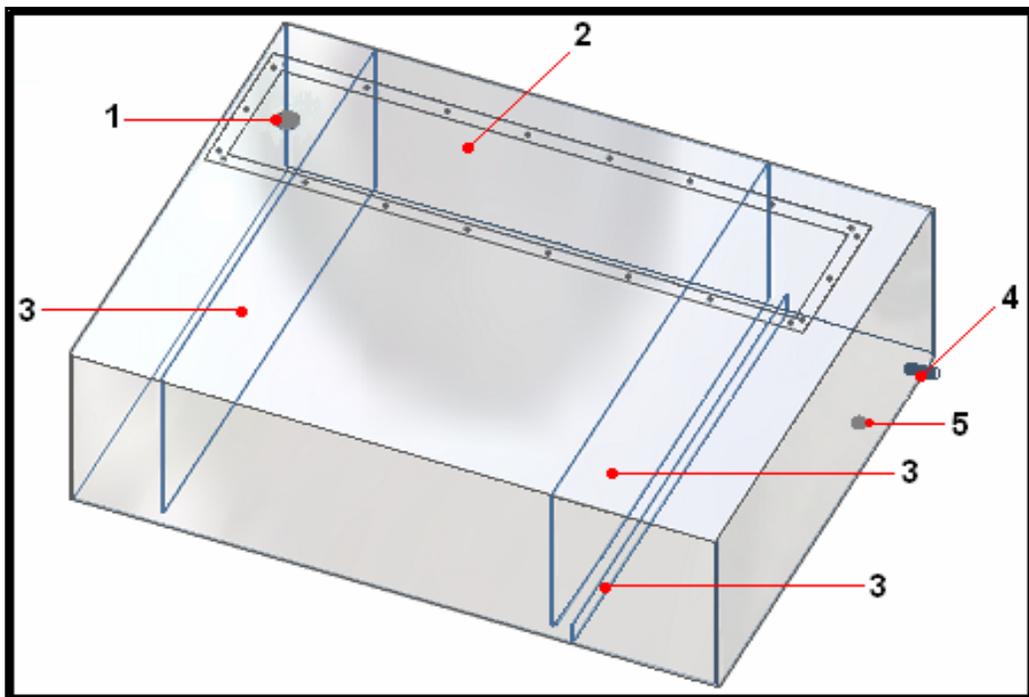
1.Acoples 2.Mangueras 3.Válvula reguladora de caudal 4.Válvula estranguladora de caudal 5.Filtro principal 6.Válvula reguladora de presión

3.4.6 Depósito de combustible

El depósito de combustible tiene la función de almacenar el líquido de ensayo (diesel). El tanque de combustible, debe tener el suficiente tamaño para mantener en su interior un nivel de combustible adecuado y pueda ser tomado por la bomba de alimentación (bomba hidráulica), para enviarlo por los conductos, filtros, mangueras, y cañerías, permitiendo proveer siempre del líquido a la bomba de inyección y evitar que el sistema de alimentación se quede sin caudal e ingrese aire, afectando las comprobaciones de la bomba que se encuentre verificando el banco de pruebas.

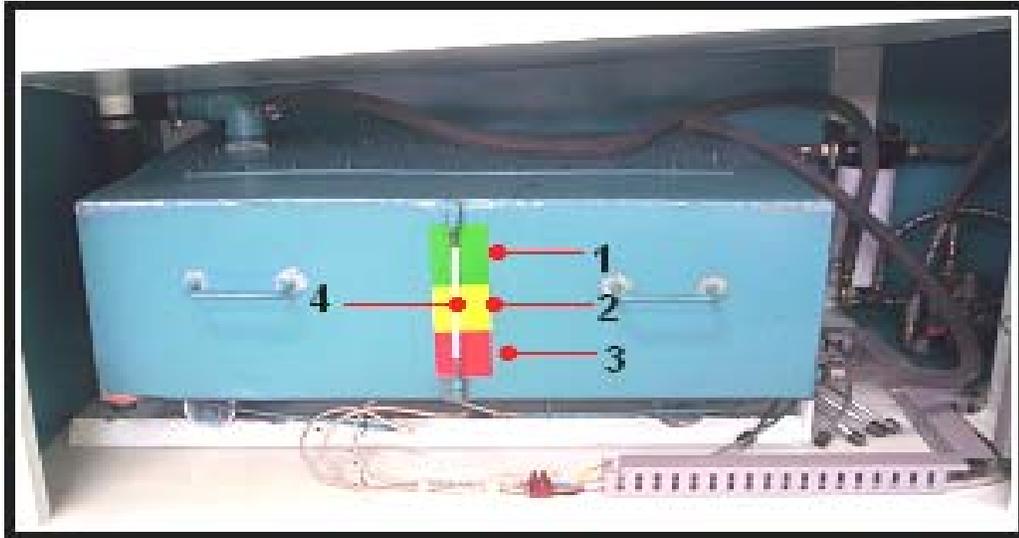
Para cumplir con este propósito se ha construido un tanque con la suficiente capacidad de abastecimiento 100lts (26,42Glns). El material empleado en la construcción del tanque es plancha de acero de 2mm de espesor; en su interior se han provisto planchas ubicadas verticalmente para evitar el balanceo del combustible y retener las impurezas conjuntamente con el filtro, en la parte inferior posee un tapón de vaciado y en su cara superior lleva una tapa desmontable para efectuar su limpieza y darle mantenimiento; en la **figura 146**, se observa el diseño del tanque de combustible.

Figura 146. Diseño del tanque de combustible



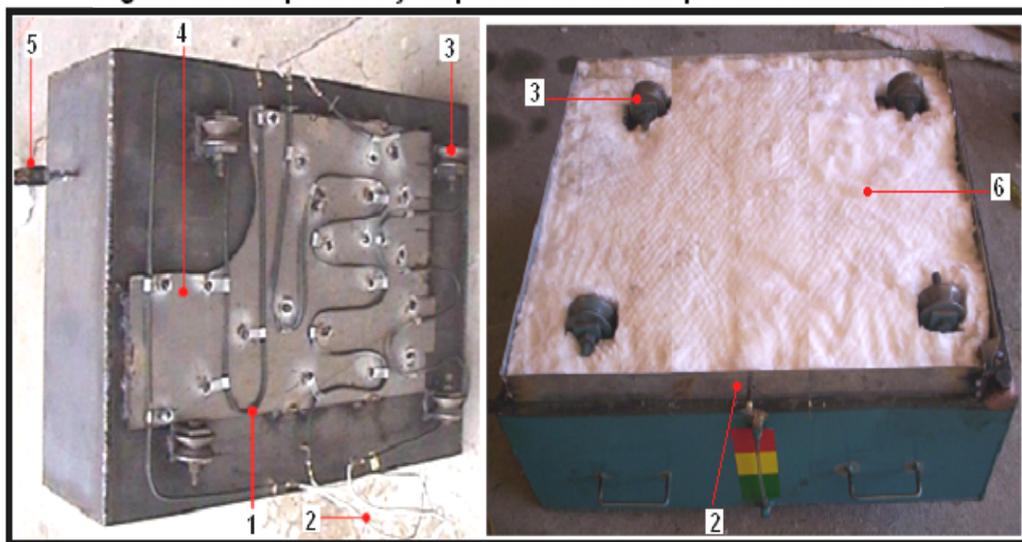
1.Entrada 2.Tapa 3.Planchas decantadoras 4.Salida 5.Tapòn de vaciado

Otra característica importante del tanque de combustible (**Fig. 147**) es que en uno de sus costados lleva un tubo plástico transparente (4) y un sello de tres colores (1,2,3), que indican la cantidad de combustible que existente en su interior, este indicador es muy útil para efectuar una inspección visual y evitar que el banco de pruebas se quede sin líquido de ensayo durante su funcionamiento.

Figura 147. Medidor de nivel de combustible

1.Lleno (correcto) 2.Medio (completar) 3.Bajo (incorrecto) 4.Tubo indicador

También, en la parte inferior del tanque (**Fig. 148**), se encuentran ubicadas las niquelinas (1), encargadas de calentar el líquido de ensayo a la temperatura de trabajo; para ello el tanque lleva montado una plancha adicional de acero refractario (4), impidiendo que las niquelinas estén en contacto directo con el tanque; además, en la parte inferior cubriendo a las niquelinas el tanque lleva provisto un pliego de fibra cerámica (6) que aísla el calor evitando pérdidas y que se calienten los elementos ajenos al tanque. Otro dispositivo importante que se encuentra en el tanque de combustible, es la termocupla (5), colocada en uno de sus costados y que permite determinar la temperatura del líquido de ensayo.

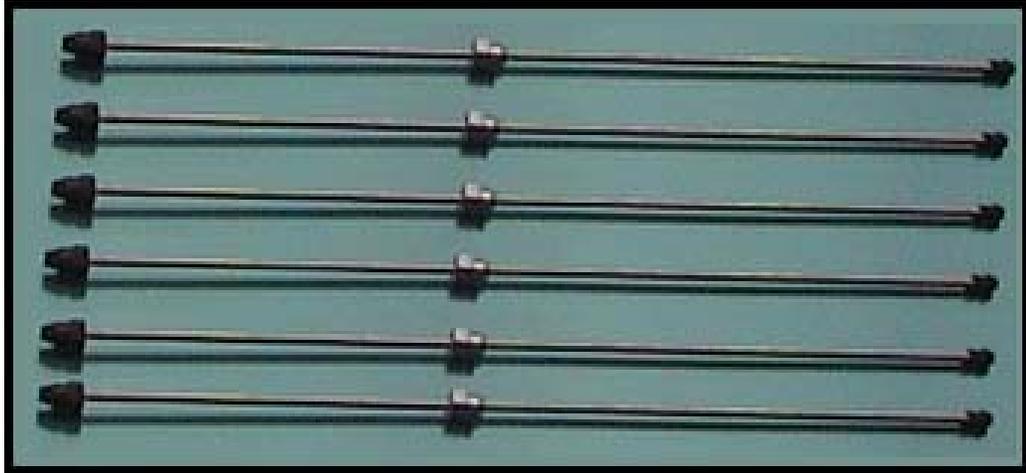
Figura 148. Niquelinas y dispositivos del tanque de combustible

1. Niquelinas 2. Cables y terminales de conexión 3. Ruedas
4. Plancha de acero refractario 5. Termocupla 6. Pliego de fibra cerámica

3.4.7 Cañerías de combustible

Las cañerías empleadas en el banco diseñado (**Fig. 149**), son de iguales características a las que se utilizan en los laboratorios diesel; por lo tanto, son resistentes a la presión hidráulica y no se deforman con la presión de trabajo, caso contrario se alterarían los caudales obtenidos en las pruebas de verificación de la bomba de inyección que se encuentre montada en el banco.

Figura 149. Cañerías de combustible



Las dimensiones de las cañerías, están en función del tipo de bomba de inyección que se va a comprobar, dato que viene especificado en la ficha técnica⁹⁷ que hay para cada bomba de inyección. En este caso se ha provisto al banco con dos juegos de cañerías, que tienen las especificaciones dadas para las bombas de 4 y 6 cilindros de los tipos A y P; la diferencia principal entre los dos juegos de cañerías es su diámetro interior y los acoples de unión. Las medidas del juego de cañerías para las bombas tipo A son: 2mm (diámetro interno) x 6mm (diámetro exterior) x 600mm (longitud). Para las bombas tipo P son: 3mm (diámetro interno) x 6mm (diámetro exterior) x 600mm (longitud).

3.4.8 Inyectores

Los inyectores utilizados en el banco diseñado (**Fig. 150**), son los de tipo de orificios y pertenecen a un motor diesel de la marca Nissan. La presión de apertura para que se de la inyección de combustible está calibrada a 175 bar. (2538.16psi),

⁹⁷ Ficha Técnica. PE6P100A720R515X . NP-PES6A85C321RS2000NP

que corresponde a la misma presión a la que abren los inyectores propios de un banco de pruebas tradicional de un laboratorio diesel⁹⁸.

Figura 150. Inyector de pruebas



Los inyectores (1), van ubicados en la parte superior de la caja porta-probetas (4) (**Fig.151**), el líquido inyectado durante el funcionamiento del banco, es recolectado por unos conos plásticos (porta-inyectores) (2), que evitan la dispersión del diesel durante la inyección; posteriormente el líquido inyectado cae al interior de las probetas (3), en donde es medido para evaluar el estado de la bomba de inyección que se esté comprobando.

Figura 151. Ubicación de los inyectores en el banco de pruebas



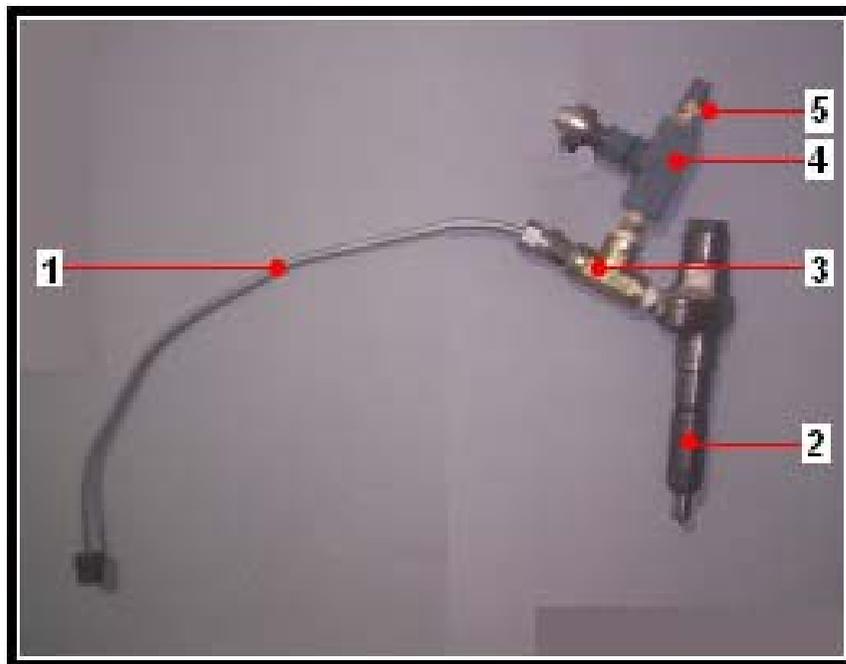
1.Inyectores 2.Porta-inyectores 3.Probetas 4.Caja porta-probetas

⁹⁸ Laboratorio Diesel Ecuachile. Cuenca. Ecuador.

3.4.9 Dispositivos y accesorios del sistema hidráulico

En la **figura 152**, se observa a los dispositivos que permiten la inyección del líquido de pruebas; el combustible enviado por la bomba de inyección sale por la cañería (1), la cual se comunica por el otro extremo a través de un acople (3) con una válvula de aguja (4) y con el inyector respectivo (2) que permite la inyección del líquido de pruebas. Cuando la válvula (4) se encuentra abierta, el líquido que viene de la bomba de inyección sale por un conducto auxiliar de prueba (5), al cerrar esta válvula el líquido se dirige directamente hacia el inyector.

Figura 152. Dispositivos de inyección

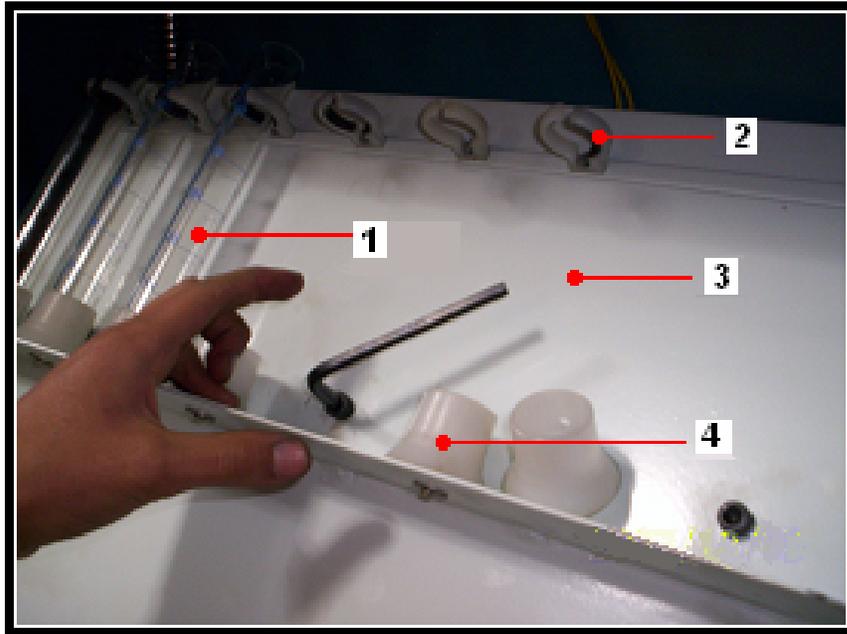


1.Cañería 2.Inyector 3.Acople (T) 4.Válvula de aguja 5.Conducto de prueba

a. Probetas

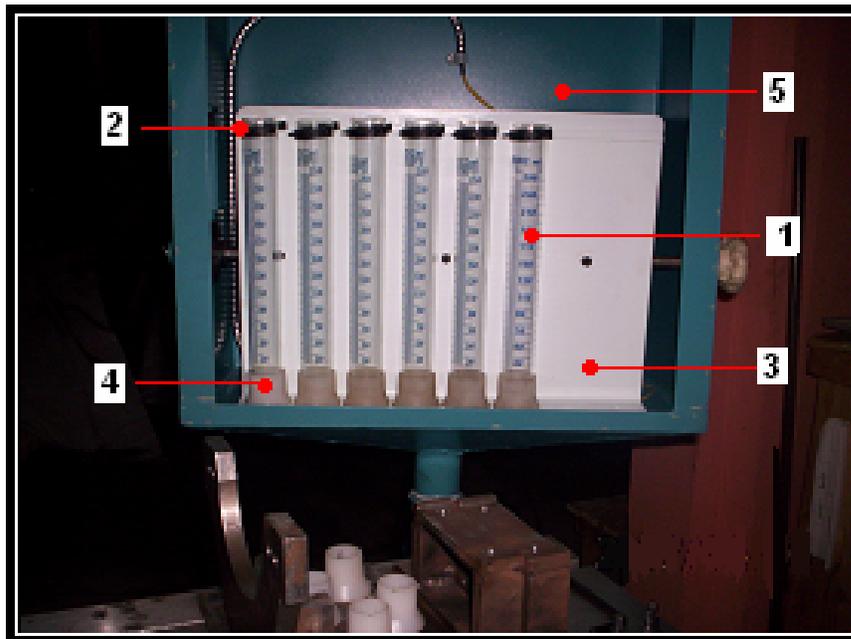
Las probetas (**Fig. 153 y 154**), están ubicadas en el interior de una caja (6), sujetadas a una plancha metálica (3) por medio de agarraderas (2) y de bases (4). Su función es la de medir el caudal inyectado en cada prueba de verificación de la bomba de inyección montada en el banco. Las probetas montadas, tienen una capacidad de 50ml las pequeñas (1) y de 250ml las grandes (2) y son empleadas según la prueba que efectúe.

Figura 153. Ubicación de las probetas pequeñas



1.Probetas (50 ml) 2.Agarraderas 3.Placa porta-probetas 4.Bases

Figura 154. Ubicación de las probetas grandes

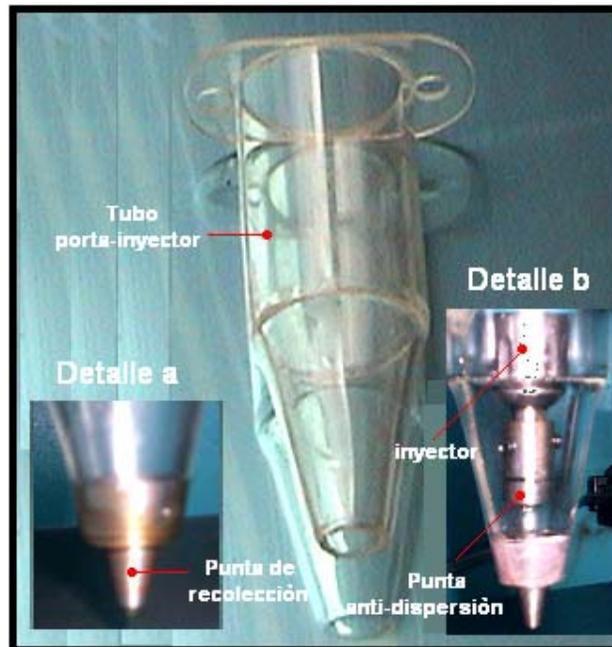


1.Probetas (250ml) 2.Agarraderas 3.Placa porta-probetas 4.Bases 5.Caja porta-probetas

b. Puntas de recolección y dispositivos anti-dispersión del líquido inyectado

La función de las puntas de recolección (**Fig. 155) detalle a**, es la de recoger el líquido inyectado por las toberas de los inyectores que sale hacia las paredes de los conos porta-inyectores, facilitando que el líquido se dirija hacia la parte inferior convirtiéndose en un chorro puntual que es enviado directamente hacia las probetas, impidiendo que éste caiga fuera de las mismas.

Figura 155. Puntas de recolección y dispositivos anti-dispersión



Los dispositivos anti-dispersión (**Fig.155) detalle b**, van ubicados sobre las puntas de los inyectores y cumplen la función de evitar que el líquido pulverizado que sale a través de los orificios de inyección choque directamente con los conos porta-inyectores, impidiendo que se produzca una nube de combustible que va a producir mayor demora en la caída del líquido por los tubos hacia las probetas, lo que puede incidir directamente en la medición del caudal inyectado.

3.5 Funcionamiento del banco de pruebas

El funcionamiento del banco de pruebas se basa prácticamente en el trabajo de control que efectúe el sistema eléctrico/electrónico. La puesta en marcha del mismo se realiza desde el interruptor principal (**Fig. 156**), ubicado en un costado del banco y a continuación se encienden los componentes desde el teclado del TD-200C de acuerdo a la rutina de operación; todo proceso se visualiza en la pantalla, además, se puede observar: el siguiente paso a seguir, el estado de funcionamiento y los parámetros ingresados para cada prueba.

Figura 156. Interruptor de encendido general del banco de pruebas



3.5.1 Rutina de operaciones

Luego de haber montado y asegurado la bomba de inyección tipo A o P al banco se debe aplicar la siguiente rutina de operaciones para realizar su comprobación:

1. Prender el sistema general del banco de pruebas a través de selector ON_OFF
2. Encender las niquelinas por medio de la pantalla TD-200C para alcanzar la temperatura adecuada (40°C generalmente) del líquido de pruebas (diesel)
3. Prender la bomba hidráulica a través de la pantalla TD200C

4. Introducir los datos para encender el motor principal utilizando el teclado TD-200C:

-Seleccionar sentido de giro

-Seleccionar la velocidad (RPM)

-Prender el motor principal.

5. Para activar el sistema de corte de combustible e iniciar la medición del caudal inyectado se parametriza (a través del TD-200C):

- El numero de vueltas (emboladas) que se desean contar

- Empezar el conteo por medio de la tecla que activa este sistema.

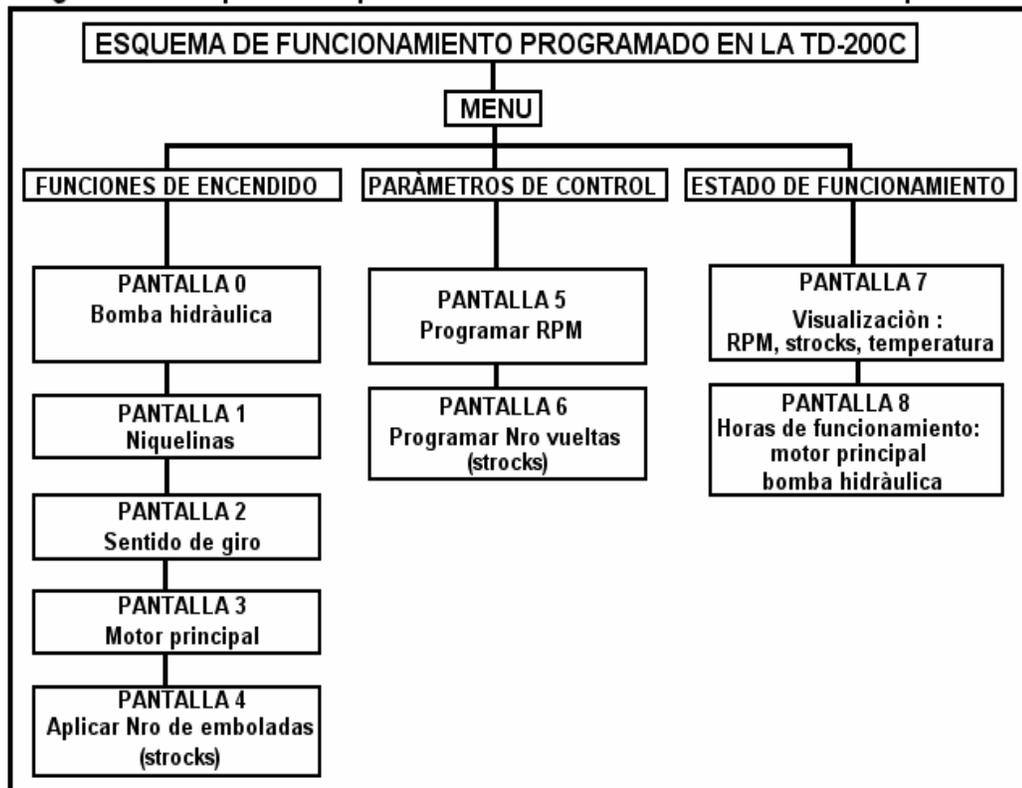
6. Parar el motor principal

7. Parar la bomba hidráulica (motor secundario)

8. Para realizar una nueva prueba de verificación en la bomba de inyección montada, se repite el proceso desde el paso 4; sin embargo hay que considerar que el sistema electrónico del banco permite introducir lo nuevos datos de parametrización y ejecutarlos sin la necesidad de apagar o detener a los motores principal y secundario.

En la **figura 157**, se observa el esquema de funcionamiento que debe seguirse durante la verificación de las bombas de inyección.

Figura 157. Esquema del proceso de funcionamiento del banco de pruebas



3.5.2 Parametrización y visualización de las operaciones de trabajo

Cuando se enciende el banco, la pantalla del TD-200C va a mostrar un mensaje de texto que indica el estado actual de sus componentes, esto se lo puede ver sintetizado en tres grupos principales que son: funciones de encendido, parámetros de control y estado de funcionamiento.

3.5.2.1 Funciones de encendido

En este ítem, se tiene acceso a 5 pantallas (0-1-2-3-4), por medio de las cuales se encienden los componentes eléctricos principales y se seleccionan el correcto funcionamiento de cada uno de estos (temperatura, sentido de giro, velocidad, conteo).

a. Pantalla 0

Con esta pantalla (**Fig. 158 y 159**), se enciende al motor secundario, el mismo hace girar a la bomba hidráulica y se comienza a enviar combustible por las mangueras de alimentación hacia la entrada de la bomba de inyección montada en el banco de pruebas. La presión de alimentación va a depender de la forma en la que se encuentre conectada la bomba de inyección; si se tapa el retorno de la bomba de inyección la presión subirá a 35 bar y si el retorno de la bomba de inyección está conectado a la manguera de retorno del banco, la presión será de 1.5 bar.

El acceso y puesta en marcha de este comando se lo realiza con las siguientes teclas de la pantalla:



Entrar



Subir (prender 1)



Bajar (apagar 0)



Salir

Figura 158. Pantalla 0 (Bomba hidráulica apagada - 0)



Figura 159. Pantalla 0 (Bomba hidráulica prendida - 1)



b. Pantalla 1

Esta pantalla (**Fig. 160 y 161**), permite encender desde el teclado las niquelinas, encargadas de calentar el líquido de ensayo a la temperatura especificada en los datos de la ficha técnica de cada bomba de inyección, generalmente se trabaja con una temperatura de 40°C +/- 2°.

El acceso y activación de este comando, se lo realiza con las siguientes teclas de la pantalla:



Figura 160. Pantalla 1 (Niquelinas apagadas - 0)



Figura 161. Pantalla 1 (Niquelinas prendidas - 1)



c. Pantalla 2

En la siguiente pantalla (**Fig. 162 y 163**), se realiza la selección del sentido de giro del eje principal y cabezal del banco de pruebas. Para esta selección, se debe considerar el sentido de giro en el que funciona la bomba de inyección que se vaya a verificar. La programación de la pantalla muestra el mensaje “adel” que hace referencia al sentido de giro horario y el mensaje “atra” que hace referencia al sentido de giro anti-horario, esto es visto desde la parte frontal en donde se encuentra el cabezal del banco de pruebas.

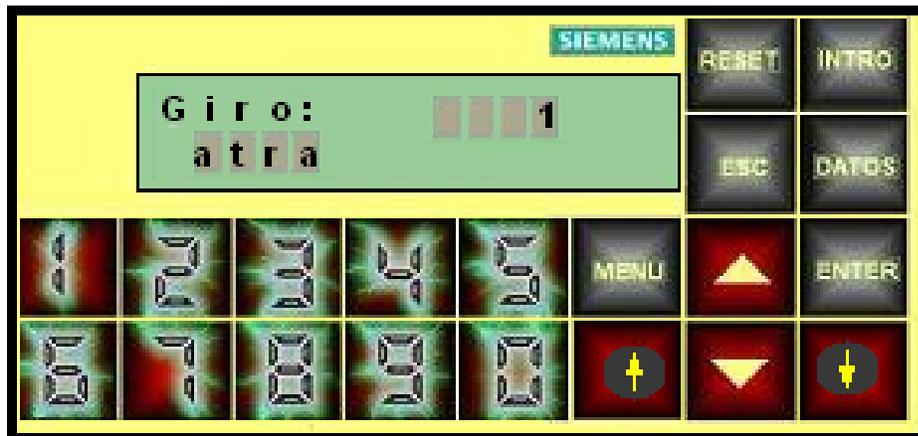
El acceso a este comando se lo realiza con las siguientes teclas de la pantalla:



Figura 162. Pantalla 2 (Giro adelante - 0)



Figura 163. Pantalla 2 (Giro atrás - 1)



d. Pantalla 3

Por medio de esta pantalla (Fig. 164 y 165), se enciende al motor principal del banco, este motor es el encargado de mover al eje principal y al cabezal a través de un sistema de bandas y poleas.

El acceso a este comando se lo realiza con las siguientes teclas de la pantalla:



Figura 164. Pantalla 3 (Motor principal apagado - 0)



Figura 165. Pantalla 3 (Motor principal prendido - 1)



e. Pantalla 4

Con la pantalla 4 (Fig. 166 y 167), se activa al sistema de conteo del número de vueltas que da el eje principal del banco, el mismo que se acopla directamente al eje de la bomba de inyección en el momento de realizar la comprobación de esta; por lo tanto, se efectúa el conteo del número de inyecciones (emboladas-strokes) que dan los elementos de bombeo. Al aplicar el conteo, también se activa al sistema de corte de combustible conformado por dos actuadores y una bandeja metálica. Esta pantalla debe ser activada una vez que se han introducido los datos en las pantallas de control 5 y 6 que programan las revoluciones de giro por minuto y el número de strokes que se quiere contar.

Ejemplo:

Si la prueba de verificación de una bomba de inyección, se debe realizar a 600 rpm y hay que contar 200 strokes-inyecciones; primero se hace girar a la bomba de inyección a las revoluciones especificadas (pantalla 5), una vez que ésta se encuentra girando a 600 rpm se introduce el dato de conteo, es decir las 200 inyecciones (pantalla 6) y finalmente se activa la pantalla 4 para que el banco accione el sistema de corte de combustible y cuente el número de inyecciones a las revoluciones correctas; luego de realizar el conteo se suspende automáticamente esta función y corta nuevamente el paso de combustible hacia las probetas de medición, pero el banco continúa haciendo girar a la bomba de inyección a las revoluciones programadas hasta recibir una nueva orden.

El acceso a este comando se lo realiza con las siguientes teclas de la pantalla:



Figura 166. Pantalla 4 (conteo: apagado - 0)



Figura 167 Pantalla 4 (conteo: iniciar - 1)



3.5.2.2 Parámetros de control

Este ítem tiene acceso a 2 pantallas (5-6), en las cuales se parametriza los datos de trabajo a los que va a funcionar el banco (nro. de rpm, nro. de strocks-inyecciones); la introducción de estos datos se efectúan según las especificaciones técnicas de comprobación que tiene cada bomba de inyección.

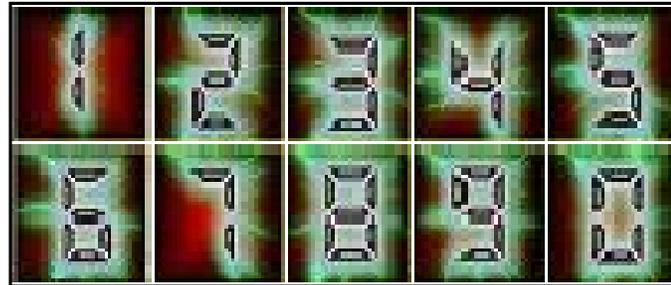
a. Pantalla 5

En esta pantalla (Fig. 168 y 169), se introduce el valor del número de revoluciones por minuto (rpm) a las que se quiere hacer girar a la bomba de inyección que se vaya a comprobar. Para fijar las revoluciones de giro, es necesario colocar a 1 esta pantalla, solo en esta posición el programa asimila los datos que quieran ser introducidos por medio del teclado de la pantalla; en la posición 0 la pantalla no recepta datos de parametrización.

El acceso a este comando se lo realiza con las siguientes teclas de la pantalla:



Cuando la pantalla 5 se encuentra activada (1), se ingresan los datos con el teclado numérico y para aceptar los valores insertados es necesario emplear la tecla INTRO que permite actualizar los datos del programa.



Teclado numérico: permite ingresar los valores de trabajo (RPM)



INTRO: actualiza los datos ingresados

Figura 168. Pantalla 5 (Fijar revoluciones: bloqueado - 0)

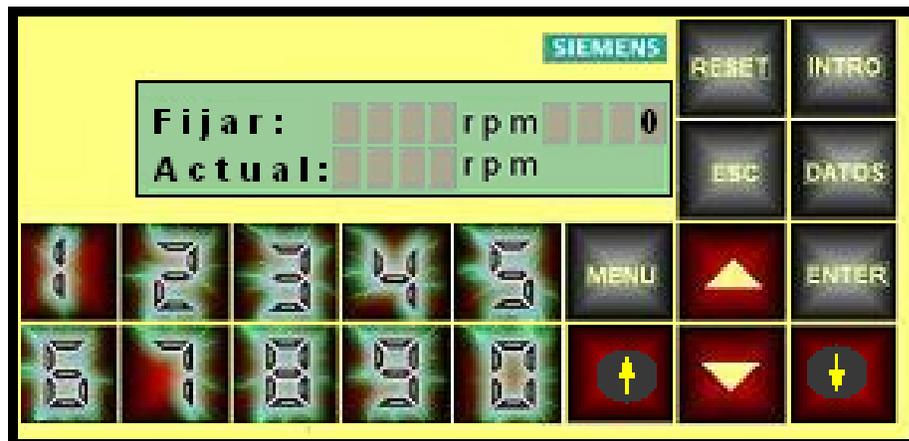
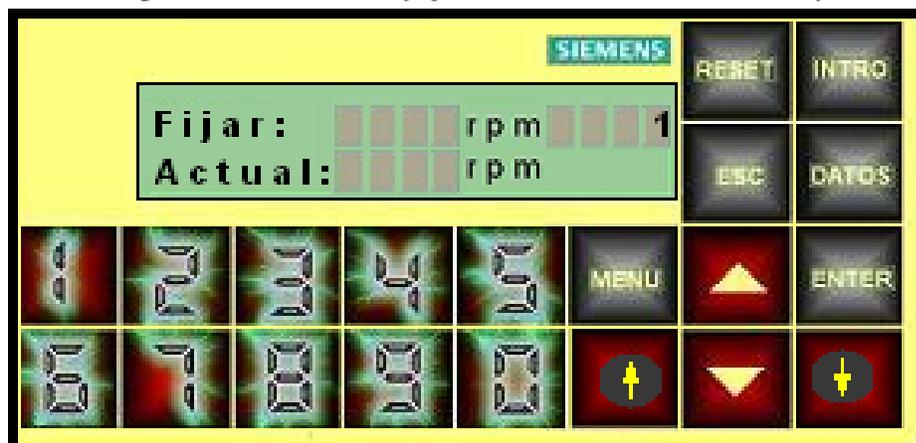


Figura 169. Pantalla 5 (Fijar revoluciones: activado - 1)



b. Pantalla 6

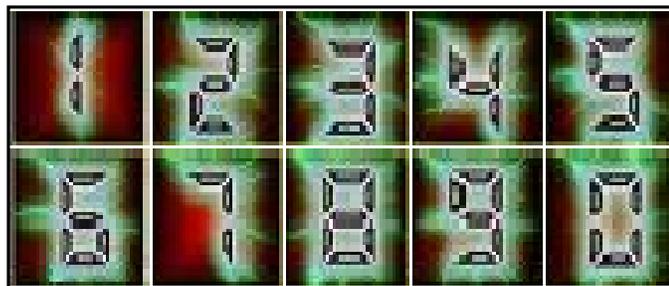
En esta pantalla (**Fig. 170 y 171**), se introduce el número de strockes o de inyecciones que debe contar el banco de pruebas a la velocidad de giro programada en la pantalla 5. Para introducir el número de strockes que se desea contar, primero se activa esta pantalla (colocándola a 1), posteriormente con el teclado se da el valor de strockes y finalmente se actualizan los datos con la tecla INTRO.

Con esta pantalla el banco de pruebas no inicia el conteo, únicamente asimila los datos introducidos; para iniciar el conteo se debe activar la pantalla 4, como se explico anteriormente mediante un ejemplo.

El acceso a este comando se lo realiza con las siguientes teclas de la pantalla:



Cuando esta pantalla se encuentra activada (1), se ingresan los datos con el teclado numérico y para aceptar los valores insertados es necesario emplear la tecla INTRO que permite actualizar los datos del programa.



Teclado numérico: permite ingresar los valores de trabajo (inyecciones)



INTRO: actualiza los datos ingresados

Figura 170. Pantalla 6 (Fijar vueltas o strocks : bloqueado - 0)

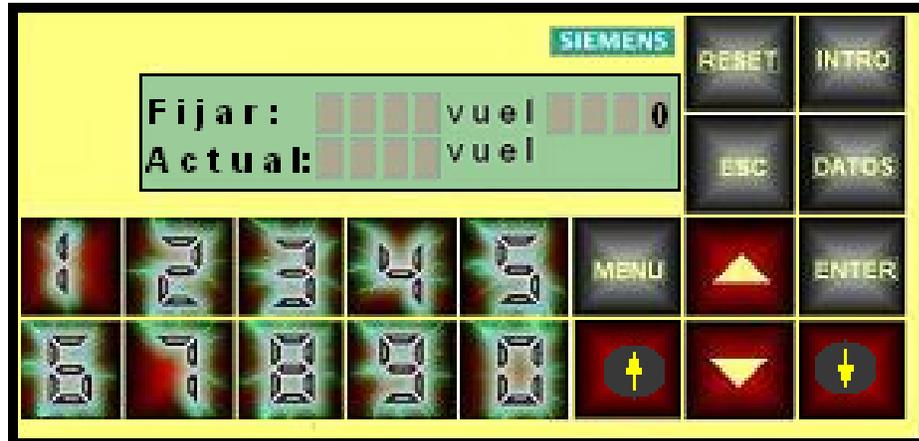


Figura 171. Pantalla 6 (Fijar vueltas o strocks: activado - 1)



3.5.2.3 Estado de funcionamiento

En este ítem se tiene acceso a 2 pantallas (7-8), las cuales permiten visualizar los últimos datos introducidos al banco de pruebas, el número de horas que ha funcionado el motor principal y la bomba hidráulica; además, sirve como alerta de mantenimiento gracias a la programación efectuada en el PLC que da a conocer mediante una alarma visual en la pantalla los mantenimientos necesarios que se deben realizar.

a. Pantalla 7

Por medio de esta pantalla (**Fig. 172**), se puede observar las revoluciones por minuto a las que está girando el eje principal del banco, los strocks programados y la temperatura del líquido de ensayo.

Figura 172. Pantalla 7 (Visualización: RPM, vueltas, °C)



b. Pantalla 8

En esta pantalla (**Fig. 173**), se puede verificar las horas de funcionamiento del motor principal, motor secundario, de la bomba de alimentación hidráulica; datos importantes para dar mantenimiento a los componentes del banco de pruebas.

Figura 173. Pantalla 8 (Visualización: horas de funcionamiento)



Estas son las pantallas que se pueden visualizar durante la operación del banco de pruebas y que permiten ejecutar el programa de control instalado en el PLC, activando y desactivando cada uno de los elementos que lo constituyen a través del teclado TD-200C gracias a su mutua intercomunicación.

Además, el banco dispone de paros de emergencia los cuales resetean todos los parámetros de operación, deteniéndolo inmediatamente.

CONCLUSIONES PARCIALES:

En este capítulo se han expuesto todas las pautas que permiten conocer a los elementos mecánicos, eléctricos e hidráulicos que constituyen el banco de pruebas, su función e importancia. También, se describieron los sistemas que controlan el banco y que complementan su correcto funcionamiento. Además, con la descripción de la secuencia de manejo que debe seguirse durante las operaciones y procesos de trabajo en el momento de montar un bomba de inyección para su verificación en el banco, se facilita que el técnico automotriz que esté al frente conozca y determine la capacidad de esta herramienta de comprobación y así efectuar todas las pruebas de forma simple y con los conocimientos necesarios para la operación del banco diseñado.

CAPÍTULO IV

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y DE HOMOLOGACIÓN DEL BANCO

INTRODUCCIÓN:

En el capítulo IV, se describen las pruebas principales que se elaboran durante la comprobación de una bomba de inyección en un banco de pruebas. En el caso del banco que ha sido diseñado y construido, es necesario primero verificar su correcto funcionamiento antes de ponerlo en actividad; es decir, que éste sea capaz de producir resultados similares a los de un banco tradicional. Para tal efecto, es fundamental realizar las pruebas de verificación en los tipos de bombas para las cuales ha sido diseñado el banco, estas son las de tipo A y las de tipo P de hasta seis cilindros. Las pruebas de comprobación de las bombas mencionadas deben efectuarse primero en un banco de un laboratorio diesel y luego bajo las mismas condiciones de comprobación deben realizarse en el banco construido. Los resultados de las pruebas obtenidas en el laboratorio van a servir como patrón de medición para los que se obtengan en el banco construido; al final de hacer las pruebas en ambos bancos éstos deben ser semejantes, de esta forma quedarían comprobados y verificados los resultados del proyecto de tesis.

4.1 Especificaciones y hoja de datos técnicos necesarios para el control de las bombas de inyección en el banco de pruebas.

Cuando se ha determinado, mediante las correspondientes pruebas de diagnóstico que la bomba de inyección no funciona correctamente, deberá procederse a su verificación individual en un banco de pruebas adecuado con el fin de determinar cual es el elemento defectuoso y proceder posteriormente a su reparación, sustitución o reglaje. Son muchos los síntomas de un mal funcionamiento del motor producidos por averías imputables a la bomba de inyección; entre ellos se tiene: el descenso de potencia del motor, los consumos excesivos de combustible, abundancia de humos, etc. Cada uno de ellos proviene de un determinado mecanismo, que deberá verificarse especialmente, realizando las oportunas pruebas de diagnóstico⁹⁹.

Las especificaciones de verificación y calibración para cada bomba vienen dadas por el fabricante de la misma mediante hojas o fichas con los datos técnicos, que permiten efectuar la comprobación de la bomba de inyección. En la **tabla 25**, se muestra la ficha¹⁰⁰ con los datos de identificación, comprobación y ajuste de la bomba de inyección tipo A, que va a ser montada en el banco del laboratorio y luego en el construido, para comprobar su funcionamiento.

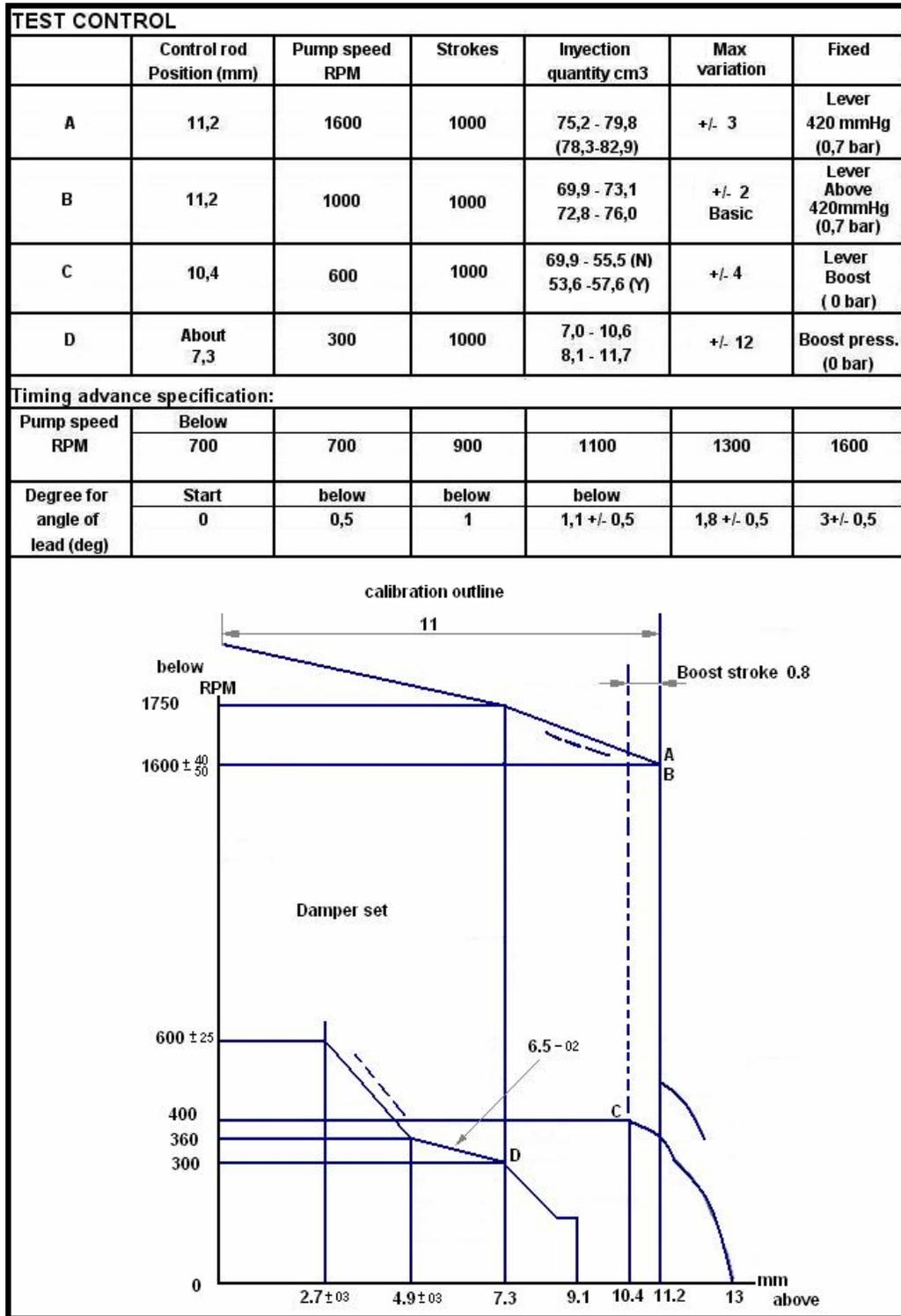
Tabla 25. Ficha técnica con los datos y condiciones de calibración de la bomba PES6A85C321RS2000NP tipo A (1 de 2)

PUMP CALIBRATION DATA:	
Engine model: FDGT	Ass'y Nro: 101681-9230
Company: Nissan	Date: Nov / 80
Nro: 16700-18560	
Injection pump: PES6A101068-3760 PES6A85C321RS2000NP	Governor: EP/RAD
Timing device: EPYSCD 105622-0740	105461-0060
TEST CONDITIONS	
Pump rotation: counter - clockwise viewed from drive side	
Nozzle : 105780-0000	Nozzle Holder: 105780-2080
(Bosch tipe Nro: DN12SD12T)	
Nozzle opening pressure: 175Kg/cm2	Transf. Pump pressure: 1,6kg/cm2
Injection pipe: Inner diameter 2mm- Outer diameter 6mm- Length 600mm	
Test oil: SAE J967C	
Oil temperature: 40+/- 5°C	Bosch oil: 0161V11 (Shell V-oil 1253)
Over flow valve opening pressure	
INYECTION TIMING	
Pre-Stroke Nro 1 plunger : 2,4 +/- 0,05mm	
Injection order: 1-4-2-6-3-5	(interval 60°)
Plunger are numbered from the drive gov. side.	

⁹⁹ ALONSO PEREZ. José Manuel. Técnicas del automóvil. Sistemas de inyección de combustible en los motores diesel. Madrid. Internacional Thomson editores. 2001. 312pgs.

¹⁰⁰ Ficha técnica 101681-9230. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca.

Tabla 25. Ficha técnica con los datos y condiciones de calibración de la bomba PES6A85C321RS2000NP tipo A (2 de 2)



¹⁰¹ Ficha técnica 101681-9230. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca.

En la **tabla 26**, se muestra la hoja¹⁰² con los datos de identificación, comprobación y ajuste de la bomba de inyección tipo P, que va a ser montada en el banco de pruebas del laboratorio y luego en el construido, para comprobar su funcionamiento.

Tabla 26. Datos y condiciones de calibración de la bomba PE6P100A7-20RS15 tipo P (1 de 4)

HOJA DE DATOS TÉCNICOS BOSCH (Modo de comprobación: Comprobar)						
Edición:		07_04_89				
Bomba de inyección		PE6P100A720RS15				
Regulador		RQ250/1100PA43DR				
Motor:		DAIMER-BENZ OM 355				
CONDICIONES DE ENSAYO						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
	Aceite de ensayo		ISO-4113			
	Temp. aceite de ensayo	°C	40,0	38	42	
	Válvula de rebose		1417413025			
	Presión de entrada	bar	1,5	1,5	1,5	
	Combinación porta-inyectores de ensayo		681343009			
	Presión de apertura	bar	173,5	172	175	
	Tubería impulsión de ensayo		1680750015			
	Diámetro exterior	mm	6			
	x diámetro interior	mm	3			
	x longitud	mm	600			
VALORES DE AJUSTE BOMBA DE INYECCIÓN - COMIENZO DE ALIMENTACIÓN						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
V	Pres. ensayo	bar	26	25	27	
V	Carrera regulación	mm	10,5	9	12	
U	Carrera previa (desde PMI)	mm	2,85	2,75	2,95	
	Orden de levas		1-5-3-6-2-4			
	Decalaje angular comienzo alimenta	°arb. levas	0-60-120			
			180-240-300			
U	Toler. Comproba.º arbol de levas	°arb. levas	0,75			
	Cilindros 1	°arb. levas	0			
	Cilindros 5	°arb. levas	60	59,25	60,75	
	Cilindros 3	°arb. levas	120	119,25	120,75	
	Cilindros 6	°arb. levas	180	179,25	180,75	
	Cilindros 2	°arb. levas	240	239,25	240,75	
	Cilindros 4	°arb. levas	300	299,25	300,75	
	Marca de comienzo de alimentación					
	Cilindro Nro.		1			
AJUSTE BÁSICO						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
	AJUSTE					
V	Régimen	1/min	1100			1100
V	Carrera regulación	mm	13,45	13,4	13,5	
V	Régimen	1/min	250			250
V	Carrera regulación	mm	8	7,9	8,1	
VAL. DE AJUSTE BOMBA DE INYECCIÓN CON REGULADOR ADOSADO RECORRIDO DE MANGUITO / POSICIÓN DE MANGUITO						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
	POSICIÓN DE MANGUITO					
V	Posición de palanca de mando grad.	°	-1			-1
V	Régimen	1/min	600			600
KAT: Categoría = (V= Valores estándar . E=Valor de ajuste. U = Valor de verificación)						

¹⁰² Ficha técnica PE6P100A720R515X. Laboratorio diesel Ecua-Chile. Cuenca. Ecuador.

Tabla 26. Datos y condiciones de calibración de la bomba PE6P100A7-20RS15 tipo P (2 de 4)

CAUDAL DE PLENA CARGA						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
V	Régimen	l/min	1100			1100
V	Presión carga	hPa	0			0
U	Caudal de suministro	cm ³ /1000c	117	114	120	
U	Dispersión	cm ³ /1000c	6			
REGULACIÓN LIMITADORA FINAL/REGULADOR DE GRUPO						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
	REGULACIÓN LIMITADORA FINAL					
V	Carrera regulación	mm	16			16
V	Carrera regulación	mm	12,4			12,4
V	Carrera regulación	mm	4			4
V	Carrera regulación	mm	0,5			0,5
REGIMEN DE RALENTI						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
	REGIMEN DE RALENTI SIN RESORTE					
	ADICIONAL					
V	Régimen	l/min	250			250
V	Régimen	l/min	100			100
U	Recorrido de regulación min.	mm	9,6			
	ENSAYO					
V	Régimen	l/min	250			250
V	Carrera regulación	mm	2			2
COMPENSACIÓN						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
V	Régimen	l/min	1100			1100
U	Carrera regulación	mm	13,45	13,4	13,5	
TOPE DE PLENA CARGA DEPENDIENTE DE LA PRESIÓN DE CARGA						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
	AJUSTE					
V	Presión	hPa	0			0
	ENSAYO					
V	Presión	hPa	0			0
V	Presión	hPa	0			0
V	Presión	hPa	0			0
CURVA CAUDAL ALIMENTACIÓN						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
V	Presión carga	hPa	0			0
V	Régimen	l/min	450			450
U	Caudal de suministro	cm ³ /1000c	100	95,5	104,5	
U	Dispersión	cm ³ /1000c	7			
CAUDAL DE ARRANQUE						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
V	Régimen	l/min	100			100
U	Caudal de suministro	cm ³ /1000c	150	136	164	
CAUDAL DE RÉGIMEN DE RALENTI						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
V	Régimen	l/min	250			250
U	Caudal de suministro	cm ³ /1000c	21	15,5	28,5	
U	Dispersión	cm ³ /1000c	5			
KAT : Categoría = (V= Valores estándar , E=Valor de ajuste, U = Valor de verificación)						

Tabla 26. Datos y condiciones de calibración de la bomba PE6P100A7-20RS15 tipo P (3 de 4)

HOJA DE DATOS TÉCNICOS BOSCH (Modo de comprobación: Ajustar)						
Edición:		07.04.89				
Bomba de inyección		PE6P100A720RS15				
Regulador		RQ250/1100PA43DR				
Motor:		DAIMER-BENZ OM 355				
CONDICIONES DE ENSAYO						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
	Aceite de ensayo		ISO-4113			
	Temp. aceite de ensayo	°C	40,0	38	42	
	Válvula de rebose		1417413025			
	Presión de entrada	bar	1,5	1,5	1,5	
	Combinación porta-inyectores de ensayo		681343009			
	Presión de apertura	bar	173,5	172	175	
	Tubería impulsión de ensayo		1680750015			
	Diámetro exterior	mm	6			
	x diámetro interior	mm	3			
	x longitud	mm	600			
VALORES DE AJUSTE BOMBA DE INYECCIÓN - COMIENZO DE ALIMENTACIÓN						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
V	Pres. ensayo	bar	26	25	27	
V	Carrera regulación	mm	10,5	9	12	
E	Carrera previa (desde PMI)	mm	2,85	2,8	2,9	
U	Carrera previa (desde PMI)	mm	2,85	2,75	2,95	
	Orden de levas		1-5-3-6-2-4			
	Decalaje angular comienzo alimenta	°arb. levas	0-60-120			
			180-240-300			
E	Tolerancia	°arb. levas	-0,5			
U	Toler. Comproba.° arbol de levas	°arb. levas	0,75			
	Cilindros 1	°arb. levas	0			
	Cilindros 5	°arb. levas	60	59,25	60,75	
	Cilindros 3	°arb. levas	120	119,25	120,75	
	Cilindros 6	°arb. levas	180	179,25	180,75	
	Cilindros 2	°arb. levas	240	239,25	240,75	
	Cilindros 4	°arb. levas	300	299,25	300,75	
	Marca de comienzo de alimentación					
	Cilindro Nro.		1			
AJUSTE BÁSICO						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
	AJUSTE					
V	Régimen	1/min	1000			1000
V	Carrera regulación	mm	9	8,96	9,1	
E	Caudal de suministro	cm ³ /100 c.	6,3	5,9	6,7	
E	Dispersión	cm ³ /100 c.	1			
V	Régimen	1/min	200			250
V	Carrera regulación	mm	9	8,9	9,1	
E	Caudal de suministro	cm ³ /100 c.	2,9	2,5	3,3	
E	Dispersión	cm ³ /100 c.	1			
VAL. DE AJUSTE BOMBA DE INYECCIÓN CON REGULADOR ADOSADO RECORRIDO DE MANGUITO / POSICIÓN DE MANGUITO						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
	POSICIÓN DE MANGUITO					
V	Posición de palanca de mando grad.	°	-1			-1
V	Régimen	1/min	600			600
E	Carrera regulación	mm	16	15,7	16,3	
CAUDAL DE PLENA CARGA						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
V	Régimen	1/min	1090			1090
V	Presión carga	hPa	0			0
E	Caudal de suministro	cm ³ /1000c	117	116	118	
U	Caudal de suministro	cm ³ /1000c	117	114	120	
E	Dispersión	cm ³ /1000c	3			
U	Dispersión	cm ³ /1000c	6			

Tabla 26. Datos y condiciones de calibración de la bomba PE6P100A7-20RS15 tipo P (4 de 4)

REGULACIÓN LIMITADORA FINAL/REGULADOR DE GRUPO						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
REGULACIÓN LIMITADORA FINAL						
V	Carrera regulación	mm	16			16
E	Régimen	1/min	600	600	600	
V	Carrera regulación	mm	12,4			12,4
E	Régimen	1/min	1145	1140	1150	
V	Carrera regulación	mm	4			4
E	Régimen	1/min	1210	1195	1225	
V	Carrera regulación	mm	0,5			0,5
E	Régimen	1/min	1350	1350	1350	
REGIMEN DE RALENTI						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
REGIMEN DE RALENTI SIN RESORTE ADICIONAL						
V	Régimen	1/min	250			250
E	Carrera regulación	mm	8	8	8	
V	Régimen	1/min	100			100
E	Recorrido de regulación min.	mm	9,6			
U	Recorrido de regulación min.	mm	9,6			
ENSAYO						
V	Régimen	1/min	250			250
E	Carrera regulación	mm	8	7,9	8,1	
V	Carrera regulación	mm	2			2
E	Régimen	1/min	430	410	450	
COMPENSACIÓN						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
V	Régimen	1/min	1100			1100
E	Carrera regulación	mm	13,45	13,4	13,5	
U	Carrera regulación	mm	13,45	13,4	13,5	
TOPE DE PLENA CARGA DEPENDIENTE DE LA PRESIÓN DE CARGA						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
AJUSTE						
V	Presión	hPa	0			0
ENSAYO						
V	Presión	hPa	0			0
V	Presión	hPa	0			0
V	Presión	hPa	0			0
CURVA CAUDAL ALIMENTACIÓN						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
V	Presión carga	hPa	0			0
V	Régimen	1/min	450			450
E	Caudal de suministro	cm3/1000c.	100	98	102	
U	Caudal de suministro	cm3/1000c.	100	95,5	104,5	
E	Dispersión	cm3/1000c.	5			
U	Dispersión	cm3/1000c.	7			
CAUDAL DE ARRANQUE						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
V	Régimen	1/min	100			100
E	Caudal de suministro	cm3/100c.	15	14	16	
U	Caudal de suministro	cm3/1000c.	150	136	164	
CAUDAL DE RÉGIMEN DE RALENTI						
KAT	Denominación	Unidad	Valor teórico	min.	max.	Valores reales
V	Régimen	1/min	250			250
E	Caudal de suministro	cm3/1000c.	21	18	24	
U	Caudal de suministro	cm3/1000c.	21	15,5	26,5	
E	Dispersión	cm3/1000c.	3			
U	Dispersión	cm3/1000c.	5			

KAT : Categoría (V =Valores estándar . E=Valor de ajuste. U = Valor de verificación)

4.2 Pruebas de las bombas de inyección que deben realizarse en un banco

Para efectuar las pruebas en el banco, es esencial tener un ambiente que reúna las condiciones necesarias como por ejemplo que esté libre de polvo y suciedad, poseer las herramientas y útiles especiales, información y datos precisos, así como la experiencia y conocimientos, antes de realizar cualquier intervención de importancia sobre una bomba de inyección.

De acuerdo al diseño del banco construido, éste está en la capacidad de efectuar las pruebas de verificación en las bombas tipo A y P. Cada bomba de inyección debe ser sometida a una verificación preliminar, cuyo objetivo principal es determinar el estado de desgaste del o de los elementos de bombeo, lo cual se realiza con la ayuda del banco y a continuación se efectúan una serie de pruebas que permiten establecer los defectos existentes. Posteriormente, se procede al desarmado y reparación de los componentes defectuosos, realizando después el armado y los reglajes pertinentes, antes de volver a probar la bomba en el banco, donde se verificará:

- * Control de fugas en la galería de alimentación
- * Presión de transferencia
- * Estanqueidad del elemento de bombeo
- * Verificación de caudales en los distintos elementos de bombeo
- * Sincronización de las inyecciones
- * Verificación del sistema de avance a la inyección
- * Determinación del punto de inyección para el primer cilindro
- * Verificación del regulador de velocidad.

Las pruebas de verificación que han sido citadas, difieren según el tipo de bomba, así como de las características técnicas de las mismas, por cuya causa deberán seguirse estrictamente las normas preconizadas por los fabricantes en los manuales correspondientes¹⁰³. A continuación se describe el proceso de ejecución de cada una de las pruebas:

¹⁰³ ALONSO PEREZ. José Manuel. Técnicas del automóvil. Sistemas de inyección de combustible en los motores diesel. Madrid. Internacional Thomson editores. 2001. 312pgs.

4.2.1 Control de fugas en la galería de alimentación

Este control debe realizarse con el fin de determinar si existen fugas de combustible hacia el interior del cuerpo de la bomba (que se mezclaría con el aceite de engrase), o al exterior, para lo cual se conectará la entrada de combustible de la bomba de inyección con la salida de alimentación de combustible del banco de pruebas, se purga el circuito y se obtura el orificio de rebose de la bomba de inyección; finalmente se enciende la bomba de alimentación enviando el combustible a presión (20bar). En estas condiciones, la presión debe mantenerse durante algún tiempo después de dejar de alimentar con el combustible, pues en caso contrario es síntoma de fuga de combustible, que será detectado por fugas externas o por el aumento del nivel de aceite del cárter de la bomba y deterioro del mismo¹⁰⁴.

4.2.2 Control de estanqueidad del elemento de inyección

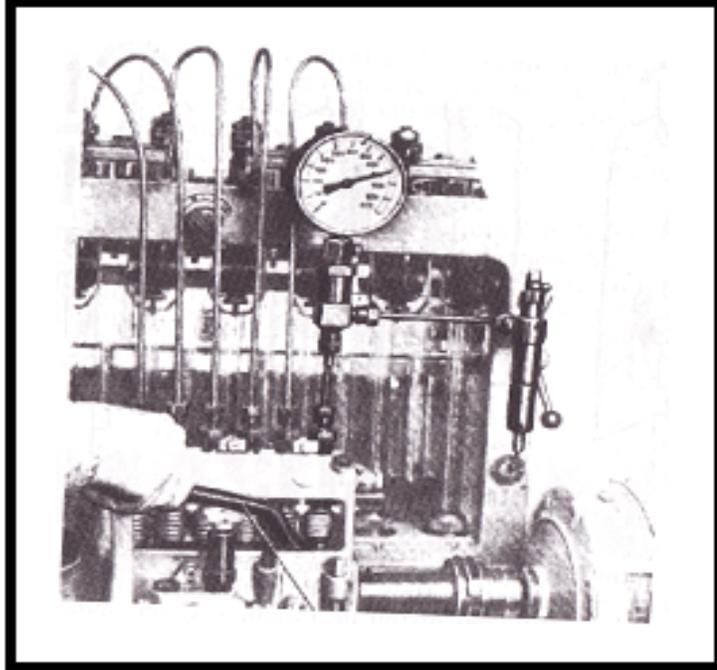
Este control permite detectar rápidamente si el elemento de inyección se encuentra en perfectas condiciones o si es necesario sustituirlo, evitando pérdidas de tiempo en inútiles operaciones de calibración. Para llevar a cabo esta prueba, se dispone un manómetro sobre el objeto de ensayo, después de purgado el sistema de alimentación de la bomba. En estas condiciones, se lleva el pistón del elemento a su PMI, mediante rotación del eje de mando de la bomba y la barra cremallera a la posición de máximo caudal.

Actuando sobre el platillo de fijación del elemento de inyección con una palanca (**Fig.174**), se desplazará el pistón hasta el PMS, observando en el manómetro la presión alcanzada, que deberá ser la especificada por el fabricante, y en todo caso, superior a la presión nominal de apertura del inyector que equipa a este tipo de motor. Manteniendo el pistón en el PMS, la presión en el manómetro no debe descender. Lo contrario indicaría fugas en el elemento, lo que implicaría la sustitución del mismo. En algunos casos en esta prueba se dispone un inyector en paralelo con el manómetro que actúa como una válvula de seguridad. Este inyector

¹⁰⁴ ALONSO PEREZ. José Manuel. Técnicas del automóvil. Sistemas de inyección de combustible en los motores diesel. Madrid. Internacional Thomson editores. 2001. 312pgs.

está calibrado a una presión de apertura superior a la de la prueba, e inferior a la máxima admitida por el manómetro¹⁰⁵.

Figura 174. Control de estanqueidad del elemento de inyección



4.2.3 Control del inicio y final de la inyección y el desfase de la bomba

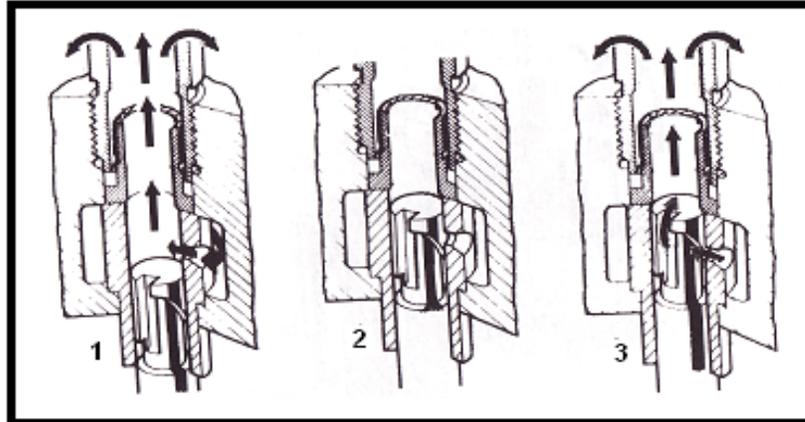
Esta prueba debe efectuarse siempre que se desmonta la bomba de inyección o alguno de sus elementos. Se trata con ello de regular la posición del pistón de bombeo de cada elemento, de manera que respecto a los restantes la inyección termine en el instante preciso y el caudal inyectado sea igual al de los otros elementos. Para que esto se cumpla, la carrera del pistón de bombeo en la cual los orificios están cerrados (carrera útil) deberá ser idéntica en todos los elementos. También debe controlarse en este tipo de bombas el desfase entre los inicios de inyección entre los diferentes elementos de bombeo.

Para efectuar estas verificaciones, una vez montada la bomba sobre el banco de pruebas, se procederá a hacer funcionar el mismo durante un tiempo suficiente para que los elementos de bombeo alcancen su temperatura normal de funcionamiento.

¹⁰⁵ ALONSO PEREZ. José Manuel. Técnicas del automóvil. Sistemas de inyección de combustible en los motores diesel. Madrid. Internacional Thomson editores. 2001. 312pgs.

Finalizado este precalentamiento se procederá a desmontar el tubo de alta presión del elemento n° 1, así como su válvula de retención, llevando además la cremallera a su posición de máximo suministro. Con ello queda preparada la bomba para realizar la comprobación de inicio y final de inyección del elemento n° 1.

Figura 175. Posiciones de la rampa helicoidal del elemento de bombeo

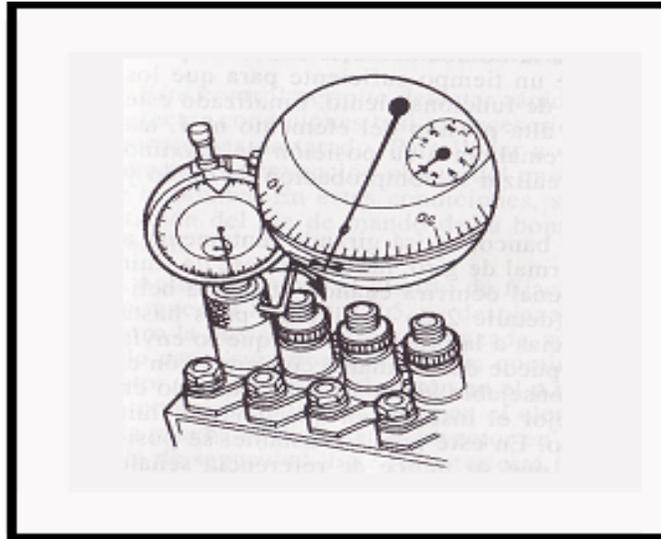


Teniendo conectada la bomba de alimentación del banco de pruebas, se irá girando lentamente a mano el árbol de mando de la bomba, en el sentido normal de giro, hasta que cese de fluir combustible del elemento de bomba (**Fig.175**), lo cual ocurrirá cuando la rampa helicoidal del pistón tape los orificios de alimentación (**detalle 2**), pues hasta tanto esto ocurre (**detalle 1**), el combustible fluye gracias a la presión con la que lo envía la bomba de alimentación del banco. De esta manera puede determinarse con precisión el inicio de la carrera de inyección. No obstante, es aconsejable situar un tubo curvado (tipo cuello de cisne), con el fin de observar mejor el instante en que deja de fluir combustible. En este preciso instante, se posicionará el tambor graduado del banco de manera que su índice de referencia señale exactamente el cero.

Seguidamente se continuará la rotación, siempre lenta, del árbol de mando de la bomba, hasta que comience nuevamente a fluir combustible del elemento, en cuyo instante (**detalle 3**) termina la carrera útil del pistón de bombeo. Efectuando la lectura sobre el tambor graduado, se determinará el valor del ángulo de giro correspondiente a la carrera útil. En este mismo instante se controlará la posición del pistón con respecto al PMI, que deberá ser la especificada por el fabricante.

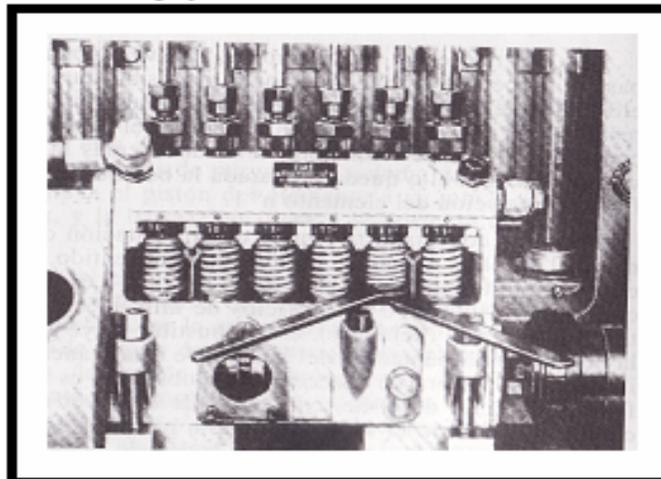
Para realizar esta prueba, se situará en la salida del elemento un reloj comparador (**Fig.176**), de manera que su palpador se apoye en la cabeza del pistón de bombeo. Seguidamente, se girará el árbol de mando de la bomba en sentido contrario al de su rotación normal, hasta determinar con el comparador el PMI. La magnitud de carrera así obtenida debe ser la especificada por el fabricante. Si no fuese así, deberá efectuarse un reglaje del taqué de mando del elemento, para conseguir el valor estipulado de esta carrera.

Figura 176. Medición de la carrera útil del elemento de bombeo



En la **figura 177**, se muestra la disposición de las herramientas necesarias para realizar el reglaje de esta prueba.

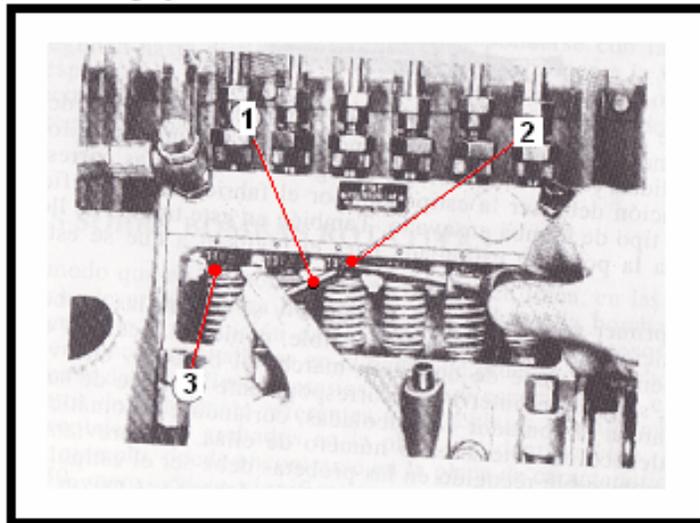
Figura 177. Reglaje de recorrido del elemento de bombeo



A continuación, se procederá a verificar el elemento siguiente en el orden de inyección de la bomba, determinando en la forma ya descrita el inicio de la inyección del mismo, que debe producirse con el desfase adecuado con respecto al elemento N° 1 (90° en el caso de bombas de cuatro cilindros, 60° en el caso de bombas de seis cilindros), así como el final de la inyección. Si el desfase no es el adecuado se procederá a la regulación actuando sobre los tornillos de reglaje del taqué correspondiente (bomba tipo A) o sobre las lanas de calibración de los racores (bomba tipo P). La tolerancia máxima admisible es de $\pm 1^\circ$.

Se comprobará también en este elemento la carrera útil del émbolo, determinada en la rotación del tambor graduado por el inicio y final de la inyección. Si el ángulo recorrido no resulta igual al del elemento N° 1, deberá efectuarse la regulación oportuna actuando sobre el reglaje de posicionamiento de la rampa del émbolo con respecto a la cremallera, lo cual se realiza (**Fig.178**) haciendo girar levemente la camisa (3) del elemento de bombeo (2) (según el tipo de bomba), en sentido conveniente. Valores superiores a la tolerancia máxima admisible ($\pm 0.5^\circ$) requiere corrección de reglaje.

Figura 178. Reglaje de la carrera util del elemento de bombeo



1.Herramienta de reglaje 2.Elemento de bombeo 3.Camisa

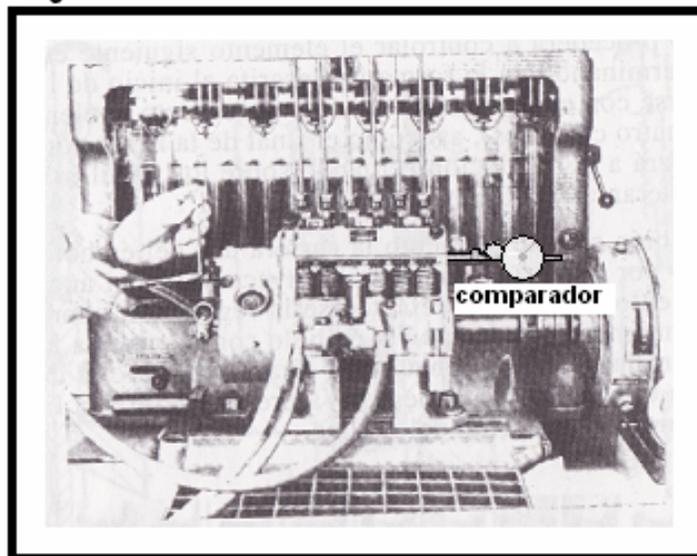
Seguidamente, se verifican los restantes elementos de la bomba, siguiendo la pauta marcada. Finalmente, se comprobará para todos los elementos de la bomba que en la posición de PMS, del émbolo queda un juego superior a 0,3mm entre la cabeza y el

alojamiento de la válvula de retención, que supone la tolerancia necesaria para evitar el contacto entre ambas piezas.

4.2.4 Control y reglaje del caudal de inyección

Una bomba de inyección puede considerarse reglada en cuanto a caudal se refiere, cuando los valores obtenidos en caudal máximo y mínimo corresponden a las prescripciones del fabricante, aunque también es conveniente realizar una verificación a un régimen medio. Antes de realizar estas pruebas, deberá desconectarse el regulador de velocidad y adaptarse un comprobador en la cremallera (**Fig.179**), con el fin de medir el desplazamiento de la misma, mientras se realiza la verificación siguiendo los datos del fabricante.

Figura 179. Medición del recorrido de la cremallera



Luego, se pone en marcha el banco a un régimen medio de arrastre de la bomba, durante al menos 10 minutos, observando que el suministro de los elementos se produce con normalidad y el combustible se recoge en las probetas correspondientes. La presión de alimentación debe ser la estipulada por el fabricante en las fichas de control correspondientes al tipo de bomba ensayada. También, en esta prueba se lleva la cremallera de la bomba a la posición estipulada para el régimen al que se está realizando la verificación.

Efectuado este primer control, se para el banco y se vacían las probetas, dejándolas nuevamente en posición de recogida de combustible, colocando a cero el contador de emboladas. Luego, se pone de nuevo en marcha el banco y una vez alcanzado el régimen de prueba, se pulsa el interruptor correspondiente al inicio de suministro, con el cual se pone en marcha el contador de emboladas, cortándose automáticamente el suministro cuando se alcance un determinado número de ellas, que previamente habrá sido seleccionado.

El combustible recogido en las probetas debe ser el estipulado por el fabricante y la dispersión entre los distintos elementos no deberá ser mayor de 0.4cm^3 cada 100 emboladas. En caso de anomalías deberá calibrarse el elemento defectuoso actuando sobre el reglaje de posicionamiento de la rampa del pistón de bombeo (**Fig.178**).

Esta verificación se realizará también, ineludiblemente para los regímenes máximo y mínimo de la bomba. Para el régimen máximo, si el caudal inyectado no fuese correcto, se actuará sobre el tornillo tope de final de recorrido de la cremallera, como se muestra en la **figura 179**. Cuando no es posible obtener los valores de caudal máximo y mínimo en un elemento determinado (comprendidos en las tolerancias establecidas), la dispersión debe atribuirse a un defecto de la válvula de retención, o a la insuficiente estanqueidad del elemento en cuestión, que deberá ser sustituido¹⁰⁶.

4.2.5 Verificación y ajuste del regulador de velocidad

Deberá verificarse la calibración del regulador a la velocidad máxima y el funcionamiento del mismo a la de ralenti. Para efectuar estas pruebas, se hará girar el banco a la velocidad máxima preconizada, estando la cremallera en posición de máximo caudal. En estas condiciones, debe observarse un desplazamiento de la cremallera en dirección a suministro mínimo cuando se alcance el régimen máximo estipulado. Para observar este detalle con mayor precisión, se actuará sobre el banco de manera que la subida del régimen cerca del máximo sea lo más lenta posible. En caso de ser necesaria una regulación, se actuará sobre los tornillos de reglaje de los

¹⁰⁶ ALONSO PEREZ. José Manuel. Técnicas del automóvil. Sistemas de inyección de combustible en los motores diesel. Madrid. Internacional Thomson editores. 2001. 312pgs.

muelles del regulador, con el fin de modificar su fuerza, adaptándola al valor conveniente.

Para verificar el funcionamiento del regulador en ralentí, se pondrá el banco al régimen de giro estipulado y la cremallera en posición de mínimo caudal. En estas condiciones, variando ligeramente el régimen del banco por encima y debajo del correspondiente al ralentí, deberá producirse un ligero desplazamiento de la cremallera en el sentido adecuado. Si el régimen aumenta, la cremallera se desplazará hacia caudal mínimo y viceversa.

4.2.6 Verificación y ajuste del variador de avance de la inyección

Para realizar esta verificación es necesario poseer una lámpara estroboscópica, cuyo captador se acopla a la tubería de alta presión de uno de los elementos de inyección, del cual recoge los impulsos que se producen en el instante de la inyección, que posteriormente son transformados en destellos luminosos de la lámpara.

Estando el banco de pruebas girando a ralentí, se apunta el destello a la marca de cero del tambor graduado del banco, que debe corresponderse con la referencia fija. Aumentando el régimen hasta distintos valores, podrá determinarse la variación del avance, que debe corresponder en cualquier caso a los valores estipulados por el fabricante. Si no fuese así, se actuará sobre los muelles antagonistas del variador, de manera similar a la descrita en el regulador de velocidad¹⁰⁷.

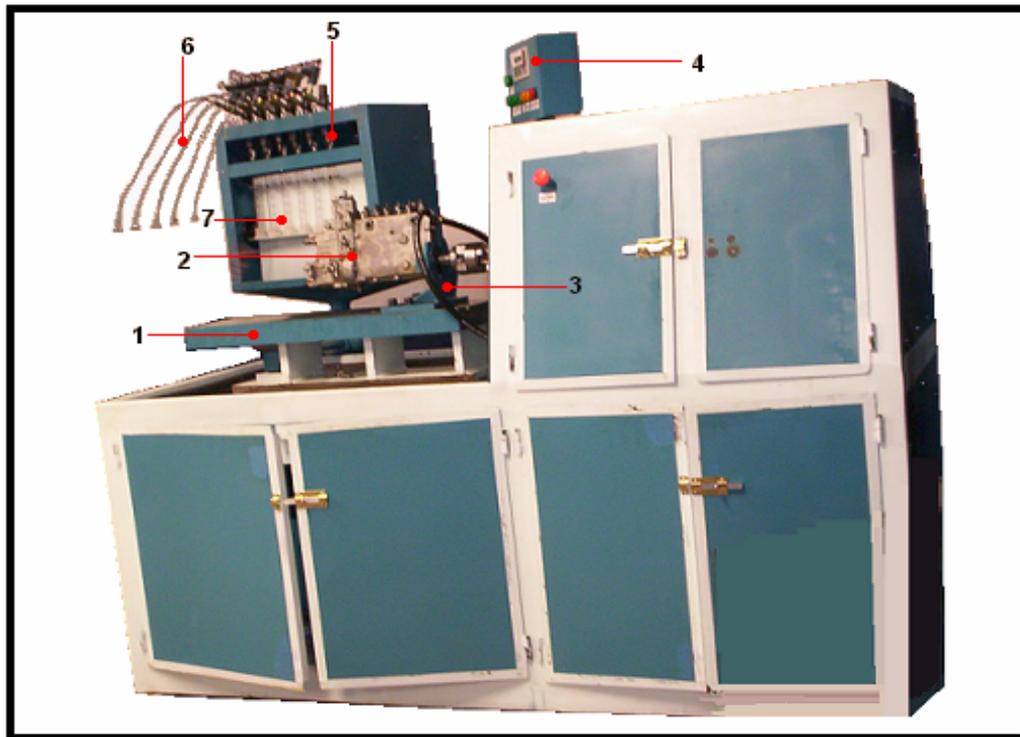
Todas estas pruebas pueden ser realizadas en el banco construido, siempre y cuando se tengan disponibles ciertas herramientas especiales (lámpara estroboscópica, comparadores, etc)

¹⁰⁷ ALONSO PEREZ. José Manuel. Técnicas del automóvil. Sistemas de inyección de combustible en los motores diesel. Madrid. Internacional Thomson editores. 2001. 312pgs.

4.3 Montaje de la bomba de inyección en el banco de pruebas

El banco de pruebas construido (**Fig. 180**), dispone de una plataforma (1) donde se fija la bomba de inyección (2) por medio de una base de sujeción (3). El movimiento de la bomba se realiza por medio de un motor eléctrico y la velocidad de rotación es visualizada gracias a una pantalla (4). La alimentación de combustible a la bomba de inyección está asegurada por una bomba hidráulica situada en el banco, capaz de suministrar el combustible a la presión necesaria para efectuar las diferentes verificaciones.

Figura 180. Banco de pruebas construido



1.Mesade sujeción
4.Pantalla TD-200C

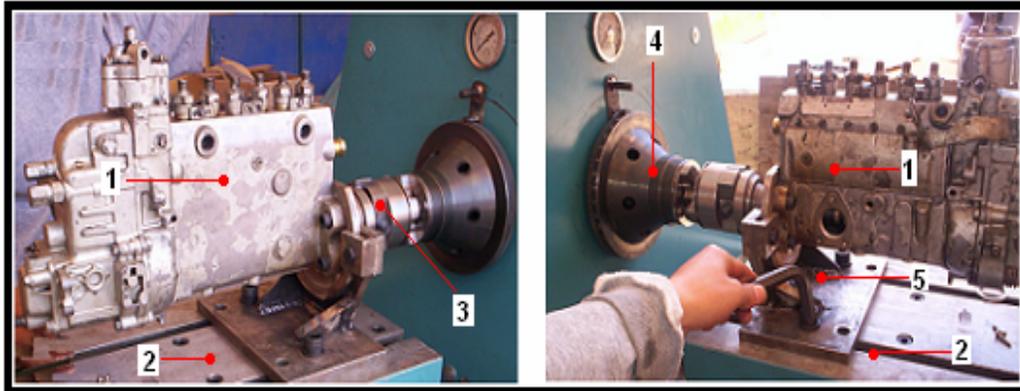
2.Bomba de inyección
5.Inyectores

3.Base de sujeción
6.Cañerías
7.Probetas

En el banco se disponen también los inyectores de prueba (5), a los que se conectan cada uno de los racores de la bomba por medio de cañerías adecuadas (6). Cada uno de estos inyectores vierte el combustible en una probeta graduada (7), que puede ser vaciada después de cada prueba. El número de inyecciones efectuadas se controla mediante un sensor montado en el eje del motor principal y se visualiza en la pantalla (4).

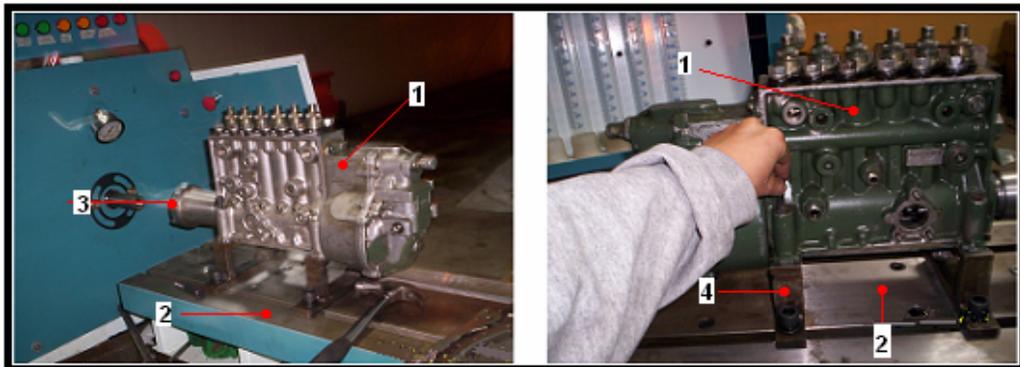
En las **figuras 181 y 182**, se muestra el montaje de las bombas de inyección tipo A y P respectivamente, en el banco de pruebas. La diferencia de montaje que hay entre los dos tipos de bombas son básicamente los conos de unión y las bases de sujeción que se emplea para cada tipo de bomba. En la **figura 109** (Pg.178), se observa la base de sujeción para las bombas tipo A y en la **figura 110** (Pg. 178), se observa la base de sujeción para las bombas tipo P; los conos de transmisión o de unión para cada tipo de bomba pueden verse en la **figura 111** (Pg.179).

Figura 181. Montaje de la bomba de inyección tipo A en el banco de pruebas



1.Bomba de inyección tipo A 2.Mesa de sujeción 3.Mecanismo de acople plástico
4.Cabezal y tambor graduado 5.Base de sujeción para el montaje de la bomba tipo A

Figura 182. Montaje de la bomba de inyección tipo P en el banco de pruebas



1.Bomba de inyección tipo P 2.Mesa de sujeción 3.Cono de transmisión 4.Base de sujeción para el montaje de la bomba tipo P

4.4 Pruebas de homologación del banco

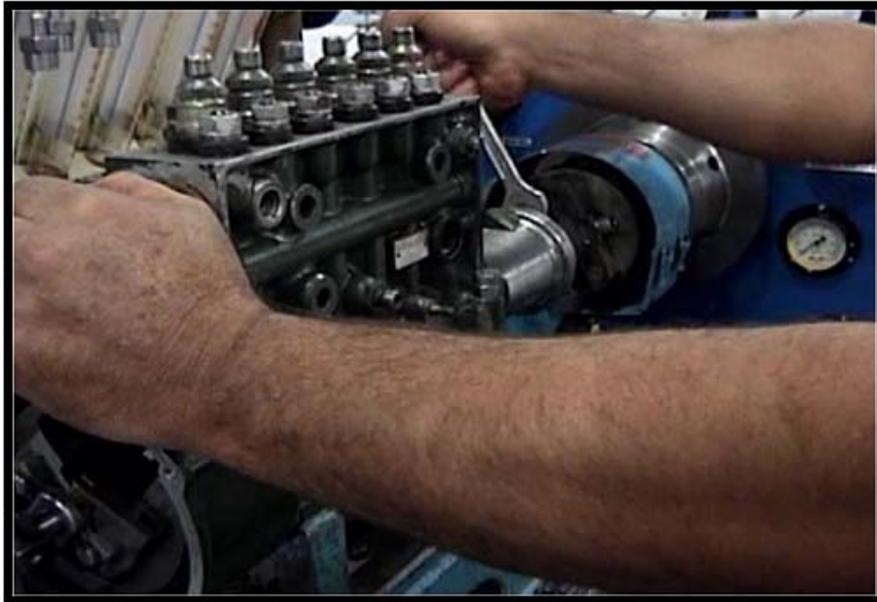
Finalizado el montaje de la bomba de inyección se procederá a probar su funcionamiento en el banco de pruebas, donde se realizan diferentes controles de acuerdo al tipo de bomba con la que se esté trabajando. Con el objeto de verificar el correcto funcionamiento del banco de pruebas diseñado, se va a comprobar dos bombas de inyección una tipo A y otra tipo P, primero en el banco de un laboratorio

y luego en el banco construido. Los objetivos finales son poder efectuar todas las pruebas de verificación y obtener similares resultados en los dos bancos de ensayo.

4.4.1 Pruebas realizadas en la bomba de inyección tipo P en el banco del laboratorio diesel

En el banco de pruebas del laboratorio¹⁰⁸, se procedió al montaje de la bomba de inyección PE6P100A720RS15 tipo P (**Fig.183**), para efectuar las siguientes comprobaciones:

Figura 183. Montaje de la bomba PE6P100A720RS15 tipo P en el laboratorio diesel



4.4.1.1 Verificación del estado de los elementos de bombeo

Mediante esta prueba preliminar se puede conocer el estado en el que se encuentran los elementos de bombeo, antes de efectuar las demás pruebas de verificación.

El proceso de trabajo de esta prueba es:

- Una vez que se han ajustado las bases que sujetan la bomba al banco se coloca la manguera de alimentación (**Fig. 184**).
- Abrir los conductos auxiliares de las cañerías para observar la caída del combustible a través de los mismos (**Fig. 185**).

¹⁰⁸ Banco de pruebas marca Bosch del Laboratorio Ecu-Chile. Cuenca Ecuador.

Figura 184. Conexión de la manguera de alimentación

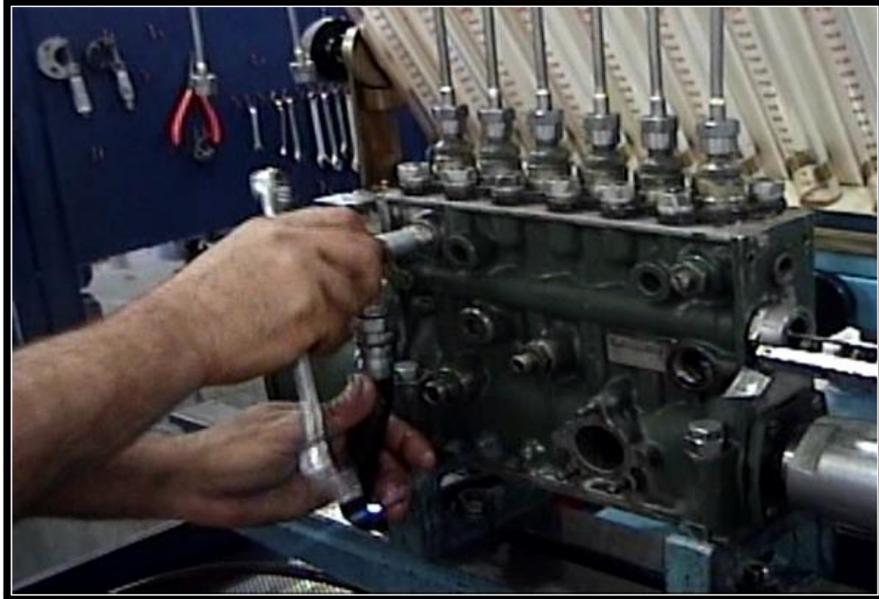
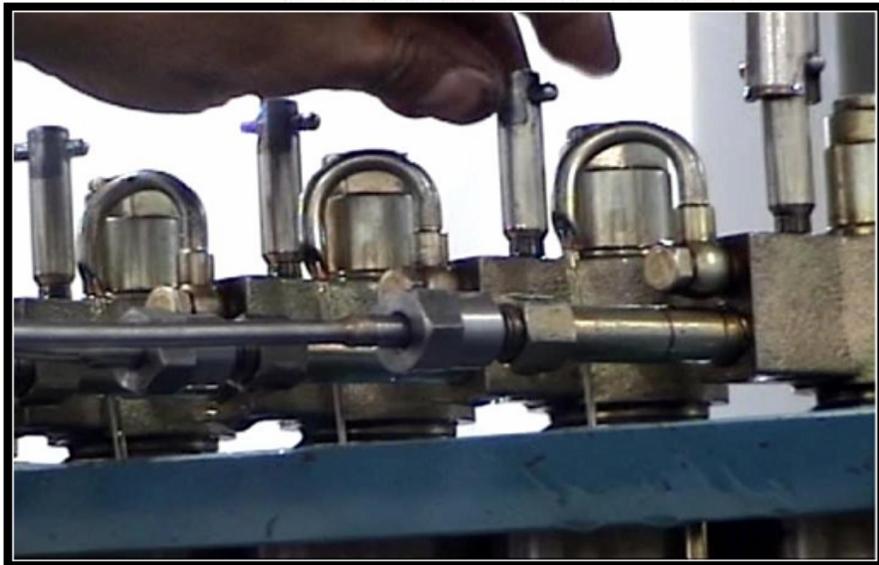
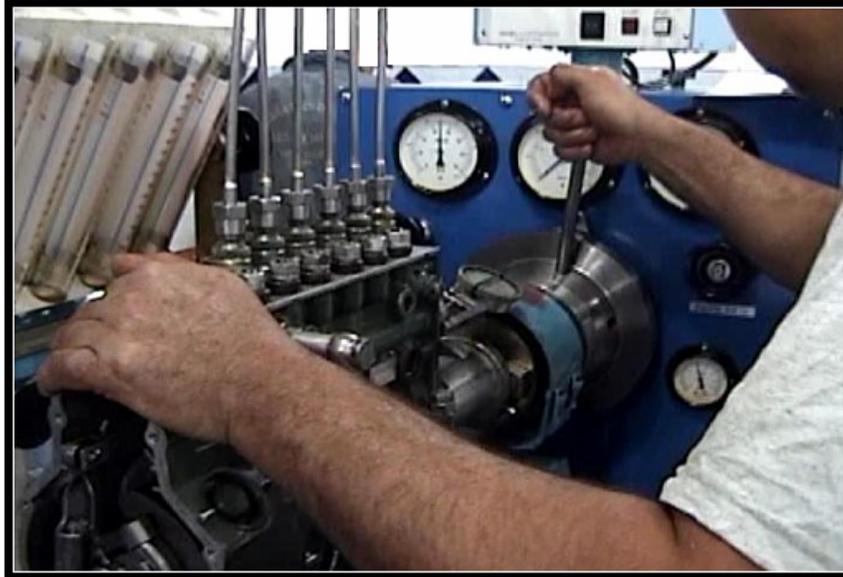


Figura 185. Conductos auxiliares de las cañerías



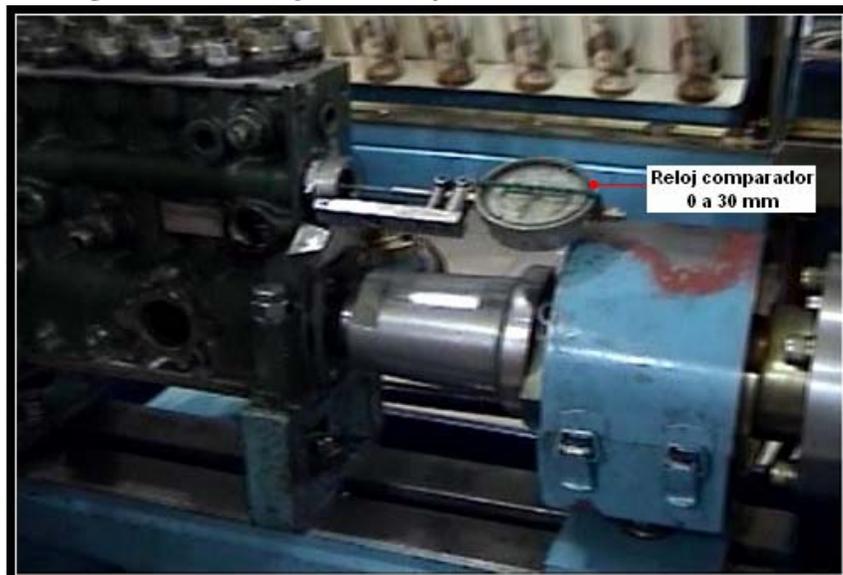
- Encender el banco de pruebas, colocar la cremallera de la bomba a fondo (máximo suministro), enviar una presión de 35 bares, para vencer la resistencia de los muelles y abrir las válvulas de impulsión. Con esto se consigue primero purgar la bomba y luego haciendo girar con la mano lentamente el cabezal (**Fig.186**) se conoce el estado de cada elemento mediante la observación de corte del chorro que cae por los conductos auxiliares; si éste durante el giro del cabezal no se corta o no gotea el elemento se encuentra en mal estado. El corte debe efectuarse en cada elemento de acuerdo al orden de inyección y se da en intervalos de 60° para esta bomba que es de seis cilindros ($360/6=60^\circ$).

Figura 186. Movimiento del cabezal a mano

Luego de efectuar esta prueba, se determinó que los elementos de bombeo se encuentran en regular estado, la bomba de inyección no va a rendir al máximo; pero si con la suficiente capacidad para funcionar en un motor, por lo tanto se pasa a realizar las demás pruebas de control.

4.4.1.2 Prueba de pre-stroke (carrera del elemento)

Luego de purgar la bomba y verificar el estado de los elementos se apaga el banco y se monta un comparador sobre la cremallera para medir su desplazamiento durante el transcurso de esta prueba (**Fig.187**). Además la tapa del regulador mecánico debe ser desmontada.

Figura 187. Montaje del comparador sobre la cremallera

- Ahora, se procede a desmontar el racor del cilindro nro 1 y la válvula de impulsión del mismo (**Fig.188**).

Figura 188. Desmontaje del racor y de la válvula de impulsión del cilindro Nro. 1



- En lugar del racor desmontado se coloca un acople (**Fig. 189**) que lleva un tubo en forma de cuello de cisne y en la parte superior se ubica un comparador que tiene como función medir el recorrido o carrera útil del elemento de bombeo.

Figura 189. Montaje del comparador para medir la carrera útil del elemento Nro.1



- A continuación se vuelve a encender el banco, la presión de alimentación es mínima sin embargo esta va a caer a cero ya que el combustible sale por el tubo cuello de cisne.

- En este momento, se coloca el recorrido de la cremallera de acuerdo a lo especificado en la ficha técnica (**Tabla 26**) y se hace girar lentamente a mano el cabezal de la bomba (**Fig. 186**) para medir la carrera del elemento de bombeo. La carrera útil es medida desde el momento en el que cae el chorro del líquido de prueba por el tubo cuello de cisne hasta que este se corte y comience a gotear.

De acuerdo a la ficha técnica¹⁰⁹, las condiciones para esta prueba son:

Carrera de regulación (cremallera):	10,5mm (teórico)	9mm (min.)	<u>12mm</u> (max)
Carrera previa (desde PMI):	2,85mm (teórico)	2,8mm (min)	2,9mm (max)
Presión de alimentación:	1,5 bar (teórico)		
Sin regulador mecánico			

El resumen de los resultados de esta prueba se muestra en la **tabla 27**.

Tabla 27. Resultados obtenidos en la prueba de pre-stroke

Dato Obtenido:
Carrera del elemento N°1: 2,95mm.
Recomendación:
Para corregir esta carrera PMI a PMS, es necesario bajar la medida de las laines colocadas en el racor (Fig. 190) y que regulan el recorrido del elemento, para ello se quita 0.20 mm mediante la sustitución de la laina de 0.60 mm por una de 0.40 mm, en este caso.
Resultado luego de la calibración:
Carrera útil del elemento Nro 1: 2,85mm

Figura 190. Laines de calibración de la carrera útil del elemento de bombeo



¹⁰⁹ Ficha técnica PE6P100A720R515X. Laboratorio diesel Ecua-Chile. Cuenca. Ecuador.

4.4.1.3 Control del inicio y final de la inyección y del desfase de la bomba

Mediante esta prueba se realiza la calibración de la carrera útil de los demás elementos de bombeo.

El proceso de trabajo es el siguiente:

- Una vez realizada la prueba de pre-stroke, se monta nuevamente los componentes del cilindro n°1 (válvula de impulsión y racor), y se da un torque de apriete de 7kgf (Fig.191).

Figura 191. Montaje del racor con una herramienta de torque

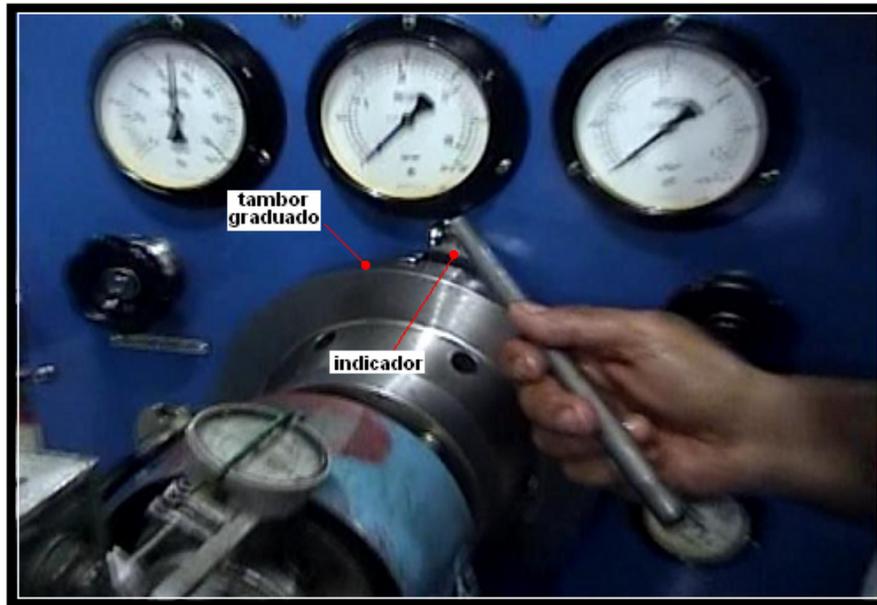


- Luego, se verifica que todas las cañerías estén acopladas a cada cilindro y que el elemento del primer cilindro se encuentre en la posición de fin de la inyección, entonces se acerca el tambor graduado del banco de pruebas con la señal fija que este tiene (Fig.192).

- Finalmente se pone en marcha el banco y se aplica la siguientes condiciones¹¹⁰ de prueba:

Presión de ensayo :	26bar (teórico)	25bar (min)	27bar (max)
Recorrido de la cremallera:	12mm		

¹¹⁰ Ficha técnica PE6P100A720R515X. Laboratorio diesel Ecua-Chile. Cuenca. Ecuador.

Figura 192. Acerado del tambor graduado

- A continuación se procede al reglaje de todos los elementos de bombeo, de acuerdo al orden de levas; para lo cual la calibración de pre-stroke efectuada en el elemento del cilindro n°1 sirve como patrón de medida.

Orden de levas:	1 - 5 - 3 - 6 - 2 - 4
------------------------	------------------------------

- Para esta prueba, se hace girar 360° a mano el cabezal del banco (**Fig.186**) y cada 60° debe producirse el corte del chorro o goteo en el tubo auxiliar de la cañería que esté conectada al siguiente elemento de bombeo que corresponda al orden de inyección.

Decalaje angular comienzo de alimentación (°árbol de levas):	0-60-120-180-240-300
---	-----------------------------

El resumen de los resultados de esta prueba se muestra en la **tabla 28**.

Tabla 28. Resultados obtenidos en la prueba de control de inicio y fin de la inyección

Datos obtenidos:		
Cilindro 1: 60°	Cilindro 5: 150° (es necesario bajar 30°)	Cilindro 3: 180°
Cilindro 6: 240°	Cilindro 2: 320° (es necesario bajar 20°)	Cilindro 4: 0°
Recomendación:		
Si durante los intervalos de 60° no se produce el inicio de la inyección en el elemento que corresponda es necesario colocar o quitar lanas en el racor según el caso para calibrar el momento exacto del inicio de la inyección. Se recomienda que mientras se efectúa esta prueba se anote las medidas obtenidas en el tambor graduado (intervalos + de 60° o - de 60°), para conocer cuanto se tiene que variar la medida de las lanas de cada elemento de bombeo (Fig.193)		
Resultado luego de las calibraciones:		
Luego de efectuar la calibración, el comienzo y final de la inyección de todos los elementos ha quedado regulado cada 60° de acuerdo al orden de encendido.		

Figura 193. Medición y selección de la lana de corrección



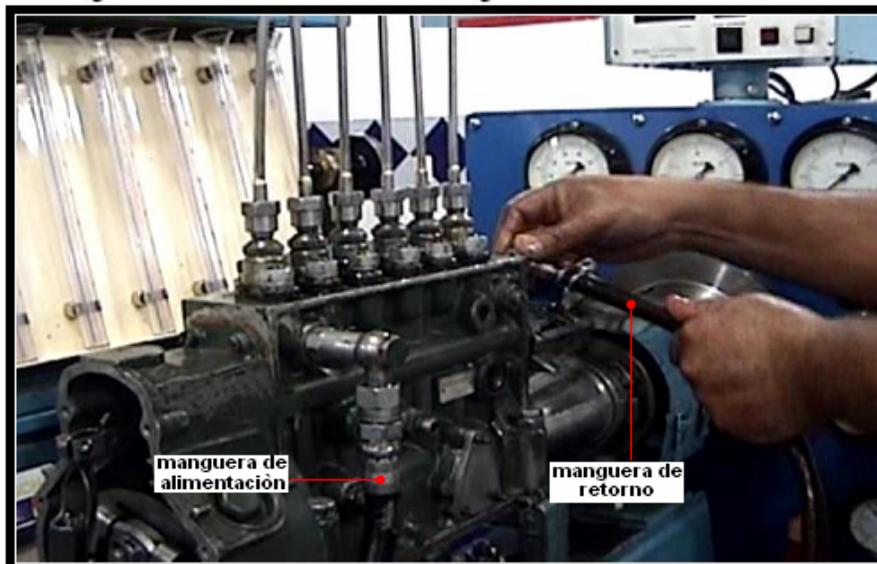
4.4.1.4 Prueba de ajuste básico

Esta prueba, consiste en medir a través de las probetas el caudal inyectado por cada elemento de bombeo, bajo las condiciones ¹¹¹ especificadas por el fabricante.

El proceso de trabajo es el siguiente:

- Cerrar los conductos auxiliares de las cañerías para que el líquido de prueba vaya directamente hacia los inyectores.
- Verificar que las cañerías estén acopladas a su respectivo racor y conectar la manguera de retorno o rebose del líquido de la bomba al banco (Fig.194).

Figura 194. Conexión de la manguera de retorno o rebose



¹¹¹ Ficha técnica PE6P100A720R515X. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

- Encender el banco y aplicar las condiciones de prueba (Fig.195).

Figura 195. Programación y aplicación de las condiciones de prueba



De acuerdo a la ficha técnica¹¹² (tabla 26), las condiciones para esta prueba son:

CONDICIONES DE PRUEBA BÁSICA 1	CONDICIONES DE PRUEBA BÁSICA 2
Presión de alimentación: 1.5bar	Presión de alimentación: 1.5bar
Recorrido de la cremallera: 9mm	Recorrido de la cremallera: 9mm
Régimen de la bomba: 1000RPM	Régimen de la bomba: 200 RPM
Inyecciones (strokes): 100	Inyecciones (strokes): 100
Caudal de verificación: 5,9 a 6.7 cm ³	Caudal de verificación: 2,5 a 3,3cm ³
Sin regulador mecánico	Sin regulador mecánico

- Medir el caudal inyectado (Fig.196).

Figura 196. Medición del caudal inyectado (probetas 50ml)



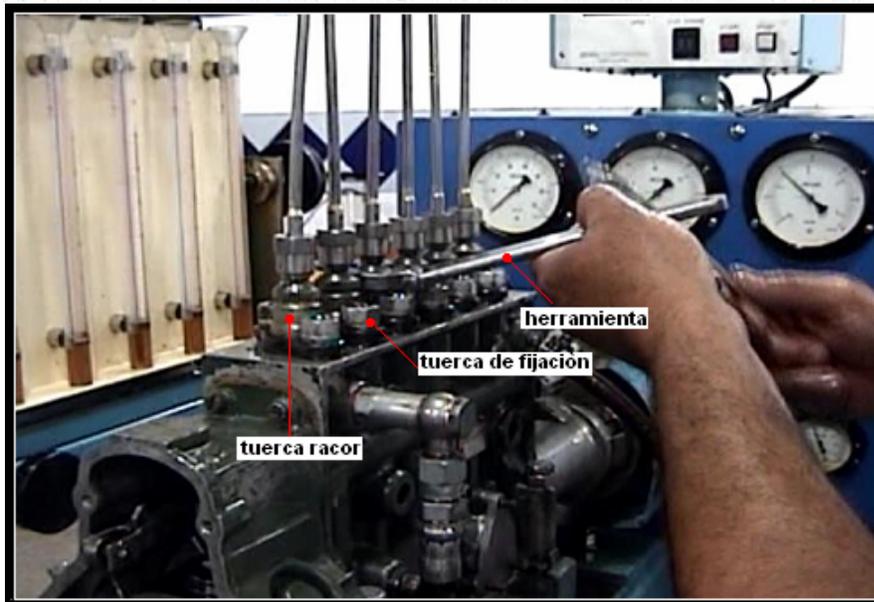
¹¹² Ficha técnica PE6P100A720R515X. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

En este caso se efectuó la verificación con las condiciones de prueba básica 1, obteniendo los resultados que se detallan en la **tabla 29**.

Tabla 29. Resultados obtenidos en la prueba de ajuste básico

Datos obtenidos:		
Cilindro 1: 6.7cm³	Cilindro 2: 7.2cm³	Cilindro 3: 6.9cm³
Cilindro 4: 5.7cm³	Cilindro 5: 6.8cm³	Cilindro 6: 6.5cm³
Recomendación:		
Para corregir esta variación de caudales se interviene en las tuercas racores (Fig. 197) con lo cual se altera la posición del cilindro con respecto a la rampa cegada del elemento, regulando la cantidad de caudal inyectado		
Resultados luego de las calibraciones:		
Debido a que los elementos de la bomba no se encuentran en buen estado, se calibraron todos los cilindros a un caudal de 7cm³ . (Valor recomendado por los técnicos del laboratorio)		

Figura 197. Calibración del caudal inyectado a través de los racores de la bomba



4.4.1.5 Verificación del regulador (recorrido del manguito)

Esta prueba consiste en verificar el estado del regulador mecánico de la bomba, para ello es necesario medir el desplazamiento de la cremallera a diferentes regímenes de velocidad.

El proceso de trabajo es el siguiente:

- Montar la tapa del regulador mecánico de la bomba de inyección para que éste pueda funcionar (**Fig. 198**).

Figura 198. Montaje de la tapa del regulador mecánico

- Encender el banco y aplicar las siguientes condiciones¹¹³ de prueba:

Presión de alimentación:	1,5bar		
Règimen de la bomba:	600 RPM		
Con regulador mecánico			
Verificación de recorrido :	16 mm (teórico)	15.7mm (min.)	16.3mm (máx.)
Varilla del acelerador :	a fondo		

En la **figura 199**, se observa la medición del recorrido de la cremallera durante la ejecución de esta prueba.

Figura 199. Control del recorrido de la cremallera

¹¹³ Ficha técnica PE6P100A720R515X. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

En la **tabla 30**, se detallan los resultados de las pruebas de control del regulador mecánico.

Tabla 30. Datos obtenidos en la verificación del regulador

Datos obtenidos:
16 mm de recorrido en la cremallera a 600 RPM
Recomendación:
El regulador se encuentra en buen estado y trabaja bajo los parámetros de prueba establecidos. Si durante esta prueba no se hubiesen obtenido los datos de trabajo establecidos, es necesario calibrar la presión de los muelles antagónicos del regulador (Fig. 200)
Resultados luego de las calibraciones:
Desplazamiento de la cremallera : 16 mm. Con un régimen de 600 RPM.

Figura 200. Calibración de los muelles antagónicos del regulador mecánico



El resultado de otras pruebas realizadas en el laboratorio, con el regulador mecánico adosado a la bomba de inyección se detalla en las **tablas 31 y 32**.

Tabla 31. Datos obtenidos en la verificación del regulador (en altas revoluciones)

Condiciones de prueba		Datos obtenidos
Regimen en altas revoluciones		
RPM de la bomba	Recorrido del manguito (mm)	(mm)
1120	15.6 a 16.0	14
1150	9.8 a 14.6	12
1200	7.3	5,8
1250	0	1,3
Recomendación:		
El regulador no trabaja dentro de las condiciones de prueba. Por lo tanto se recomienda calibrar y engrasar el regulador.		
Resultados luego de las calibraciones:		
Los resultados se mantienen bajo los parámetros correctos excepto a las 1120 rpm y a las 1250 rpm, valores calibrados de acuerdo a lo recomendado por los técnicos del laboratorio.		

Tabla 32. Datos obtenidos en la verificación del regulador (a bajas revoluciones)

Condiciones de prueba		Datos obtenidos
Régimen en ralentí		
RPM de la bomba	Recorrido del manguito (mm)	(mm)
560	0	0
460	0	0
350	2.2 a 4.2	2,5
250	4.6 a 6.9	5,5
150	6.5 a 8.1	6,4
Recomendación:		
El regulador trabaja dentro de las condiciones de prueba. Por lo tanto se recomienda únicamente engrasar el regulador.		
Resultados luego de las calibraciones:		
Los resultados se mantienen bajo los parámetros correctos, por lo tanto no se ha procedido a calibrar este elemento,		

4.4.1.6 Verificación del caudal a plena carga

En esta prueba, nuevamente se mide a través de las probetas el caudal inyectado por cada uno de los elementos de bombeo (Fig.201).

Figura 201. Medición del caudal inyectado (probetas 250ml)

El proceso de trabajo es el siguiente:

- Verificar las conexiones de alimentación (cañerías y mangueras)
- Encender el banco y aplicar las especificaciones de prueba¹¹⁴ dadas por el fabricante.

¹¹⁴ Ficha técnica PE6P100A720R515X. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

Las condiciones en el banco para esta prueba son:

Régimen: 1100 RPM
Número de golpes (strokes): 1000
Caudal de prueba: 117 a 120 cm ³
Palanca del acelerador a fondo
Con regulador adosado
No se necesita medir el recorrido de la cremallera (valor aprox. 12.5mm)

En la **tabla 33**, se observan los resultados obtenidos durante la prueba de verificación del caudal inyectado a plena carga.

Tabla 33. Datos obtenidos de la verificación del caudal inyectado a plena carga

Datos obtenidos:		
Cilindro 1: 114 cm³	Cilindro 2: 113cm³	Cilindro 3: 110 cm³
Cilindro 4: 103 cm³	Cilindro 5: 112cm³	Cilindro 6: 110 cm³
Recomendación:		
Para regular el caudal inyectado, se actúa directamente sobre la tuerca racor, variando la posición de cada cilindro con respecto a su elemento (Fig. 197); aumentando o disminuyendo el caudal		
Resultados luego de las calibraciones:		
En vista que los elementos de bombeo no se encuentran en óptimo estado, no es posible reglar estos valores, en este caso es necesario sustituir los elementos para mejorar el estado de la bomba de inyección.		

4.4.1.7 Prueba de corte de combustible

Para efectuar esta prueba, es necesario emplear nuevamente el comparador ubicado sobre la cremallera para detectar su desplazamiento en el momento que la bomba ha alcanzado su máxima velocidad.

El proceso de trabajo es el siguiente:

- Verificar el correcto montaje del comparador sobre la cremallera y encender el banco.
- Una vez que el banco se encuentra encendido, se aumenta progresivamente la velocidad de giro a partir de las revoluciones indicadas en la ficha técnica¹¹⁵ y se debe controlar a través de la aguja del comparador que se cumpla la siguiente condición de prueba:

A 1100 rpm la cremallera debe empezar a retroceder
--

¹¹⁵ Ficha técnica PE6P100A720R515X. Laboratorio diesel Ecua-Chile. Cuenca. Ecuador.

El resultado que se obtuvo, puede ser detectado cuando se coloca el banco a 1140 RPM, momento en el cual la aguja del reloj comparador y la cremallera comienzan a retroceder, señal que se empieza a efectuar el corte de combustible. Por lo tanto, el regulador está actuando dentro de lo especificado.

4.4.1.8 Control del caudal de arranque

En esta prueba se vuelve a medir el caudal inyectado en las probetas (**Fig.202**), la diferencia radica en las condiciones de prueba que son:

Régimen: 100 RPM
Número de inyecciones (strokes): 100
Caudal de prueba: 14 a 16cm ³
Palanca del acelerador a fondo
Con regulador adosado
No se necesita medir el recorrido de la cremallera

Figura 202. Caudal medido en la prueba de arranque



En la **tabla 34**, se detallan los resultados obtenidos durante la prueba de verificación del caudal de arranque.

Tabla 34. Resultados obtenidos en la verificación del caudal de arranque

Datos obtenidos:		
Cilindro 1: 17.3 cm³	Cilindro 2: 15.1 cm³	Cilindro 3: 19 cm³
Cilindro 4: 14 cm³	Cilindro 5: 15.4 cm³	Cilindro 6: 16 cm³
Recomendación:		
Para regular el caudal inyectado, se actúa directamente sobre la tuerca racor, variando la posición de cada elemento con respecto a su cilindro (Fig.197); aumentando o disminuyendo el caudal		
Resultados luego de las calibraciones:		
En este caso los caudales obtenidos están próximos al valor recomendado por el fabricante, además debido al mal estado de los elementos de bombeo, no se procedió a reglar estos valores.		

De esta manera se ha concluido las pruebas de verificación de la bomba tipo P, en el banco¹¹⁶ del laboratorio diesel. Los resultados obtenidos indican un regular estado de los elementos de bombeo, sin embargo; para dejar en óptimas condiciones a la bomba se recomienda repararla.

4.4.2 Tablas de comparación entre los resultados de reglaje de la bomba tipo P obtenidos en el banco de pruebas del laboratorio y el banco construido

Al igual que en el banco del laboratorio, se procedió a montar la bomba de inyección PE6P100A720RS15 tipo P en el banco construido, para efectuar las mismas comprobaciones y en condiciones similares a las realizadas en el laboratorio diesel.

Los resultados de comparación obtenidos en los dos bancos de prueba se exponen en las siguientes tablas:

¹¹⁶ Banco de pruebas marca Bosch del Laboratorio Ecu-Chile. Cuenca Ecuador.

Tabla 35. Homologación de los resultados obtenidos durante la verificación del estado de los elementos de la bomba tipo P

1ra PRUEBA : Verificación del estado de los elementos de bombeo	
Especificación : En los conductos auxiliares debe producirse el corte o goteo del líquido de prueba	
Resultados finales	Resultados finales
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO	BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO
Concluida esta prueba, se ha comprobado que los elementos de bombeo se encuentran en regular estado; la bomba no va a tener un óptimo rendimiento . Sin embargo puede ser calibrada para que sea capaz de funcionar durante un periodo mas de tiempo y prolongar su reparación.	Concluida esta prueba, se ha comprobado que los elementos de bombeo se encuentran en regular estado; la bomba no va a tener un óptimo rendimiento . Sin embargo puede ser calibrada para que sea capaz de funcionar durante un periodo mas de tiempo y prolongar su reparación.
RESUMEN DE LA HOMOLOGACIÓN:	
Igual	Diferente
x	0

Tabla 36. Homologación de los resultados obtenidos durante la prueba de pre-stroke de la bomba tipo P

2da PRUEBA : Pre-stroke (comienzo de la inyección)	
Especificación: 2,8 a 2,9 mm	
Resultados finales	Resultados finales
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO	BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO
Carrera útil del elemento de bombeo Nro 1: 2,85 mm	Carrera útil del elemento de bombeo Nro 1: 2,85 mm
RESUMEN DE LA HOMOLOGACIÓN:	
Igual	Diferente
X	0

Tabla 37. Homologación de los resultados obtenidos durante la prueba de control del inicio y final de la inyección y del desfase de la bomba tipo P

3ra PRUEBA : Control del inicio y final de la inyección y del desfase de la bomba		
	Tolerancia : +/- 1° (desfase)	Tolerancia : +/- 1° (desfase)
	Tolerancia : +/- 0,5° (carrera útil)	Tolerancia : +/- 0,5° (carrera útil)
	Resultados finales	Resultados finales
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO	BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO	
Luego de efectuada la calibración de todos los elementos de bombeo se tiene un inicio y final de la inyección con un desfase de 60° entre cada cilindro de acuerdo al orden de encendido (1-5-3-6-2-4). Así:	Luego de efectuada la calibración de todos los elementos de bombeo se tiene un inicio y final de la inyección con un desfase de 60°. Existe una variación de 0,5° en los cilindros 5, 3 y 6, comparándolos con los resultados obtenidos en el laboratorio.	
Cilindro 1: 60°	Cilindro 5: 120°	Cilindro 3: 180°
Cilindro 6: 240°	Cilindro 2: 300°	Cilindro 4: 0°
RESUMEN DE LA HOMOLOGACIÓN:		
	Igual	Diferente
Cilindro 1:	X	
Cilindro 2:	X	
Cilindro 3:		X
Cilindro 4:	X	
Cilindro 5:		X
Cilindro 6:		X
		Variación
		0
		0
		0,5°
		0
		0,5°
		0,5°

Tabla 38. Homologación de los resultados obtenidos durante la prueba de ajuste básico de la bomba tipo P

4ta PRUEBA : Ajuste básico		
Especificación: 5,9 a 6,3cm3--1000RPM--100strocks	Especificación: 5,9 a 6,3cm3--1000RPM--100strocks	
Dispersión: 0,4 cm3 cada 100 emboladas	Dispersión: 0,4 cm3 cada 100 emboladas	
Resultados finales		
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO	BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO	
Debido al regular estado de los elementos de bombeo, los técnicos expertos, han recomendado calibrar en esta prueba con un caudal de 7cm3 a todos los elementos.	Debido al regular estado de los elementos de bombeo, los técnicos expertos, han recomendado calibrar en esta prueba con un caudal de 7cm3 a todos los elementos.	
Cilindro 1: 7cm3 Cilindro 2: 7cm3 Cilindro 3: 7cm3	Cilindro 1: 7 cm3 Cilindro 2: 7 cm3 Cilindro 3: 6,5 cm3	
Cilindro 4: 6,5 cm3 Cilindro 5: 7cm3 Cilindro 6: 6,8cm3	Cilindro 4: 5,5 cm3 Cilindro 5: 7 cm3 Cilindro 6: 6 cm3	
RESUMEN DE LA HOMOLOGACIÓN:		
	Igual	Diferente
Cilindro 1:	X	
Cilindro 2:	X	
Cilindro 3:		X
Cilindro 4:		X
Cilindro 5:	X	
Cilindro 6:		X
	Variación	
		0 cm3
		0 cm3
		0,5 cm3
		1 cm3
		0 cm3
		0,8 cm3

Tabla 39. Homologación de los resultados obtenidos durante la verificación del regulador de la bomba tipo P

Sta PRUEBA : Verificación del regulador (recorrido del manguito)			
Especificación : 15,7 hasta 16,3 mm a 600Rpm.		Especificación : 15,7 hasta 16,3 mm a 600Rpm.	
Resultados finales		Resultados finales	
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO		BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO	
Carrera del manguito obtenida: 16 mm		Carrera del manguito obtenida: 12,6 mm (calibrado)	
RESUMEN DE LA HOMOLOGACIÓN:			
Igual	Diferente	Variación	
	X	3,4 mm	
Otras pruebas en el regulador (recorrido del manguito)			
Especificación : en altas revoluciones			
Resultados finales			
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO		BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO	
Recorrido obtenido	RPM	Recorrido obtenido	RPM
A: 14 mm	1120	A: 12,5 mm	1120
B: 12 mm	1150	B: 11,2 mm	1150
C: 5,8 mm	1200	C: 5,8 mm	1200
D: 1,3 mm	1250	D: 1,5 mm	1250
Especificación : bajas revoluciones			
E: 0 mm	560	E: 0 mm	560
F: 6,4 mm	150	F: 6,4 mm	150
G: 5,5 mm	250	G: 5,5 mm	250
H: 2,5 mm	350	H: 2,5 mm	350
I: 0 mm	460	I: 0 mm	460
RESUMEN DE LA HOMOLOGACIÓN:			
Igual	Diferente	Variación	
	X	1,5 mm	
	X	0,8 mm	
X		0 mm	
	X	0,2 mm	
X		0 mm	
X		0 mm	
X		0 mm	
X		0 mm	
X		0 mm	

Tabla 40. Homologación de los resultados obtenidos durante la verificación del caudal a plena carga de la bomba tipo P

6ta PRUEBA : Verificación del caudal a plena carga			
Especificación: 117 a 120cm3-1100RPM-1000strokes	Especificación: 117 a 120cm3-1100RPM-1000strokes		
Dispersión: 0,4 cm3 cada 100 emboladas	Dispersión: 0,4 cm3 cada 100 emboladas		
Resultados finales			
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO	BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO		
No es posible reglar estos valores debido al regular estado de los elementos. Los datos obtenidos en el banco fueron:			
Cilindro 1:114cm3	Cilindro 2:113cm3	Cilindro 3:110cm3	
Cilindro 4:103cm3	Cilindro 5:112cm3	Cilindro 6:110cm3	
RESUMEN DE LA HOMOLOGACIÓN:			
	Igual	Diferente	Variación
Cilindro 1:		X	3 cm3
Cilindro 2:		X	1 cm3
Cilindro 3:		X	3 cm3
Cilindro 4:		X	3 cm3
Cilindro 5:		X	2 cm3
Cilindro 6:		X	4 cm3

Tabla 41. Homologación de los resultados obtenidos durante la prueba de corte de combustible de la bomba tipo P

7ma PRUEBA : Corte de combustible		
Resultados finales	Resultados finales	Resultados finales
Especificación: A 1100RPM la cremallera retrocede	Especificación: A 1100RPM la cremallera retrocede	
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO	BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO	
A 1140RPM, se puede detectar mediante el comparador el comienzo del retroceso de la cremallera.	A 1140RPM, se puede detectar mediante el comparador el comienzo del retroceso de la cremallera.	
RESUMEN DE LA HOMOLOGACIÓN:		
Igual	Diferente	Variación
X		0

Tabla 42. Homologación de los resultados obtenidos durante el control del caudal de arranque de la bomba tipo P

8va PRUEBA : Control del caudal de arranque		
Especificación: 14 a 16cm3 --100RPM --100strokes	Especificación: 14 a 16cm3 --100RPM --100strokes	
Dispersión: 0,4 cm3 cada 100 emboladas	Dispersión: 0,4 cm3 cada 100 emboladas	
Resultados finales	Resultados finales	
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO	BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO	
En este caso los caudales obtenidos están próximos al prescrito por el fabricante, además el regular estado de los elementos no permite regular correctamente estos valores.	En este caso los caudales obtenidos están próximos al prescrito por el fabricante, además el regular estado de los elementos no permite regular correctamente estos valores.	
Obteniendo:	Obteniendo:	
Cilindro 1: 17,3cm3	Cilindro 2: 15,1cm3	Cilindro 3: 19,0cm3
Cilindro 4: 14,0cm3	Cilindro 5: 15,4cm3	Cilindro 6: 16,0cm3
RESUMEN DE LA HOMOLOGACIÓN:		
	Igual	Diferente
Cilindro 1:		X
Cilindro 2:		X
Cilindro 3:		X
Cilindro 4:		X
Cilindro 5:		X
Cilindro 6:		X
		Variación
		1,7 cm3
		0,4 cm3
		1,5 cm3
		4,5 cm3
		0,1 cm3
		4 cm3

4.4.3 Pruebas realizadas en la bomba de inyección tipo A en el banco del laboratorio diesel

En el banco de pruebas del laboratorio¹¹⁷, se procedió al montaje de la bomba de inyección PES6A85C321RS2000NP 684 tipo A, para efectuar las siguientes comprobaciones:

4.4.3.1 Verificación del estado de los elementos de bombeo

Esta prueba permite dar un criterio rápido del estado en el que se encuentra la bomba de inyección antes de efectuar todas las pruebas de control.

El proceso de trabajo es el siguiente:

- Conectar la manguera de alimentación del banco a la bomba y las cañerías de prueba hacia los racores (**Fig.203**).

Figura 203. Conexión de la manguera de alimentación y cañerías en la bomba tipo A



- Abrir la llave de los conductos auxiliares de las cañerías.
- Encender el banco y alimentar con el líquido de prueba a una presión de 35 bares.

¹¹⁷ Banco de pruebas Bosch del laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

- El líquido de ensayo ingresa al interior de la bomba y debido a la elevada presión vence la tensión de los muelles y de las válvulas de impulsión para salir por los conductos auxiliares (**Fig.204**) de las cañerías. En este instante es necesario mover a mano el cabezal del banco (**Fig.205**) y observar que el chorro que cae por los conductos auxiliares se corte o gotee, siguiendo una secuencia de acuerdo al orden de inyección¹¹⁸ y que se da en intervalos de 60° para esta bomba ($360^\circ/6 = 60^\circ$):

Inyection timing: 1 - 4 - 2 - 6 - 3 - 5 (interval 60° +/- 0,3)
--

Figura 204. Conducto auxiliar de la cañeria abierto

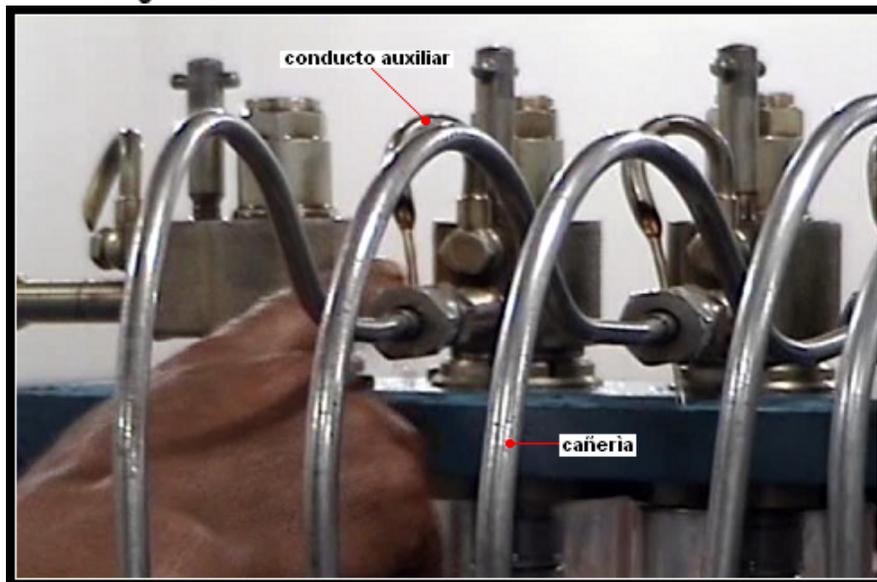


Figura 205. Giro manual del cabezal



¹¹⁸ Ficha técnica 101681-9230. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

En este caso, se detectó que los elementos de bomba se encuentran en mal estado, pues no se produce el corte de ninguno de los chorros que viene de cada cilindro ya que los elementos de bombeo no sellan; sin embargo es posible ejecutar las demás pruebas de control para confirmar esta aseveración.

4.4.3.2 Prueba de pre-stroke (carrera del elemento)

Mediante esta prueba se determina la carrera útil del elemento del cilindro nro 1, la distancia que debe recorrer desde el PMI hasta el PMS viene determinada por el fabricante a través de la ficha técnica¹¹⁹.

En este caso se tiene el valor de:

Pre - Stroke Nro 1 plunger :	2,4 +/- 0,05mm
------------------------------	----------------

El proceso de trabajo en esta prueba es el siguiente:

- Colocar un comparador sobre la cremallera para medir el desplazamiento que recomienda el fabricante en esta prueba (**Fig.206**).

Figura 206. Montaje del comparador sobre la cremallera para controlar su recorrido



¹¹⁹ Ficha técnica 101681-9230. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

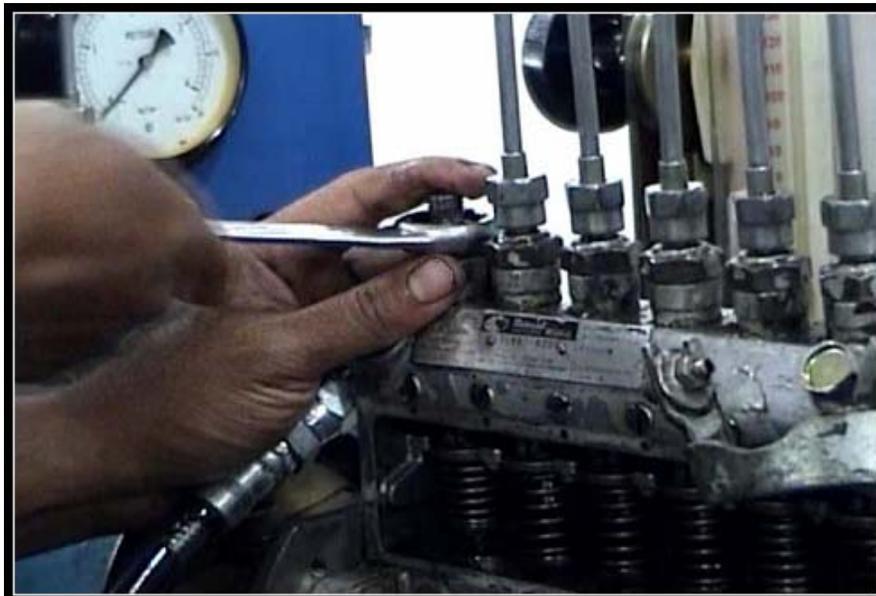
- En este tipo de bomba, es necesario sacar la tapa lateral para tener acceso a los dispositivos de calibración internos (**Fig.207**).

Figura 207. Desmontaje de la tapa lateral de la bomba de inyección



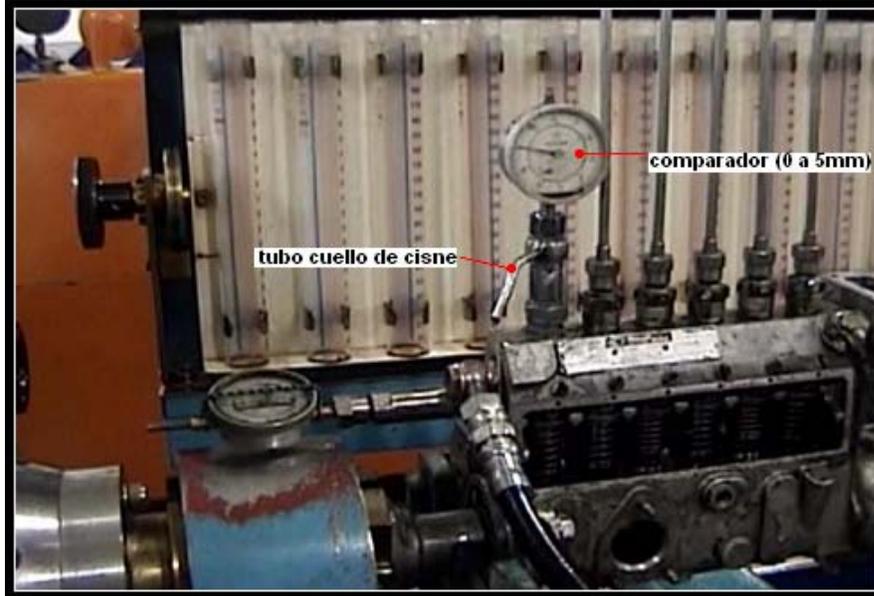
- Desmontar el racor y la válvula de impulsión del cilindro nro 1 (**Fig. 208**).

Figura 208. Desmontaje del racor y válvula del cilindro Nro 1



- Colocar en lugar del racor del cilindro nro 1 un acople con un tubo en forma de cuello de cisne y en la parte superior un comparador (Fig.209), que es el que va a medir la carrera del elemento.

Figura 209. Montaje del tubo cuello de cisne y comparador en el cilindro Nro 1.



- Cerrar los conductos auxiliares de las cañerías
- Encender el banco y aplicar las siguientes condiciones de prueba dadas por el fabricante:

Carrera de regulación (cremallera) :	9mm	(Fig. 210)
Carrera previa desde el PMI al PMS (elemento de bombeo) :	2,4 +/- 0,05mm	
Presión de alimentación :	1,5 bar teórico	

Figura 210. Fijación del recorrido de la cremallera



La presión de alimentación va a caer a 0 bar, debido a que el líquido comienza a salir por el tubo cuello de cisne. Para medir el recorrido útil del elemento de bombeo, este debe estar en su PMI; en esta posición se acerca el comparador ubicado en la parte superior del mismo y se mueve manualmente el cabezal del banco hasta que se produzca el corte o goteo del chorro que sale por el tubo cuello de cisne, en este instante se verifica la medida que señala la aguja del comparador (**Fig.211**).

Figura 211. Lectura de la la carrera útil del elemento de bombeo 1

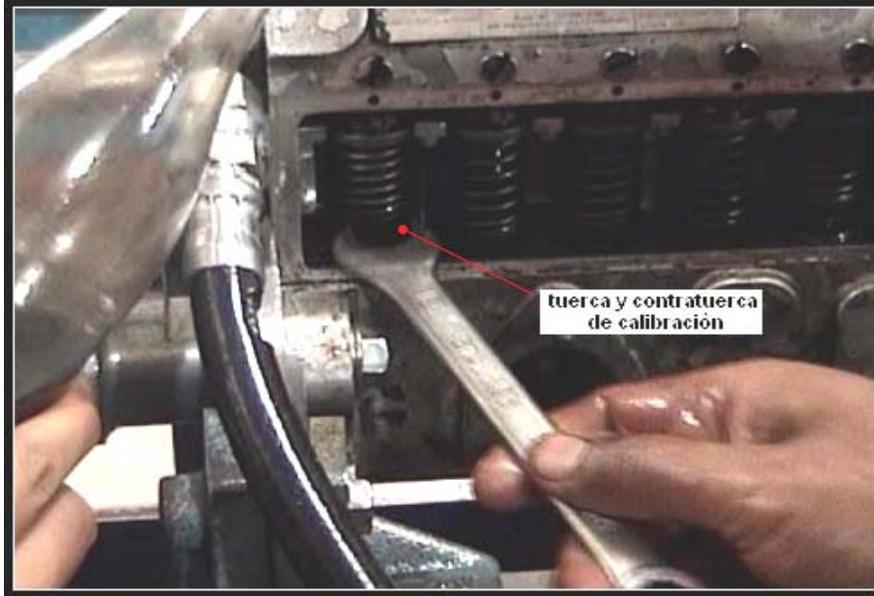


En la **tabla 43**, se detalla el resultado derivado de esta prueba.

Tabla 43. Resultado obtenido en la prueba Pre-Stroke (recorrido del elemento)

Dato obtenido:
Carrera útil del elemento nro 1: 2,6mm
Recomendación:
En este caso el corte del chorro del líquido de prueba no se ha producido en el valor que establece el fabricante, por consiguiente debe corregirse este valor. Para regular el recorrido del elemento de bombeo, este tipo de bombas poseen un sistema de calibración por medio de tuerca y contratuerca (Fig.212), a través de las cuales se puede dar más o menos recorrido al elemento.
Resultados luego de las calibraciones:
Como los elementos de bombeo están bastante deteriorados, no es posible obtener el corte o goteo del chorro que sale por el tubo cuello de cisne. No obstante se ha calibrado el recorrido del elemento a 2,4 mm , instante en el cual se puede apreciar que el chorro se hace bastante delgado a punto de cortarse.

Figura 212. Calibración de la carrera útil del elemento de bombeo 1



4.4.3.3 Control del inicio y final de la inyección y del desfase de la bomba

Luego de efectuar la calibración de pre-stroke, se coloca nuevamente la válvula de impulsión del cilindro nro 1 y su racor, apretando con un torque de 3Kgf (**Fig.213**).

Figura 213. Apriete de la tuerca racor del cilindro Nro 1



Ahora se continúa con la calibración del recorrido de los demás elementos de bombeo, verificando que su comienzo y final de la inyección se de con un desfase de 60° de acuerdo al orden de encendido.

El proceso de trabajo es el siguiente:

- Controlar que todas las cañerías estén acopladas a cada cilindro y abrir los conductos auxiliares de las cañerías.
- Encender el banco y aplicar las siguientes condiciones establecidas para esta prueba:

Carrera de regulación (cremallera) :	9mm
Presión de alimentación :	35 bares

- La elevada presión vence la tensión de los muelles y válvulas de impulsión, por lo tanto el líquido cae por los conductos auxiliares, en este momento se debe verificar que el elemento del cilindro 1 esté en posición de final de la inyección, es decir que el chorro que cae por el conducto auxiliar de este elemento haya cortado. Si no es así, es necesario mover manualmente el cabezal de la bomba hasta colocar al elemento 1 en dicha posición. Ahora, se procede a acerar las señales del tambor graduado del cabezal.

- Para controlar el inicio y final de la inyección en los demás elementos, el del cilindro nro 1 ya calibrado sirve como patrón de medida, a partir de éste se gira 360° manualmente el cabezal, controlando que cada 60° se produzca el corte o goteo del líquido de prueba en el elemento que toque de acuerdo al orden de inyección¹²⁰:

Inyection timing: 1 - 4 - 2 - 6 - 3 - 5 (interval 60° +/- 0,3)
--

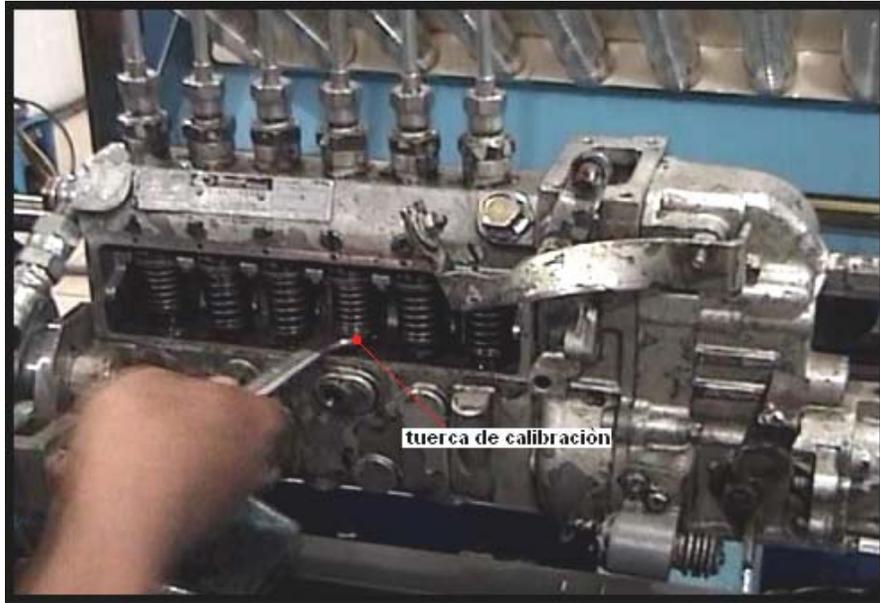
El resumen de los resultados de esta prueba se muestra en la **tabla 44**.

Tabla 44. Resultados obtenidos en la prueba de control de inicio y fin de la inyección

Datos obtenidos:		
Cilindro 1 : 60°	Cilindro 4: 140° (es necesario bajar 20°)	Cilindro 2: 180°
Cilindro 6 : 230° (es necesario subir 10°)	Cilindro 3: 300°	Cilindro 5: 360°
Recomendación:		
Si el corte del inicio y final de la inyección no se produce en el intervalo de 60° en cada elemento, es necesario corregir la falta (-de 60°) o el exceso (+ de 60°) mediante la tuerca y contratuerca de calibración, subiendo o bajando al elemento. (Fig.214)		
Resultado luego de las calibraciones:		
Con la calibración efectuada del inicio y final de la inyección en todos los elementos se produce en intervalos exactos de 60° a partir del cilindro 1 en el orden de inyección de esta bomba. Sin embargo en este caso no se puede apreciar un corte o goteo en los conductos auxiliares debido al mal estado de los elementos de bombeo y en lugar del corte solo se logra observar que el chorro se adelgaza. Para corregir esto se debe sustituir los elementos.		

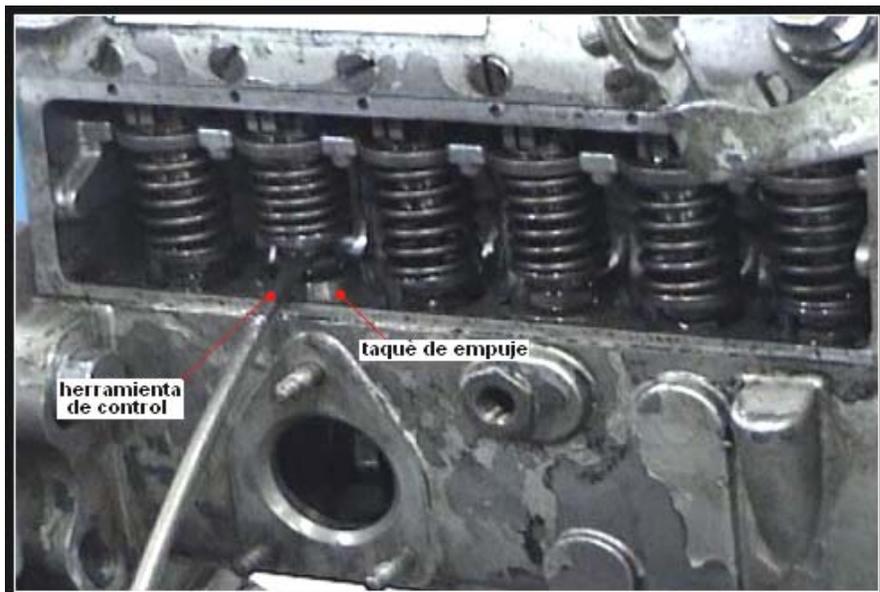
¹²⁰ Ficha técnica 101681-9230. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

Figura 214. Calibración del inicio y final de la inyección de los elementos (2,3,4,5 y 6)



- Finalmente, se debe verificar que las calibraciones efectuadas no hayan empujado al elemento a su tope máximo, trayendo como consecuencia que durante el funcionamiento de la bomba, se produzca un choque entre el elemento y la parte superior del cilindro en donde se ubica la válvula de impulsión. En la **figura 215**, se observa el control de la holgura (0,3mm como mínimo) que debe haber entre la leva y el taqué de de empuje.

Figura 215. Verificación de la holgura entre la leva y el taqué de empuje



4.4.3.4 Prueba de ajuste básico

Esta verificación, consiste en medir el caudal inyectado por cada uno de los elementos, bajo ciertas condiciones de prueba. Para ello es necesario emplear las probetas graduadas con las que el banco está provisto.

El proceso de trabajo es el siguiente:

- Conectar la manguera de retorno o rebose del combustible (**Fig.216**).

Figura 216. Conexión de la manguera de retorno de combustible



- Cerrar los conductos auxiliares de las cañerías (**Fig.217**), permitiendo que el líquido de prueba salga a través de los inyectores.

Figura 217. Cierre de los conductos auxiliares de las cañerías



- Antes de encender el banco, se recomienda lubricar los taques de empuje para disminuir la fricción con el eje de levas (Fig.218).

Figura 218. Lubricación de los taques de empuje



- Encender el banco y aplicar las condiciones¹²¹ de prueba (Fig.219).

Figura 219. Introducción de las condiciones de prueba en el banco



¹²¹ Ficha técnica 101681-9230. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

Las condiciones para esta prueba establecidas en la ficha técnica son:

Presión de alimentación :	1,5 bar
Recorrido de la cremallera :	11,2 mm
Régimen de la bomba :	1000 RPM
Inyecciones (strokes) :	1000
Caudal inyectado:	72,8 a 76,0 cm ³

El caudal enviado por los elementos de bombeo, se dirige por las cañerías e inyectores y cae en el interior de las probetas graduadas para su respectiva medición (Fig. 220).

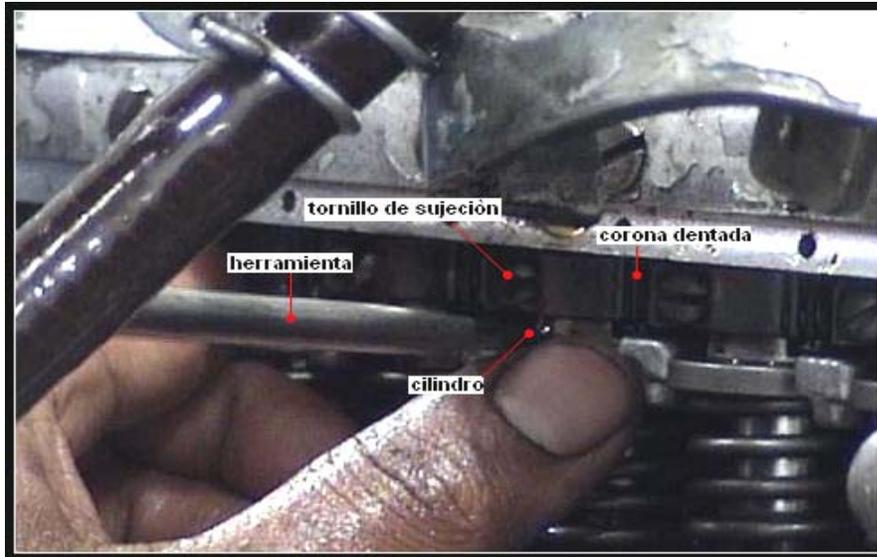
Figura 220. Medición del caudal inyectado (probetas 250 ml)



Los datos obtenidos durante la prueba de ajuste básico de la bomba, se detallan en la tabla 45.

Tabla 45. Datos obtenidos en la prueba de ajuste básico de la bomba tipo A

Datos obtenidos:		
Cilindro 1: 73 cm ³	Cilindro 2: 73 cm ³	Cilindro 3: 70 cm ³
Cilindro 4: 68 cm ³	Cilindro 5: 69 cm ³	Cilindro 6: 74 cm ³
Recomendación:		
Es necesario calibrar la cantidad de caudal obtenido en los distintos elementos de bombeo, para ello, este tipo de bombas poseen en la parte externa del cilindro una corona dentada que se acopla a la cremallera. Aflojando el tornillo que mantiene a esta corona dentada acoplada a la cremallera, se hace girar levemente el cilindro variando su posición con respecto al elemento de bombeo, aumentando o disminuyendo de esta forma la cantidad de líquido inyectado (Fig.221).		
Resultados luego de las calibraciones:		
Cilindro 1: 74,5 cm ³	Cilindro 2: 74,5 cm ³	Cilindro 3: 72 cm ³
Cilindro 4: 72 cm ³	Cilindro 5: 72 cm ³	Cilindro 6: 74 cm ³

Figura 221. Calibración del caudal inyectado por los elementos de bomba

4.4.3.5 Verificación del regulador

La bomba de inyección PES6A85C321RS000 tipo A, está provista con un regulador tipo RAD. Las condiciones de prueba¹²² vienen dadas por el fabricante mediante un esquema gráfico, el cual sirve de guía para verificar el regulador de esta bomba.

El proceso de verificación es el siguiente:

- Desmontar la tapa posterior del regulador para tener acceso a los pernos de calibración internos (**Fig.222**).

Figura 222. Desmontaje de la tapa posterior del regulador mecánico

¹²² Ficha técnica 101681-9230. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

- Encender el banco y aplicar progresivamente velocidad hasta llegar a la prescrita por el fabricante:

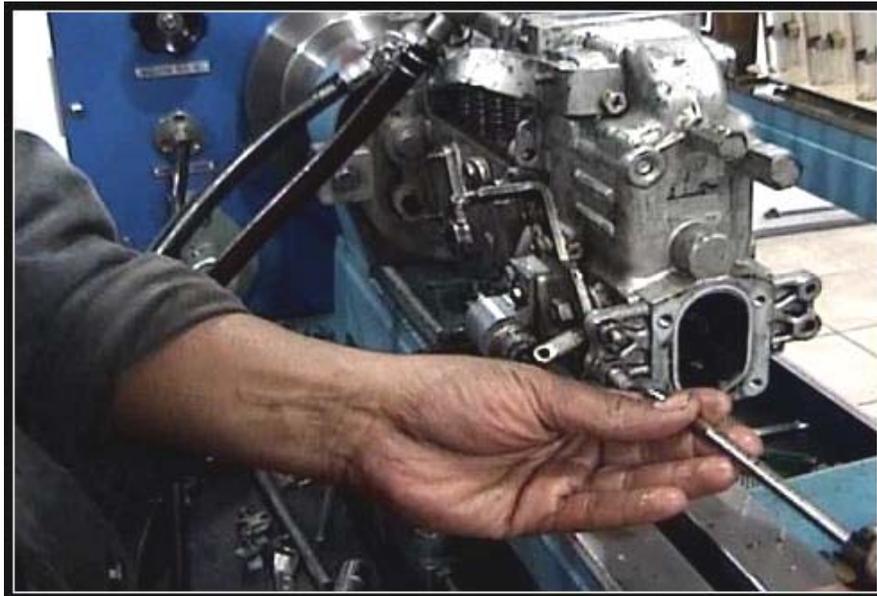
Règimen de la bomba :	1750 RPM
-----------------------	----------

Mediante el comparador montado sobre la cremallera, debe constatarse el funcionamiento del regulador a la velocidad establecida. En la **tabla 46**, se detalla el resultado obtenido en esta prueba.

Tabla 46. Resultado de la prueba obtenida durante la verificación de corte

Dato obtenido:
A partir de la máxima velocidad de funcionamiento de la bomba, el regulador hace retroceder automáticamente a la cremallera para que esta corte la inyección.
Recomendación:
Cuando la cremallera ha retrocedido automáticamente, se recomienda calibrar mediante el tornillo de tope de la varilla del acelerador 0,2mm (Fig. 223), medida que se observa en el comparador. La varilla del acelerador debe estar a fondo.
Resultados luego de las calibraciones:
Luego de la calibración recomendada, el regulador cumple con la función de corte a partir de las 1750 RPM, de acuerdo al esquema gráfico de su ficha técnica (Tabla 25).

Figura 223. Calibración del perno tope de la varilla del acelerador



Hasta este momento, solo se ha verificado que el regulador esté efectuando el corte de la inyección, pero no se ha calibrado el momento exacto en el que este se produce.

A continuación se debe verificar que se cumplan las siguientes condiciones¹²³:

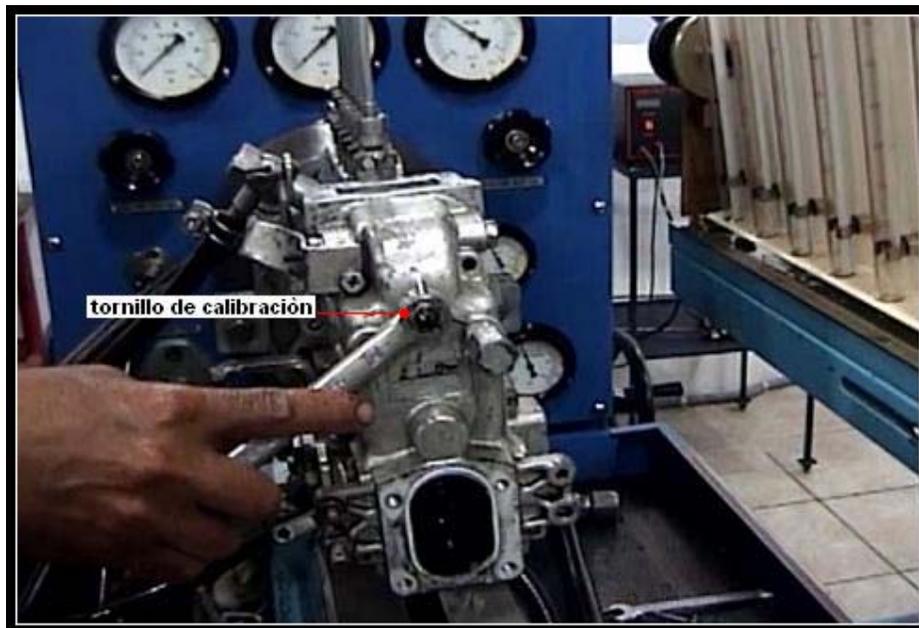
Régimen de la bomba :	1750 RPM
Recorrido de la cremallera :	7,3 mm

En la **tabla 47**, se puntualiza el momento en el que el regulador produce el corte de la inyección.

Tabla 47. Resultado de la calibración de corte de la inyección de la bomba tipo A

Dato obtenido:
Sobre la máxima velocidad de funcionamiento de la bomba, el regulador hace retroceder automáticamente a la cremallera para que ésta corte la inyección. En este caso, la cremallera retrocedió a partir de las 1713 RPM. Por lo tanto no hay la lectura requerida de recorrido de cremallera que debe ser 7,3 mm a 1750RPM.
Recomendación:
Cuando el corte se produce antes como en este caso, se calibra este valor a través del tornillo que regula el recorrido de la cremallera (Fig.224). Con esto se consigue evitar que el corte a la inyección se efectúe antes de lo establecido (1750RPM).
Resultados luego de las calibraciones:
El corte de la inyección se produce a partir de las 1755RPM, que es el instante en el que se puede observar en el comparador que la cremallera comienza a retroceder automáticamente.

Figura 224. Calibración del tornillo regulador de recorrido de la cremallera



¹²³ Ficha técnica 101681-9230. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

La siguiente verificación corresponde al recorrido que debe efectuar la cremallera en condiciones¹²⁴ de plena carga:

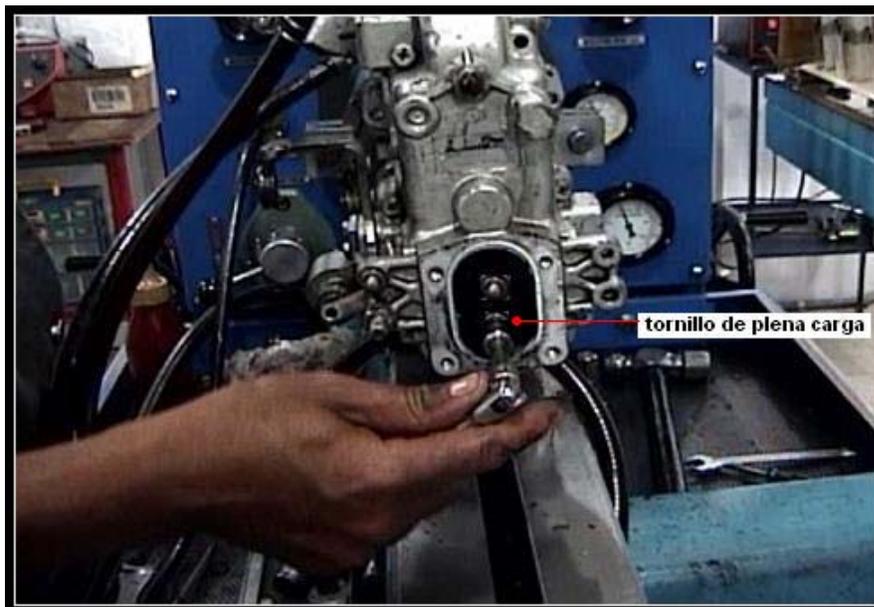
Règimen de la bomba :	1600 RPM
Recorrido de la cremallera :	11,2 mm

En la **tabla 48**, se anota el resultado obtenido en esta prueba.

Tabla 48. Resultado de la calibración del regulador en condiciones de plena carga

Dato obtenido:
En esta prueba se obtuvo 11,6mm de recorrido de la cremallera a 1600RPM
Recomendación:
Este parámetro debe ser corregido para que la bomba pueda funcionar sin problemas en condiciones de plena carga. La calibración de este valor se la realiza por medio del perno ubicado en el interior del regulador (Fig.225).
Resultados luego de las calibraciones:
Luego de efectuar la calibración correspondiente se tuvo: 11,2 mm de recorrido en la cremallera a un régimen de 1600RPM .

Figura 225. Calibración del tornillo de plena carga



¹²⁴ Ficha técnica 101681-9230. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

Otra prueba de control del regulador, es la verificación de su funcionamiento a ralenti. Para ello se consideran las siguientes condiciones¹²⁵ de prueba:

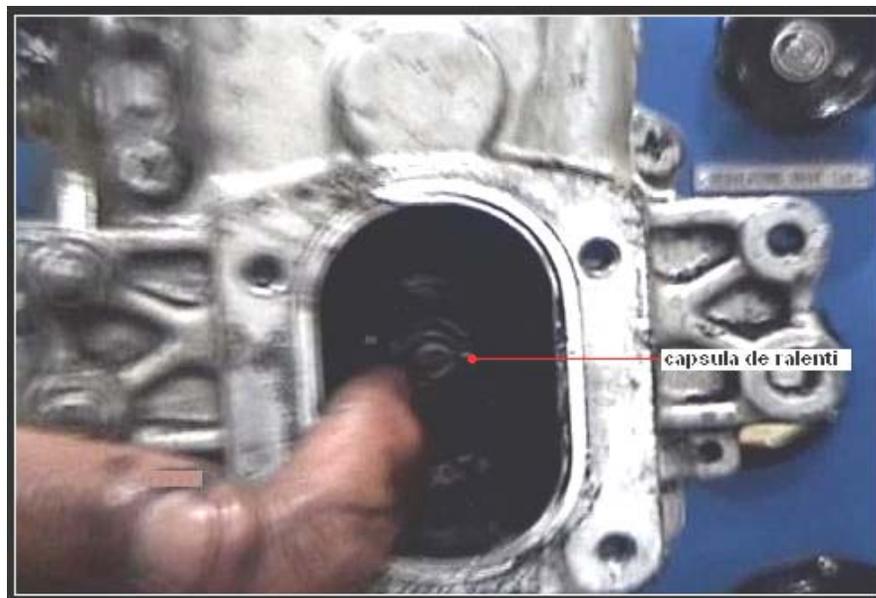
Condición 1 de ralenti:	
Règimen de la bomba :	600 RPM \pm 25
Recorrido de la cremallera :	2,7 mm
Condición 2 de ralenti:	
Règimen de la bomba :	300 RPM
Recorrido de la cremallera :	7,3 mm

Los resultados obtenidos durante esta prueba se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 49. Resultados obtenidos durante la calibración del regulador en ralenti

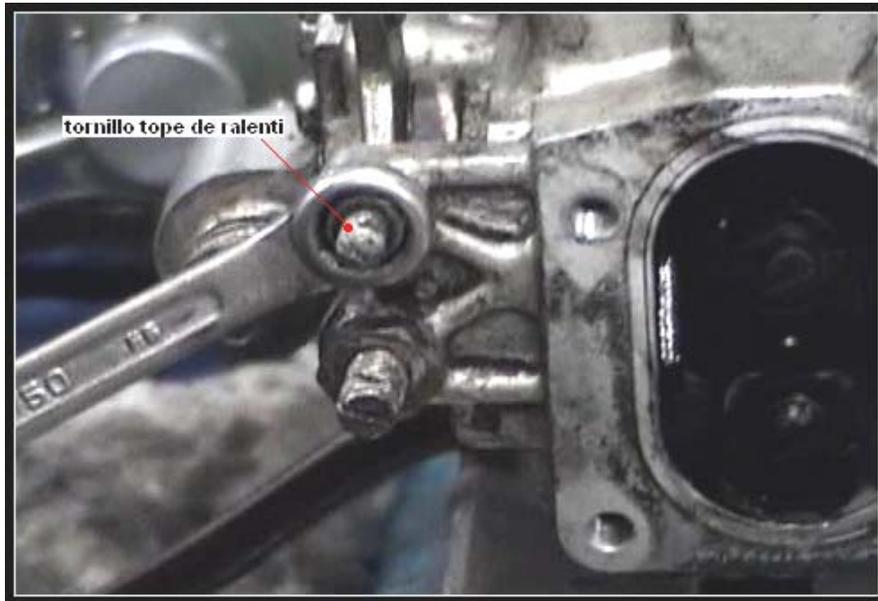
Dato obtenido:	
Aplicando la primera condición de prueba para ralenti , se obtuvo:	3,1 mm a 600RPM
Aplicando la segunda condición de prueba para ralenti , se obtuvo:	7,6 mm a 300RPM
Recomendación:	
Para corregir el recorrido del valor obtenido a las 600 RPM, se actúa sobre la tuerca y perno de la càpsula de ralenti, ubicado en el interior del regulador (Fig. 226).	
Y la calibración de recorrido de la cremallera a un règimen de 300 RPM, se la efectúa por medio del perno de tope del ralenti (Fig. 227).	
Resultados luego de las calibraciones:	
Luego de calibrar la bomba con las condiciones de prueba prescritas, el resultado final es: a 600 RPM se tiene un recorrido de 2,7 mm en la cremallera y a 300 RPM se tiene un recorrido de 7,3mm .	

Figura 226. Calibración del tornillo càpsula de ralenti



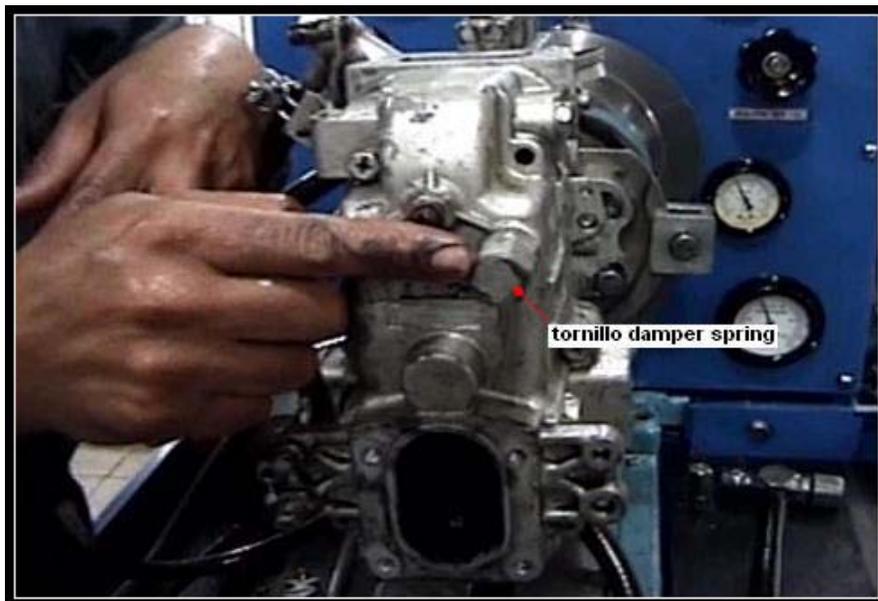
¹²⁵ Ficha técnica 101681-9230. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

Figura 227. Calibración del tornillo de tope para ralenti



Finalmente se verifica que el tornillo amortiguador damper spring (**Fig.228**) (tope de la cremallera) esté trabajando coordinadamente con las calibraciones del regulador efectuadas, evitando que la cremallera retroceda excesivamente y se desengrane de los elementos.

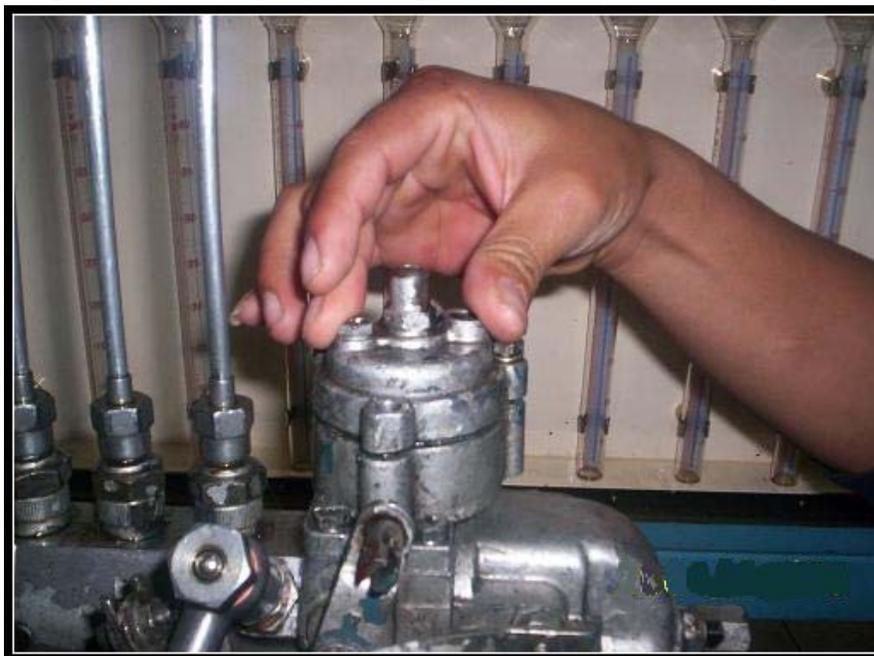
Figura 228. Verificación del tornillo tope de la cremallera



4.4.3.6 Pruebas con el diafragma LDA

Mediante estas pruebas, se simula la acción del turbo que actúa sobre la bomba de inyección cuando esta se encuentra funcionando en el motor. Para ello es necesario montar el diafragma LDA sobre el regulador (**Fig. 229**).

Figura 229. Montaje del diafragma LDA de la bomba de inyección



El proceso de trabajo es el siguiente:

- Montar el diafragma LDA y conectar la manguera de aire externo.
- Encender el banco y comprobar el caudal inyectado por los elementos de la bomba, sin enviar aire al diafragma.

Las condiciones para esta prueba son¹²⁶:

Règimen de la bomba :	600 RPM
Presión de alimentación:	1,5 bar
Recorrido de la cremallera :	10,4mm
Caudal inyectado:	5,3 a 5,7 cm ³ / 10,6 a 11,4 cm ³
Número de emboladas:	100/200
Presión de aire :	0bar

¹²⁶ Ficha técnica 101681-9230. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

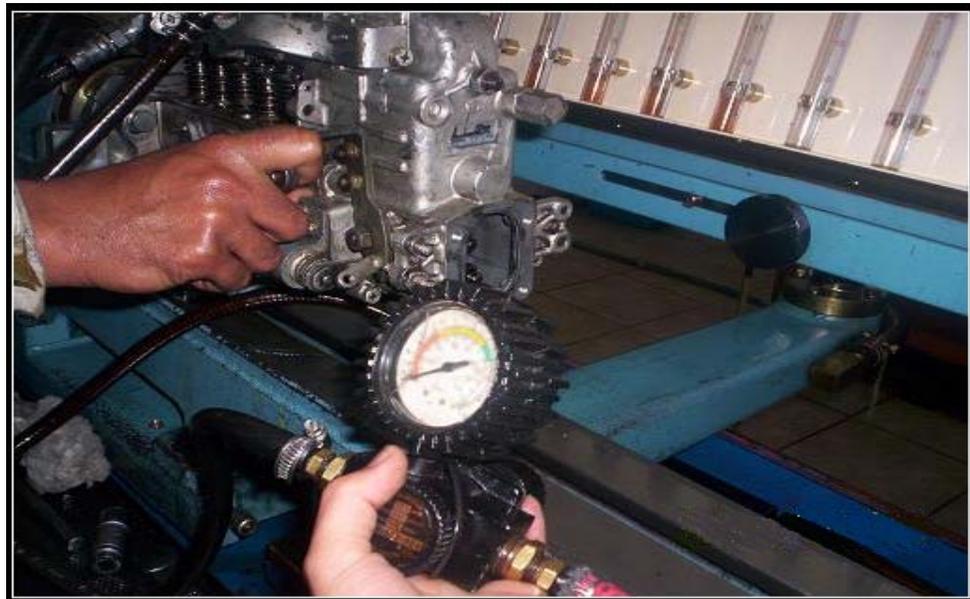
Los resultados obtenidos durante la verificación de la bomba sin la aplicación de aire al diafragma se detallan en la **tabla 50**.

Tabla 50. Resultados obtenidos con el diafragma LDA sin la aplicación de aire

Dato obtenido:		
Cilindro 1 : 5,3 cm ³ / 10,6 cm ³	Cilindro 2 : 5,3 cm ³ / 10,6 cm ³	Cilindro 3 : 5,2 cm ³ / 10,4 cm ³
Cilindro 4 : 5,2 cm ³ / 10,4 cm ³	Cilindro 5 : 4,8 cm ³ / 9,6 cm ³	Cilindro 6 : 5,2 cm ³ / 10,4 cm ³
Recomendación:		
Se recomienda para esta bomba, que el caudal inyectado esté entre 5,3 y 5,7 cm ³ con 100 emboladas y entre 10,6 a 11,4 cm ³ con 200 emboladas. En caso contrario se debe reparar la bomba de inyección.		
Resultados luego de las calibraciones:		
Estos caudales son de control únicamente y sirven para verificar todas las calibraciones efectuadas anteriormente. Por consiguiente no son calibrados.		
Cilindro 1 : 5,3 cm ³ / 10,6 cm ³	Cilindro 2 : 5,3 cm ³ / 10,6 cm ³	Cilindro 3 : 5,2 cm ³ / 10,4 cm ³
Cilindro 4 : 5,2 cm ³ / 10,4 cm ³	Cilindro 5 : 4,8 cm ³ / 9,6 cm ³	Cilindro 6 : 5,2 cm ³ / 10,4 cm ³

- A continuación, se efectúa la verificación del caudal inyectado aplicando aire al diafragma LDA (**Fig.230**). Antes de realizar la prueba, hay que cerciorarse que el aire que se está enviando haga actuar al diafragma para descartar que este presente fugas internas y no opere correctamente sobre la cremallera.

Figura 230. Alimentación de aire al diafragma LDA de la bomba de inyección



- Encender el banco y aplicar las siguientes condiciones¹²⁷:

Régimen de la bomba :	1600 RPM
Presión de alimentación:	1,5 bar
Recorrido de la cremallera :	11,2mm (automático)
Número de emboladas:	100
Presión de aire :	0,7bar
Caudal inyectado:	7,8 - 8,2cm ³

Los resultados de verificación de la prueba de caudal inyectado con la aplicación de aire al diafragma, se muestran en la **tabla 51**.

Tabla 51. Resultados obtenidos con el diafragma LDA aplicando aire

Dato obtenido:		
Cilindro 1 : 9 cm³	Cilindro 2: 9,5cm³	Cilindro 3: 9 cm³
Cilindro 4 : 9,5cm³	Cilindro 5: 9cm³	Cilindro 6: 9cm³
Cremallera : El regulador y el LDA colocan automáticamente a la cremallera en 11,2mm Sin embargo no se puede mantener en esta medida debido al mal estado del diafragma de la bomba, pues existe fuga de aire.		
Recomendación:		
Se recomienda para esta bomba, que el caudal inyectado esté entre 7,8 y 8,2 cm ³ . En caso contrario se debe reparar la bomba de inyección, pues a pesar de haber realizado las calibraciones especificadas por el fabricante, la bomba no se encuentra dentro de las tolerancias admitidas debido principalmente al mal estado de sus elementos de bombeo.		
Con la alimentación de aire (0,7 bar), el regulador debe colocar a la cremallera en la posición de recorrido especificada, si éste se encuentra bien calibrado.		
Resultados luego de las calibraciones:		
Estos caudales son de control únicamente y sirven para verificar todas las calibraciones efectuadas anteriormente. Por consiguiente no son calibrados.		
Cilindro 1 : 9 cm³	Cilindro 2: 9,5cm³	Cilindro 3: 9 cm³
Cilindro 4 : 9,5cm³	Cilindro 5: 9cm³	Cilindro 6: 9cm³
Cremallera : El regulador y el LDA colocan automáticamente a la cremallera en 11,2mm Sin embargo no se puede mantener en esta medida debido al mal estado del diafragma de la bomba, pues existe fuga de aire.		

4.4.3.7 Verificación del caudal de arranque

Esta verificación, consiste en medir nuevamente en las probetas graduadas el caudal inyectado a través de los elementos de cada cilindro.

El proceso de trabajo es el siguiente:

- Desconectar la manguera de alimentación del aire y desmontar el reloj comparador ubicado sobre la cremallera, no se necesita medir su recorrido.

¹²⁷ Ficha técnica 101681-9230. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

- Encender el banco y aplicar las condiciones¹²⁸ para esta prueba:

Régimen de la bomba :	100 RPM
Presión de alimentación:	1,5 bar
Número de emboladas:	100 / 200
Caudal inyectado:	7,2 a 7,6 cm ³ / 14,4 a 15,2cm ³
Varilla del acelerador a fondo	

- Verificar la medida obtenida en las probetas graduadas (Fig.231).

Figura 231. Medición del caudal de arranque (probetas 50ml)



En la **tabla 52**, se observan los resultados obtenidos en la prueba de control del caudal de arranque.

Tabla 52. Resultado de la prueba de control de caudal de arranque de la bomba tipo A

Datos obtenidos:		
Cilindro 1 : 4,4 cm³ / 8,8 cm³	Cilindro 2 : 4,5cm³ / 9 cm³	Cilindro 3 : 4,4 cm³ / 8,8 cm³
Cilindro 4 : 4,4cm³ / 8,8 cm³	Cilindro 5 : 3,5 cm³ / 7cm³	Cilindro 6 : 4,4cm³ / 8,8 cm³
Recomendación:		
Esta prueba debe arrojar valores similares a los de la prueba básica. Los caudales inyectados deben fluctuar entre 7,2 y 7,6 cm ³ con 100 emboladas o entre 14,4 a 15,2 con 200 emboladas. En este caso se observan valores muy inferiores a los establecidos, con lo cual se confirma el mal estado de esta bomba de inyección.		
Resultados luego de las calibraciones:		
Estos caudales son de control únicamente y sirven para verificar todas las calibraciones efectuadas anteriormente. Por consiguiente no son calibrados.		
Cilindro 1 : 4,4 cm³ / 8,8 cm³	Cilindro 2 : 4,5cm³ / 9 cm³	Cilindro 3 : 4,4 cm³ / 8,8 cm³
Cilindro 4 : 4,4cm³ / 8,8 cm³	Cilindro 5 : 3,5 cm³ / 7cm³	Cilindro 6 : 4,4cm³ / 8,8 cm³

¹²⁸ Ficha técnica 101681-9230. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

De esta manera se han concluido las pruebas de verificación de la bomba tipo A, en el banco del laboratorio¹²⁹ diesel. Los resultados obtenidos indican un mal estado de, de la misma y para dejarla en óptimas condiciones se recomienda repararla.

4.4.4 Tablas de comparación entre los resultados de reglaje de la bomba tipo A obtenidos en el banco de pruebas del laboratorio y el banco construido

Al igual que en el banco del laboratorio, se procedió a montar la bomba de inyección PES6A85C321RS000 tipo A en el banco construido, para efectuar las mismas comprobaciones y en condiciones similares a las realizadas en el laboratorio diesel.

Los resultados de comparación entre los dos bancos de prueba se exponen en las siguientes tablas:

¹²⁹ Banco de pruebas Bosch del laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.

Tabla 53. Homologación de los resultados obtenidos durante la verificación del estado de los elementos de la bomba tipo A

1ra PRUEBA : Verificación del estado de los elementos de bombeo	
Especificación : En los conductos auxiliares debe producirse el corte o goteo del líquido de prueba	
Resultados finales	Resultados finales
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO	BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO
En este caso, se detectó que los elementos de bomba se encuentran en mal estado. Durante esta prueba se observó que los chorros del líquido que cae por los conductos auxiliares y que viene desde cada uno de los elementos de bombeo no se corta ni gotea, solamente se adelgaza. Esta bomba no puede ser montada en un motor en este estado.	En este caso, se detectó que los elementos de bomba se encuentran en mal estado. Durante esta prueba se observó que los chorros del líquido que cae por los conductos auxiliares y que viene desde cada uno de los elementos de bombeo no se corta ni gotea, solamente se adelgaza. Esta bomba no puede ser montada en un motor en este estado.
RESUMEN DE LA HOMOLOGACIÓN:	
Igual	Diferente
x	0
Variación	
0	

Tabla 54. Homologación de los resultados obtenidos durante la prueba de pre-stroke de la bomba tipo A

2da PRUEBA : Pre-stroke (carrera del elemento)	
Especificación: 2,4 +/- 0,05 mm	
Especificación: 2,4 +/- 0,05 mm	
Resultados finales	Resultados finales
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO	BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO
Carrera útil del elemento de bombeo Nro 1: 2,4 mm	Carrera útil del elemento de bombeo Nro 1: 2,4 mm
RESUMEN DE LA HOMOLOGACIÓN:	
Igual	Diferente
X	0
Variación	
0 mm	

Tabla 55. Homologación de los resultados obtenidos durante la prueba de control del inicio y final de la inyección y del desfase de la bomba tipo A

3ra PRUEBA : Control del inicio y final de la inyección y del desfase de la bomba	
Tolerancia : +/- 1° (desfase)	Tolerancia : +/- 1° (desfase)
Tolerancia : +/- 0,5° (carrera útil)	Tolerancia : +/- 0,5° (carrera útil)
Resultados finales	
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO	BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO
En esta bomba no se puede apreciar un corte o goteo en los conductos auxiliares debido al mal estado de los elementos de bombeo. Luego de las calibraciones realizadas solo se observa que el chorro se adelgaza en el momento que se da el inicio de la inyección con un desfase de 60° entre cada cilindro de acuerdo al orden de encendido (1-4-2-6-3-5). Así:	En esta bomba no se puede apreciar un corte o goteo en los conductos auxiliares debido al mal estado de los elementos de bombeo. Luego de las calibraciones realizadas solo se observa que el chorro se adelgaza en el momento que se da el inicio de la inyección con un desfase de 60° entre cada cilindro de acuerdo al orden de encendido (1-4-2-6-3-5). Así:
Cilindro 1: 60° Cilindro 4: 120° Cilindro 2: 180°	Además en el banco construido, se puede apreciar una diferencia de 0,5° en los cilindros 4, 2 y 6. Así:
Cilindro 6: 240° Cilindro 3: 300° Cilindro 5: 0°	Cilindro 1: 60° Cilindro 4: 120,5° Cilindro 2: 180,5°
	Cilindro 6: 240,5° Cilindro 3: 300° Cilindro 5: 0°
RESUMEN DE LA HOMOLOGACIÓN:	
	Diferente
	Igual
Cilindro 1:	X
Cilindro 2:	X
Cilindro 3:	X
Cilindro 4:	X
Cilindro 5:	X
Cilindro 6:	X
	Variación
	0°
	0,5°
	0°
	0,5°
	0°
	0,5°

Tabla 56. Homologación de los resultados obtenidos durante la prueba de ajuste básico de la bomba tipo A

4ta PRUEBA : Ajuste básico		
Especificación: 72,8 a 76,0cm ³ - 1000RPM - 1000strokes - 11,2mm	Especificación: 72,8 a 76,0cm ³ - 1000RPM - 1000strokes - 11,2mm	
Dispersión: 0,4 cm ³ cada 100 emboladas	Dispersión: 0,4 cm ³ cada 100 emboladas	
Resultados finales	Resultados finales	
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO	BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO	
Luego de efectuar las calibraciones necesarias se obtuvieron los siguientes resultados:	Luego de efectuar las calibraciones necesarias se obtuvieron los siguientes resultados:	
Cilindro 1: 74,5 cm ³ Cilindro 2: 74,5cm ³ Cilindro 3: 72 cm ³	Cilindro 1: 71 cm ³ Cilindro 2: 71 cm ³ Cilindro 3: 68 cm ³	
Cilindro 4: 72 cm ³ Cilindro 5: 72 cm ³ Cilindro 6: 74 cm ³	Cilindro 4: 66 cm ³ Cilindro 5: 66 cm ³ Cilindro 6: 70 cm ³	
RESUMEN DE LA HOMOLOGACIÓN:		
	Igual	Diferente
Cilindro 1:		X
Cilindro 2:		X
Cilindro 3:		X
Cilindro 4:		X
Cilindro 5:		X
Cilindro 6:		X
		Variación
		3,5 cm ³
		3,5 cm ³
		4 cm ³
		6 cm ³
		6 cm ³
		4 cm ³

Tabla 57. Homologación de los resultados obtenidos durante la verificación del regulador de la bomba tipo A

5ta PRUEBA : Verificación del regulador (recorrido del manguito)			
Especificación 1 : 11,2 mm a 1600RPM		Especificación 1 : 11,2 mm a 1600RPM	
Especificación 2 : 2,7 mm a 600 RPM		Especificación 2 : 2,7 mm a 600 RPM	
Especificación 3 : 7,3 mm a 300 RPM		Especificación 3 : 7,3 mm a 300 RPM	
Especificación 4 : Corte de inyección a 1750RPM		Especificación 4 : Corte de inyección a 1750RPM	
Resultados finales		Resultados finales	
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO		BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO	
1. Carrera del manguito a 1600 RPM:	11,2 mm	1. Carrera del manguito a 1600 RPM:	11,2 mm
2. Carrera del manguito a 600 RPM:	2,7 mm	2. Carrera del manguito a 600 RPM:	2,7 mm
3. Carrera del manguito a 300 RPM:	7,3 mm	3. Carrera del manguito a 300 RPM:	7,8 mm
4. Comienzo del corte de inyección a :	1755 RPM	4. Comienzo del corte de inyección a :	1755 RPM
RESUMEN DE LA HOMOLOGACIÓN:			
	Igual	Diferente	Variación
1.	X		0mm
2.	X		0mm
3.		X	0,5mm
4.	X		0RPM

Tabla 58. Homologación de los resultados obtenidos durante las pruebas con el diafragma LDA de la bomba tipo A

6ta PRUEBA : Pruebas con el diafragma LDA			
1. Diafragma LDA desconectado (sin aire)			
Especificación: 5,3 a 5,7cm3 - 600 RPM - 100 strokes - 10,4mm - 0bar (sin aire) Especificación: 5,3 a 5,7cm3 - 600 RPM - 100 strokes - 10,4mm - 0bar (sin aire) o 10,6 a 11,4 cm3 a 200 strokes Dispersión: 0,4 cm3 cada 100 emboladas Dispersión: 0,4 cm3 cada 100 emboladas			
Resultados finales			
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO		BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO	
Los caudales obtenidos sirven para verificar todas las calibraciones anteriores y el estado de la bomba de inyección:			
Cilindro 1: 5,3cm3 / 10,6 cm3	Cilindro 2: 5,3cm3 / 10,6 cm3	Cilindro 3: 5,2cm3 / 10,4 cm3	Cilindro 3: 4,2 cm3 / 8,4 cm3
Cilindro 4: 5,2cm3 / 10,4 cm3	Cilindro 5: 4,8cm3 / 9,6 cm3	Cilindro 6: 5,2cm3 / 10,4cm3	Cilindro 6: 4,5 cm3 / 9 cm3
RESUMEN DE LA HOMOLOGACION:			
	Igual (100 strks)	Diferente (100 strks)	Variación (100 strks)
Cilindro 1:		X	0,6 cm3
Cilindro 2:	X		0,3 cm3
Cilindro 3:	X		1 cm3
Cilindro 4:	X		0,2 cm3
Cilindro 5:	X		0,3 cm3
Cilindro 6:	X		0,7 cm3
2. Diafragma LDA conectado (con aire)			
Especificación: 7,8 a 8,2cm3 -1600 RPM - 100 strokes - 0,7bar (presión de aire) Especificación: 7,8 a 8,2cm3 -1600 RPM - 100 strokes - 0,7bar (presión de aire)			
El regulador y el LDA debe colocar automáticamente a la cremallera en 11,2mm			
Resultados finales			
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO		BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO	
Los caudales obtenidos sirven para verificar todas las calibraciones anteriores y el estado de la bomba de inyección:			
Cilindro 1: 9 cm3	Cilindro 2: 9,5cm3	Cilindro 3: 9 cm3	Cilindro 3: 9,5 cm3
Cilindro 4: 9,5cm3	Cilindro 5: 9 cm3	Cilindro 6: 9 cm3	Cilindro 6: 8 cm3
RESUMEN DE LA HOMOLOGACION:			
	Igual	Diferente	Variación
Cilindro 1:		X	1 cm3
Cilindro 2:	X		0 cm3
Cilindro 3:		X	0,5 cm3
Cilindro 4:	X		0,5 cm3
Cilindro 5:	X		0,4 cm3
Cilindro 6:	X		1 cm3

Tabla 59. Homologación de los resultados obtenidos durante la verificación del caudal de arranque de la bomba tipo A

7ma PRUEBA : Verificación del caudal de arranque						
Especificación: 7,2 a 7,6 cm3 -- 100RPM -- 100strocks			Especificación: 7,2 a 7,6 cm3 -- 100RPM -- 100strocks			
o 14,4 a 15,2 con 200 strocks. Varilla del acelerador: a fondo.			o 14,4 a 15,2 con 200 strocks. Varilla del acelerador: a fondo.			
Dispersión: 0,4 cm3 cada 100 emboladas			Dispersión: 0,4 cm3 cada 100 emboladas			
Resultados finales			Resultados finales			
BANCO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO			BANCO DE PRUEBAS CONSTRUIDO			
Los valores obtenidos están por debajo de lo especificado, ratificando el mal estado en el que se encuentra la bomba de inyección. Con los datos obtenidos resultaría imposible encender al motor al que corresponde esta bomba.			Los valores obtenidos están por debajo de lo especificado, ratificando el mal estado en el que se encuentra la bomba de inyección. Con los datos obtenidos resultaría imposible encender al motor al que corresponde esta bomba.			
A 100 emboladas:			A 100 emboladas:			
Cilindro 1: 4,4cm3	Cilindro 2: 4,5cm3	Cilindro 3: 4,4cm3	Cilindro 1: 6 cm3	Cilindro 2: 5 cm3	Cilindro 3: 5 cm3	
Cilindro 4: 4,2cm3	Cilindro 5: 3,5 cm3	Cilindro 6: 4,4cm3	Cilindro 4: 5 cm3	Cilindro 5: 4,5 cm3	Cilindro 6: 5,2 cm3	
A 200 emboladas:			A 200 emboladas:			
Cilindro 1: 8,8 cm3	Cilindro 2: 9 cm3	Cilindro 3: 8,8 cm3	Cilindro 1: 9,5 cm3	Cilindro 2: 10,2 cm3	Cilindro 3: 9 cm3	
Cilindro 4: 8,8 cm3	Cilindro 5: 7 cm3	Cilindro 6: 8,8 cm3	Cilindro 4: 10 cm3	Cilindro 5: 8 cm3	Cilindro 6: 10 cm3	
RESUMEN DE LA HOMOLOGACIÓN:						
A 100 strocks						
	Igual	Diferente	Variación	Igual	Diferente	Variación
Cilindro 1:		X	1,6 cm3		X	0,7 cm3
Cilindro 2:		X	0,5 cm3		X	1,2 cm3
Cilindro 3:		X	0,6 cm3		X	0,2 cm3
Cilindro 4:		X	0,8 cm3		X	1,2 cm3
Cilindro 5:		X	1 cm3		X	1 cm3
Cilindro 6:		X	0,8 cm3		X	1,2 cm3
A 200 strocks						

CONCLUSIONES PARCIALES:

El banco de pruebas del laboratorio diesel¹³⁰, ha sido empleado como patrón de medida para el banco construido; los resultados obtenidos durante la verificación de las dos bombas de inyección (una tipo A y otra tipo P) son bastante similares. Las pequeñas variaciones que se presentan pueden producirse por varios factores como la diferencia de revoluciones que están entre $-/+ 10$, pues en el banco del laboratorio la fijación de las mismas no fue exacto ya que depende del operario técnico que a veces sitúa el valor bien próximo pero no se esmera en aplicar lo prescrito en la ficha técnica, a diferencia del banco construido con mando electrónico en el cual los valores de prueba han sido introducidos por medio de un teclado.

Otra causa puede ser que los inyectores o el líquido de prueba se ensucian rápidamente por el ambiente en el que se efectuaron las pruebas (excesivo polvo) y debido a que los inyectores del banco construido son de tipo orificio de un motor diesel normal y necesitan ser limpiados con mayor frecuencia en esta aplicación; a diferencia de los del laboratorio que son de tipo tetón y no pulverizan el líquido, lo que permite que el combustible caiga con mayor facilidad hacia las probetas; la diferencia de caudal inyectado entre los dos tipos de inyectores es aproximadamente de $0,5\text{cm}^3$ cada 100 emboladas. Además, hay que considerar el mal estado de las bombas de inyección probadas, que necesitan una reparación completa, todos estos aspectos derivan en la diferencia de resultados en las pruebas de comparación. Para una mejor evaluación de los resultados obtenidos en el banco construido, se recomienda efectuar las pruebas de comprobación con bombas de inyección en buen estado y con inyectores nuevos de tipo tetón.

Finalmente, se concluye que el banco construido cuenta con los recursos necesarios para su correcta operación y que está en capacidad de elaborar todas las pruebas de control en las bombas de inyección para las que ha sido diseñado. Su funcionamiento ha sido el adecuado, no se han presentado averías o contratiempos producidos por la falla de alguno de los sistemas que lo conforman, la operación del mismo resultó fácil y sencilla, permitiendo colocar o introducir las condiciones establecidas por el fabricante para cada prueba sin ningún problema.

¹³⁰ Banco de pruebas Bosch del laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador

CAPÍTULO V

MANTENIMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS

INTRODUCCIÓN:

Antes de operar esta máquina, es recomendable leer atentamente todas las sugerencias que se dan a conocer en el capítulo V. En este último capítulo, se dará énfasis a las operaciones y cuidados necesarios que deben realizarse para que los sistemas que conforman el banco de pruebas construido puedan seguir funcionando adecuadamente. Los cuidados que debe recibir el banco son los mismos que recibiría una máquina industrial, con la adición de ciertas recomendaciones específicas dadas por sus constructores; lo que ayuda a prolongar la vida útil de todos sus componentes, siendo fundamental para el óptimo rendimiento y confiabilidad durante su funcionamiento.

Además dentro del mantenimiento, está prevista la seguridad que es muy importante, a la hora de manejar el banco de pruebas, no se debe dejar de informar de cualquier anomalía durante la puesta en marcha o funcionamiento de la máquina. Informar si se oye golpes, se huele aislante quemado, metal caliente, si se sienten cambios en el funcionamiento del banco, si se ven problemas en las conexiones y los cables, en el sistema eléctrico, fugas en el sistema hidráulico o anomalías en los otros componentes.

Los períodos de mantenimiento de los componentes del banco de pruebas están dados en gran parte por el propio banco, gracias a su diseño electrónico, éste dispone en su programa de un contador de horas que va a dar aviso de los mantenimientos que deben irse efectuando, lo cual será visualizado en la pantalla TD-200C con la que cuenta el banco.

5.1 Mantenimiento de los elementos mecánicos

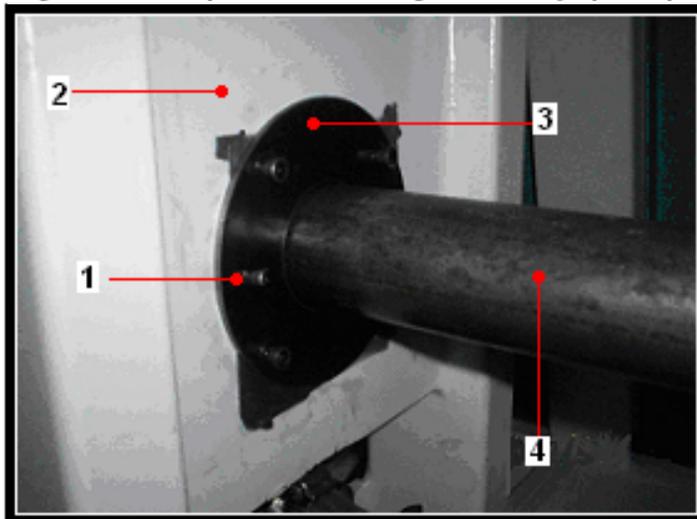
El banco de pruebas está constituido en su gran mayoría por elementos mecánicos, los mismos que al estar expuestos al ambiente pueden sufrir corrosión. La primera recomendación que se puede citar es la de preservarla contra la intemperie siempre que sea posible. El banco debe ser ubicado en un lugar lo más plano posible, sin la presencia de humedad, protegido bajo un techo y de ser factible luego de su utilización guarnecerlo bajo un cobertor propio para el banco. También es necesario limpiar la máquina regularmente para evitar que agentes externos como el polvo se adhieran a la estructura y cubiertas.

Otras recomendaciones importantes para dar un buen mantenimiento a la parte mecánica del banco construido son las siguientes:

5.1.1 Engrase de los rodamientos del eje principal

Los rodamientos empleados en el eje principal del banco de pruebas (**Fig. 232**), de acuerdo a los cálculos realizados anteriormente (capítulo 2) tienen una vida nominal de 3447,99 millones de revoluciones. Sin embargo durante su funcionamiento, periódicamente deben ser engrasados para mantener su óptimo desempeño de trabajo; para ello se ha montado dos graseros (1) ubicados uno en cada tapa (3) que cubre el alojamiento de los rodamientos practicado en la placa soporte (2), por medio del cual puede enviarse grasa al interior del mismo.

Figura 232. Dispositivos de engrase del eje principal



1.Grasero 2.Placa soporte (aloja a los rodamientos) 3.Tapa 4.Eje

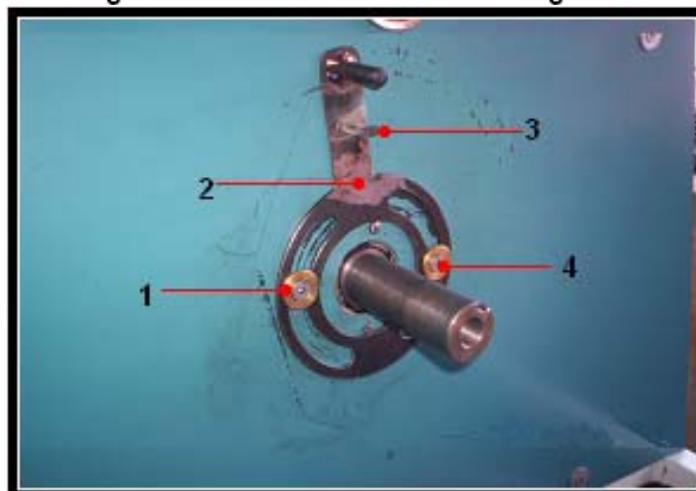
Las tapas que cubren a los rodamientos cumplen con la función de retenes evitando que la grasa se desparrame al interior del banco. En la parte frontal, entre el cabezal y la placa de soporte del rodamiento de este lado, así como en la parte posterior entre la polea y la placa de soporte del rodamiento se dispone de retenes de caucho que mantienen la grasa en el interior de los alojamientos. Se recomienda engrasar los rodamientos del eje cada 192 horas de funcionamiento, considerando un trabajo del banco de 8 horas diarias.

Además, se debe considerar la posible presencia de fallos prematuros de estos elementos, causados por agentes externos (sobrecarga, suciedad, humedad, etc) por lo que se debe verificar que no existan ruidos extraños durante su funcionamiento. Cuando sea necesario, la sustitución de los mismos debe efectuarse desmontando los siguientes elementos: cabezal, retén delantero, polea, retén posterior, tapas de los alojamientos y eje principal.

5.1.2 Verificación del sistema selector de grados

Este sistema (**Fig.233**) cuenta con dos arandelas de bronce (1) para disminuir la fricción y evitar que el disco (2) que lleva el puntero (3) sufra desgaste. De esta manera los elementos que se deterioran primero son las arandelas; se recomienda sustituir estas arandelas cada 2000 horas de funcionamiento del banco o cuando ya se ha producido un desgaste por el contacto que hay entre estos elementos y se desea un firme funcionamiento del puntero bastará con sustituir las arandelas de bronce o también se puede dar un mayor apriete a los tornillos (4) que sujetan a las mismas.

Figura 233. Mecanismo selector de grados



1.Arandela de bronce 2.Disco 3.Puntero 4.Tornillo de sujeción

5.1.3 Verificación del sistema de unión elástico

El sistema de unión elástico (**Fig.234**) entre la bomba y el cabezal del banco de pruebas debe ser ajustado correctamente durante el montaje de la misma, caso contrario puede sufrir un desgaste prematuro de sus componentes, lo que va a originar ruidos y cabeceos en este sistema durante su funcionamiento. Además, un ajuste indebido de estos elementos puede resultar peligroso para el operario ya que pueden desprenderse y salir como un proyectil al cuerpo del mismo.

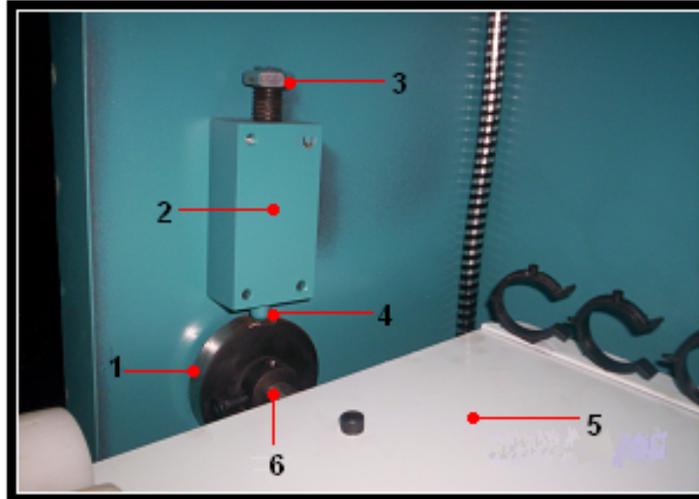
Figura 234. Verificación de los dispositivos de unión elástica



5.1.4 Control del mecanismo de traba de la placa porta-probetas

Por medio del mecanismo de traba del eje y placa porta-probetas (**Fig.235**), se mantiene el control vertical de las probetas. Si la placa porta-probetas (5) no se encuentra firme, se procede a calibrar por medio de la tuerca (3), que controla la tensión de un muelle ubicado en el interior del soporte (2) y que a su vez empuja al bulón (4) que se aloja en una cavidad de la arandela (1). De igual forma si la placa porta-probetas presenta una excesiva firmeza al momento de realizar el vaciado de las probetas se procede a descalibrar este mecanismo por medio de la misma tuerca (3). Este mecanismo recibe lubricación del propio líquido de pruebas (diesel), por lo que sus elementos no sufren mayor desgaste y se puede considerar a este mecanismo de libre mantenimiento.

Figura 235. Control del mecanismo de traba del eje y placa porta-probetas

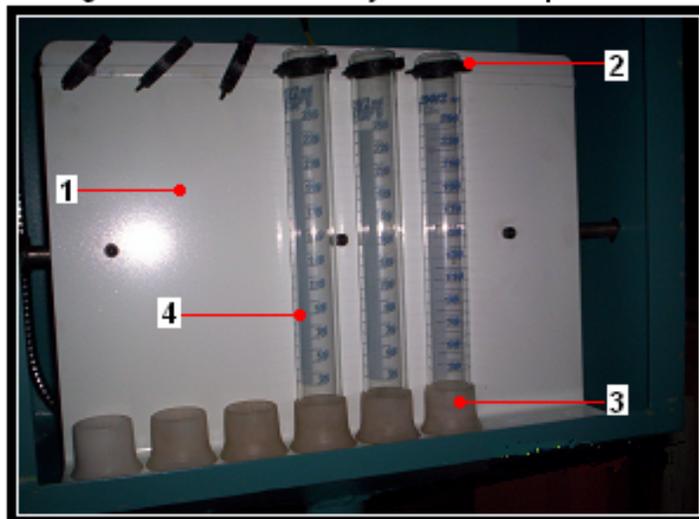


1. Arandela 2. Soporte 3. Tuerca de calibración
4. Bulón 5. Placa porta-probetas 6. Eje porta-probetas

5.1.5 Verificación de las bases de sujeción de las probetas

En la **figura 236**, se observa que las probetas (4) se sujetan a la placa (1) por medio de dos tipos de bases, las superiores (2) que tienen forma de abrazaderas y evitan que las probetas se desplacen hacia los lados y las inferiores (3) en donde se alojan las probetas a presión y se evita que las mismas se caigan cuando se gira la placa (1).

Figura 236. Bases de sujeción de las probetas



1. Placa porta-probetas 2. Abrazaderas 3. Bases inferiores 4. Probetas

Se recomienda revisar periódicamente estas bases para prevenir una caída de las probetas, pues las bases de sujeción pueden aflojarse y deben ser ajustadas por medio de los tornillos que las sujetan en la parte inferior.

5.1.6 Verificación de la placa de corte de combustible

La placa de acero inoxidable del sistema de corte de combustible (**Fig.237**), debe ser revisada con el fin de observar en esta su perfecta horizontalidad, que no exista deformaciones y controlar su apriete correcto para evitar vibraciones excesivas de la misma.

Figura 237. Verificación de la placa de corte de combustible



5.1.7 Verificación de las cubiertas del banco

Todas las cubiertas del banco de pruebas pueden ser desmontadas, esto facilita la limpieza de cada una y control de los elementos internos. Las cubiertas se sujetan a la estructura del banco por medio de tornillos, por lo que es necesario verificar y controlar el apriete de cada tornillo para evitar ruidos por vibración durante el funcionamiento del banco.

Figura 238. Verificación de las cubiertas del banco



Además, hay que subrayar que todos los elementos mecánicos del banco de pruebas (**Fig.239**), requieren de una inspección visual, limpieza y un control del apriete de los tornillos que los sujetan como por ejemplo los conos porta-inyectores (1), la caja porta-probetas (2), la malla de protección (3), la mesa de sujeción (4), el cabezal (5) y la caja que aloja a la pantalla TD-200 (6).

Figura 239. Inspección de elementos mecánicos del banco



1.Conos porta - inyectores 2.Caja porta - probetas 3.Malla de protección
4.Mesa de sujeción 5.Cabezal 6.Caja de alojamiento de la pantalla TD-200C

5.2 Mantenimiento de los elementos eléctricos y electrónicos.

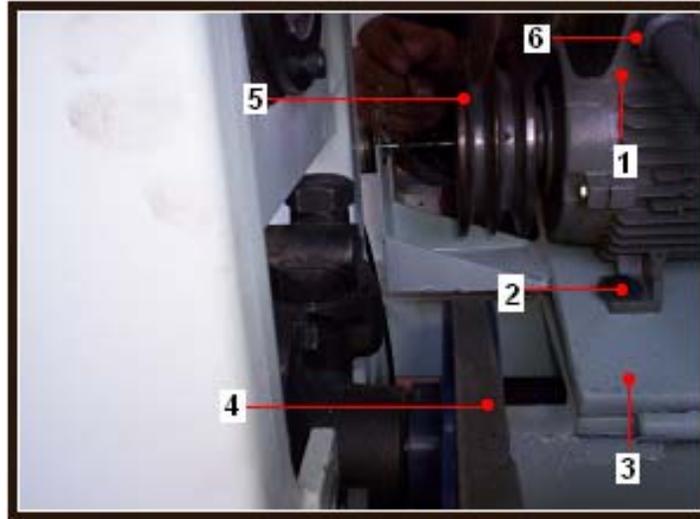
El banco de pruebas construido basa su control de funcionamiento en el sistema eléctrico-electrónico, por lo tanto el mantenimiento de este sistema es muy importante y se deben considerar todas las recomendaciones de operación y precauciones de seguridad.

Una de las principales recomendaciones es la de asegurarse de que los cables de alimentación tengan una conexión adecuada a tierra. Es importante tener en cuenta que se está trabajando con instrumentos eléctricos en un ambiente húmedo (diesel), la conexión a tierra adecuada disminuye el peligro de recibir una descarga eléctrica. Inspeccionar frecuentemente los cables de alimentación para asegurarse de que no estén dañados. Los componentes que estén dañados deben ser reemplazados o reparados. No mover los instrumentos eléctricos tirando de sus cables.

5.2.1 Control de los motores eléctricos

Los motores eléctricos (**Fig.240**) principal y secundario, son los elementos que dan movimiento al eje principal del banco y a la bomba de alimentación respectivamente. Los dos motores se sujetan por medio de tornillos sobre unas placas, las cuales permiten tensar las bandas de transmisión, cuyo apriete debe ser verificado periódicamente para evitar la vibración durante su funcionamiento.

Figura 240. Inspección de los motores eléctricos



**1.Motor eléctrico 2.Pernos de sujeción 3.Placas de apoyo
4.Banda de transmisión 5.Polea 6.Conexión de alimentación**

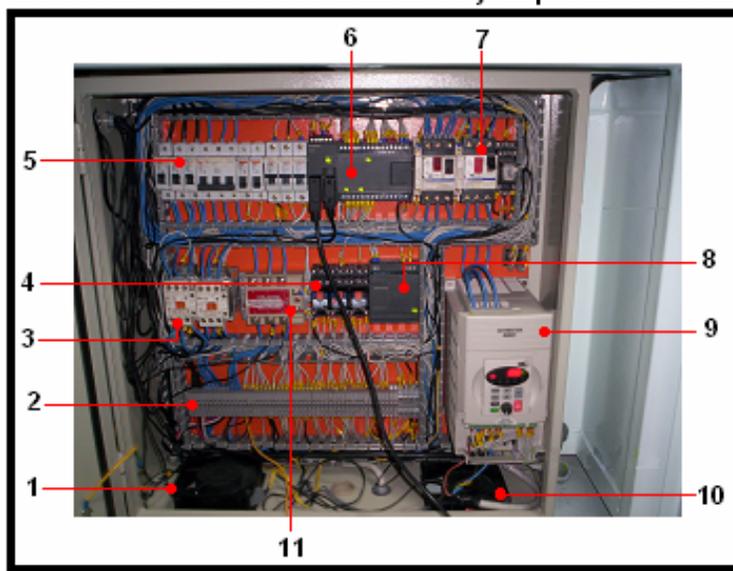
Además, se debe controlar las conexiones de alimentación de la fuente a los motores, las cuales están ubicadas en la parte superior de cada motor. Como las condiciones de servicio son tan variadas, los periodos de inspección dependen del sitio de instalación, de la frecuencia de maniobras y de la carga de trabajo; sin embargo, el banco de pruebas lleva en su programa el mantenimiento y verificación total del motor secundario cada 2000 horas y en el caso del motor principal cada 3000 horas; considerando un funcionamiento de 8 horas diarias de trabajo; estos periodos son visualizados en la pantalla del banco cuando se hayan completado las horas de trabajo descritas.

Si los motores se encuentran durante este periodo en buen estado, se debe seguir con los mantenimientos de rutina y operando normalmente. En el caso que se detecten fallos de funcionamiento en periodos anteriores a los descritos es necesario dar una solución inmediata al problema que se presente. Para ello la ubicación de los motores presenta una fácil accesibilidad que permite realizar su desmontaje si es necesario.

5.2.2 Verificación de los elementos y dispositivos electrónicos

Los elementos electrónicos del banco de pruebas están ubicados en un tablero dispuesto en el interior de una caja metálica hermética (**Fig.241**), que se encuentra alojada en la parte inferior del banco. Siempre que se efectúen los controles periódicos de mantenimiento se debe verificar las conexiones de alimentación y salida de cada elemento, que no hayan cables con el aislante roto, que los ventiladores estén funcionando correctamente y que no exista la presencia de suciedad y humedad en el interior de la caja que pueda provocar daños y cortocircuitos en estos elementos.

Figura 241. Verificación de los elementos y dispositivos electrónicos



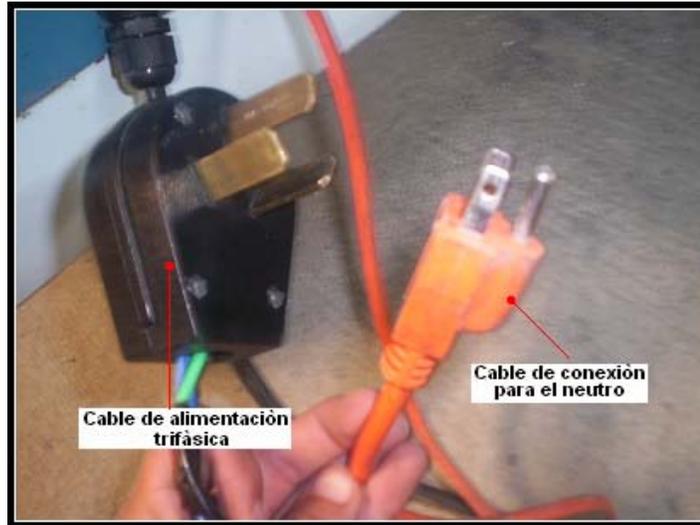
- 1.Ventilador disipador de calor 2.Borneras 3.Contactores
 4.Relés 5.Brakers 6.PLC 7.Tèrmicos (guardamotors)
 8.Fuente logo 9.Variador 10.Ventilador de ingreso de
 aire fresco 11.Relè de estado sòlido.

Otras recomendaciones que se dan a la hora de realizar un mantenimiento en estos elementos son:

- Verificar los voltajes de alimentación al banco de pruebas antes de encenderlo (**Fig.242**), pues es necesario dos tipos de conexión: una trifásica de 220V que alimenta al motor principal, al motor secundario y al variador de velocidad; y la otra que es un neutro que complementa la alimentación al PLC y ventiladores. Estos elementos funcionan con 110 voltios y un neutro; los 110 voltios son tomados internamente desde la conexión trifásica por lo tanto, desde el exterior se necesita

únicamente el neutro adicional; consecuentemente, se debe tomar la precaución de no conectar nuevamente la fase de 110V sino solamente el neutro, caso contrario el PLC y los ventiladores van a sufrir daños y a quemarse.

Figura 242. Cables de conexión para alimentar al banco de pruebas



5.2.2.1 Variador de velocidad

- Antes de hacer alguna revisión de conexión al variador (**9 Fig.241**) se debe desconectar toda la alimentación eléctrica y esperar unos 5 minutos para que los condensadores se descarguen.
- Cualquier modificación eléctrica o mecánica a este elemento puede ser riesgoso y anular la lista de parámetros de programación interna.
- No conectar el suministro de energía a los bornes de salida T1, T2 y T3
- No conectar fuentes de voltaje externas a las entradas discretas del variador.
- Para la conexión entre el variador y el motor se debe emplear siempre cables blindados para señal de control y revisar periódicamente que este se mantenga en buenas condiciones.
- Este elemento, dispone en su programa interno de un lenguaje de comunicación de errores de funcionamiento. Los códigos de error son visualizados en su propia pantalla.

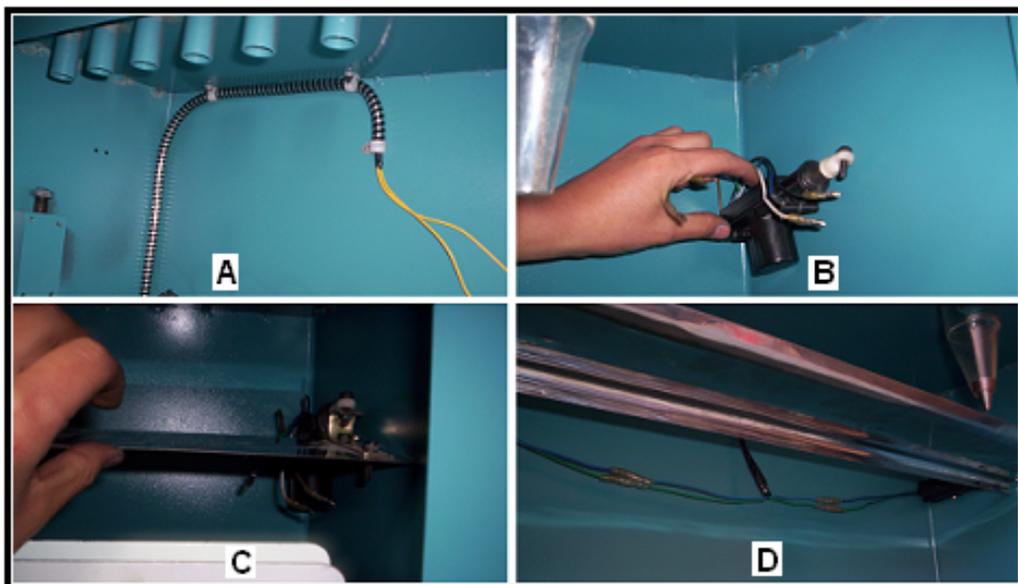
5.2.2.2 Controlador lógico programable PLC

Es el elemento (6 Fig.241) que almacena en su memoria el programa de manejo y control del banco de pruebas. Su revisión consiste en verificar el estado de sus conexiones para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema y evitar interferencias durante su actividad. Si se presentan fallos de funcionamiento, en la operación del banco es necesario revisar la programación de este elemento por medio de un ordenador y con el software correspondiente.

5.2.2.3 Verificación y control del sistema de corte de combustible

La corriente de alimentación, llega a los componentes de este sistema (Fig. 243) a través de dos cables que van desde la caja eléctrica hasta la caja porta-probetas por medio de una funda plástica (detalle A) que evita que estos cables entren en contacto directo con el diesel durante el funcionamiento del banco de pruebas. La corriente llega directamente hacia los motores actuadores ubicados en cada extremo de la placa de corte y atornillados a la caja porta-probetas (detalle B), por lo que es necesario controlar periódicamente que se encuentren bien apretados para evitar vibraciones y mal funcionamiento de estos elementos al ser accionados, ya que son los encargados de mover a la placa de corte de combustible (detalle C).

Figura 243. Verificación y control del sistema de corte de combustible



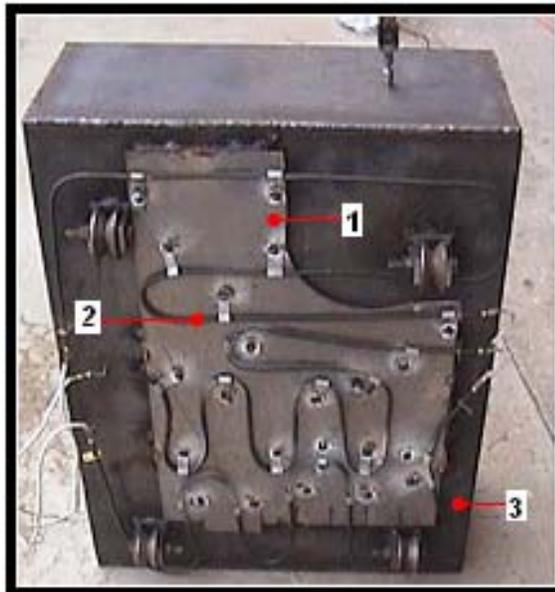
Los motores actuadores, en reposo permanecen con su eje salido gracias a la acción de un muelle ubicado entre la caja porta-probetas y la placa de corte. Cuando son accionados contraen su eje venciendo la acción del muelle y permitiendo que el combustible caiga en el interior de las probetas; por tal motivo las conexiones de los motores deben estar aisladas y en buen estado (detalle D).

5.2.2.4 Verificación de las niquelinas de calentamiento del combustible

Se recomienda tener gran cautela con estos elementos. El entorno de trabajo puede resultar peligroso si no se toman las precauciones de seguridad necesarias. Es importante evitar que el combustible de ensayo u otro elemento inflamable entre en contacto directo con las niquelinas porque puede producirse un incendio.

Para evitar este peligro, las niquelinas (**Fig.244**) han sido montadas sobre una placa refractaria ubicada bajo el tanque de combustible y aisladas dentro de una caja metálica; de modo que no está en contacto directo con el ambiente; sin embargo es necesario mantener las puertas del banco que dan a estos elementos cerradas mientras está funcionando el banco de pruebas con las niquelinas encendidas.

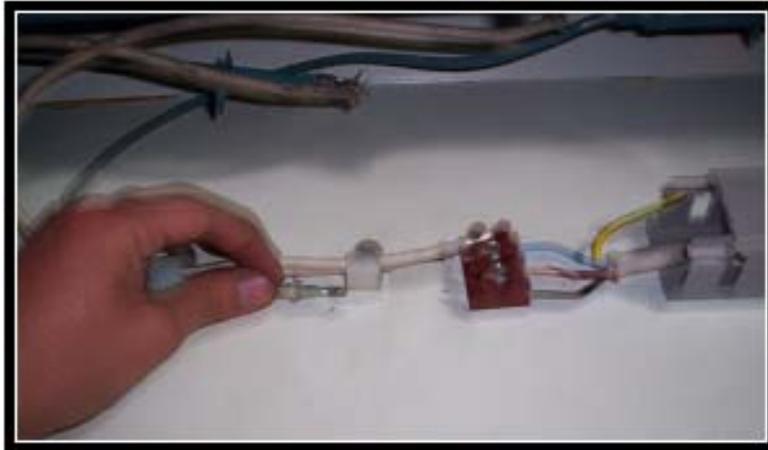
Figura 244. Control de las niquelinas de calentamiento del combustible



1.Placa refractaria 2.Niquelinas 3.Tanque

Antes de realizar la verificación de las mismas, hay que asegurarse que éstas no estén conectadas para evitar accidentes y quemaduras serias en el operador (**Fig.245**). Otra recomendación importante es la de observar que los cables de conexión de las niquelinas mantengan en buen estado su forro de aislamiento.

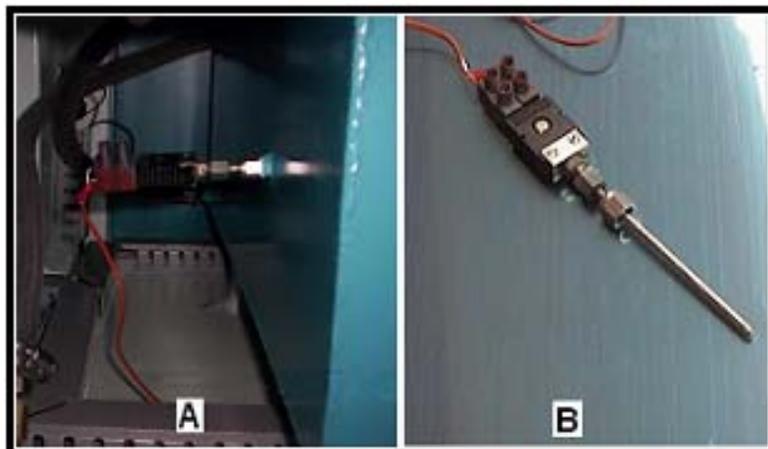
Figura 245. Verificación de la conexión de las niquelinas



5.2.2.5 Verificación del sensor de temperatura (termocupla)

En la **figura 246**, se observa el sensor de temperatura (termocupla). Durante las inspecciones de mantenimiento en la misma se debe verificar el estado de sus conexiones (detalle A) y que no presente golpes o picaduras en su cuerpo (detalleB).

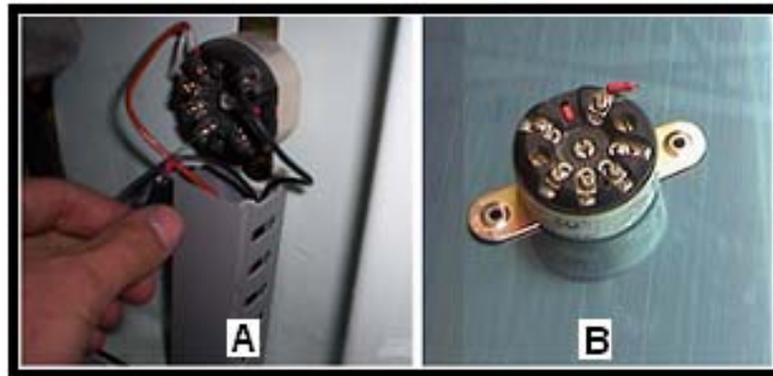
Figura 246. Verificación de la termocupla



5.2.2.6 Verificación del transmisor de temperatura

El transmisor (**Fig.247**) es un elemento importante en el control de la temperatura del combustible, se encuentra ubicado en un lugar con poca vibración para evitar fallos en la transmisión de señal hacia el PLC proveniente de la termocupla. Es necesario verificar que las conexiones de este elemento estén en buen estado para que el PLC reciba los datos exactos en su programa y desconecte las niquelinas cuando éstas ya han calentado al combustible a la temperatura de trabajo.

Figura 247. Verificación del transmisor de temperatura



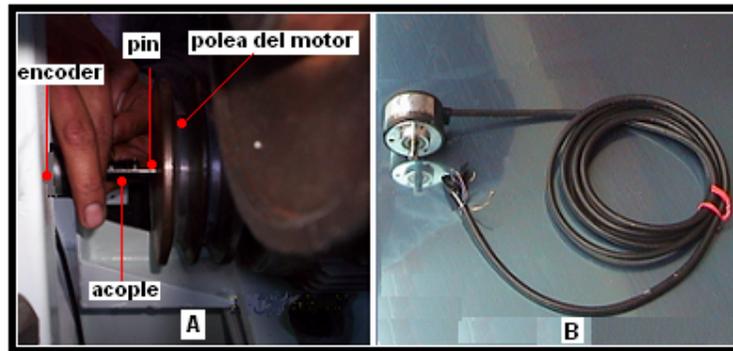
En el caso que se presenten fallos de funcionamiento de cualquiera de los elementos que controlan la temperatura del combustible de ensayo (niquelinas, termocupla y transmisor), se recomienda apagar este conjunto de elementos desde la pantalla de control TD-200C hasta solucionar el problema que se haya suscitado.

5.2.2.7 Inspección del sensor de revoluciones (encoder)

Este sensor (**Fig.248**), es el más importante de todos, durante su montaje se debe considerar la alineación entre el eje del encoder y el pin acoplado al eje del motor principal. El acople de unión entre el encoder y el motor principal tiene la función de absorber las oscilaciones excesivas durante la transmisión de movimiento del motor al sensor; por tal motivo se debe inspeccionar que el acople se encuentre en buenas condiciones y que no esté flojo o trizado.

Además, hay que verificar los tornillos que sujetan al encoder con su base para que éste se mantenga firme y no se produzca una desalineación que pueda provocar fallos de medición y daños al sensor y a su acople.

Figura 248. Inspección del sensor encoder



5.2.2.8 Canaletas de cableado

Todas las conexiones que salen desde la caja eléctrica en donde se alojan los componentes electrónicos, se dirigen a los elementos externos (sensores, niquelinas, motores, actuadores) por medio de canaletas (**Fig.249**) dispuestas en el interior del banco de pruebas.

Figura 249. Canaletas de cableado



5.3 Mantenimiento de los elementos del sistema hidráulico

El banco de pruebas está constituido por diversos elementos que conforman el sistema de alimentación hidráulico, como son: depósito de combustible, mangueras y cañerías, probetas, filtro de combustible, inyectores, bomba hidráulica y válvulas de control. El mantenimiento adecuado de este sistema asegura una buena alimentación a la bomba de inyección para efectuar sus comprobaciones.

Cuando se realicen intervenciones de verificación en el sistema hidráulico del banco de pruebas, deben tomarse una serie de consideraciones y precauciones como:

- * El líquido de ensayo es perjudicial para la piel, por lo cual es aconsejable no permanecer en contacto con el mismo durante tiempos prolongados.
- * Antes de desmontar cualquier componente del sistema deben limpiarse las conexiones de los mismos y las zonas circundantes para evitar que penetre suciedad en el circuito.
- * El líquido de ensayo puede deteriorar los componentes de goma y correas, por lo que debe evitarse todo tipo de derrame sobre ellos.
- * Durante la revisión del sistema hidráulico, debe comprobarse la ausencia de fugas de combustible, así como el estado y calidad del mismo.

Otras recomendaciones para dar un correcto mantenimiento de los componentes de este sistema son:

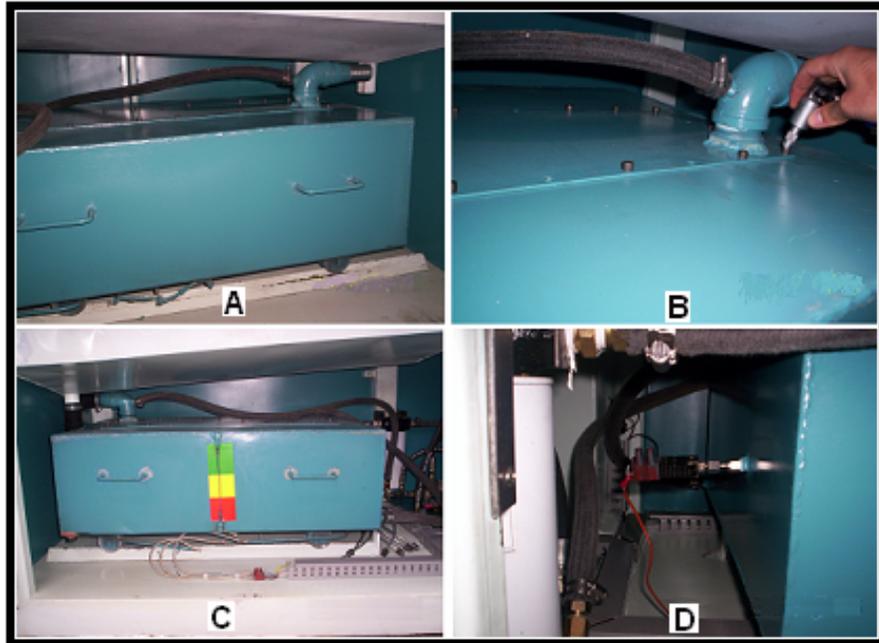
5.3.1 Verificación del depósito de combustible

La primera recomendación que se da para el control de este elemento (**Fig.250**), es la de verificar que no existan fugas de combustible en sus costuras soldadas y en los conductos de conexión (toma, retorno, sensor de temperatura, medidor de nivel y tapón de vaciado) (detalle C y D), esto puede ser peligroso ya que en la parte inferior del depósito se encuentran las niquelinas de calentamiento.

Para efectuar la limpieza interna del tanque de combustible, se dispone en la parte superior del mismo una tapa que permite el acceso a su interior (detalle B), en donde

se encuentra también un filtro auxiliar que retiene las impurezas provenientes del conducto de retorno. Este filtro debe ser inspeccionado periódicamente para evitar que el conducto de retorno se obstruya. Se recomienda su revisión cada 192 horas de funcionamiento del banco de pruebas.

Figura 250. Verificación del tanque de combustible



También, en la parte frontal del depósito (detalle C) se encuentra dispuesto un medidor de nivel, el cual debe ser observado con frecuencia para determinar si la cantidad de combustible es la óptima para el trabajo. Se recomienda mantener el nivel de combustible siempre en el nivel de lleno para evitar el ingreso de aire al circuito.

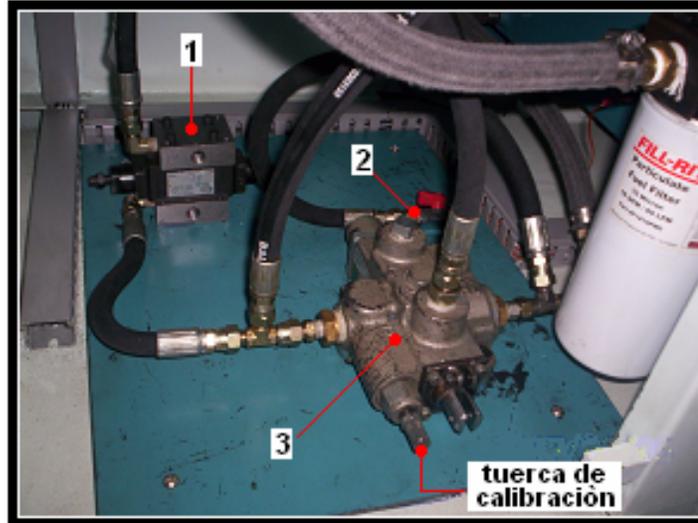
Además, con la finalidad de facilitar el desmontaje del tanque de combustible por razones de limpieza, cambio de líquido o para repararlo, éste cuenta con ruedas que se apoyan sobre dos rieles para poder desplazarlo hacia fuera (detalle A).

5.3.2 Verificación de las válvulas hidráulicas de control

Las válvulas hidráulicas de control (**Fig. 251**), están ubicadas en la parte inferior del banco de pruebas sobre una palca de apoyo, estas deben ser inspeccionadas para registrar que no haya fugas de combustible en el cuerpo de cada una, especialmente

en la válvula de control de caudal que está constituida por la unión de tres piezas de acero y retenes en los conductos de unión. También, es importante verificar las uniones y acoples de conexión entre cada elemento.

Figura 251. Verificación de las válvulas hidráulicas de control



1. Válvula reguladora de caudal (baja presión) 2. Válvula estranguladora de caudal 3. Válvula reguladora de presión (alta presión) tuerca de calibración

Otro aspecto a considerar, es que la presión de alimentación a la bomba de inyección por parte del sistema hidráulico está regulada por dos válvulas; en el caso de la alta presión se controla por la válvula reguladora (3) que mantiene su calibración original en 30bar, y la válvula de esfera (2) mantiene la presión de alimentación a 1.5bar. Si las presiones no son las indicadas por la ficha técnica al momento de realizar la comprobación de una bomba de inyección, estas pueden ser variadas por medio de las tuercas de calibración de cada válvula.

5.3.3 Verificación y control de los inyectores del banco de pruebas

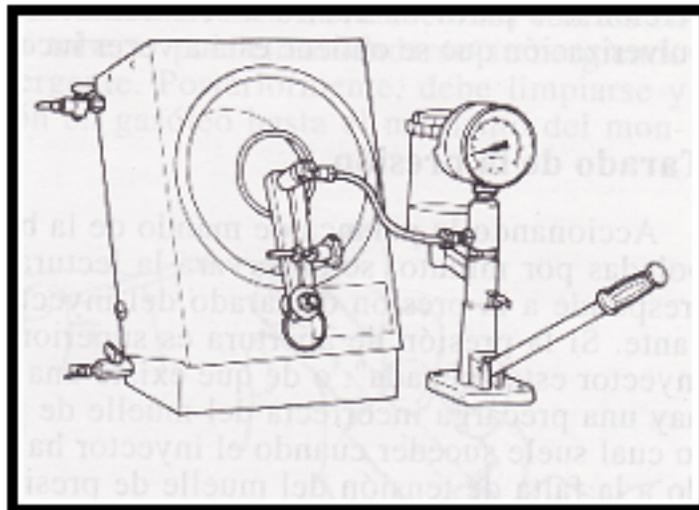
El mantenimiento de los inyectores debe realizarse en intervalos de 192 horas de trabajo o cuando se detecte un anormal funcionamiento de los mismos. El principal síntoma de mal funcionamiento de los inyectores (**Fig.252**) es la poca inyección de combustible, que puede afectar a la medición de caudales durante las pruebas de comprobación de una bomba de inyección.

Figura 252. Inspección de los inyectores del banco



Como los inyectores montados en el banco de pruebas corresponden a los de un motor Nissan FD6, el tratamiento para su mantenimiento es similar al los de los vehículos. Es decir, se emplea un comprobador (**Fig.253**) en el que se sitúa el inyector en un acoplamiento apropiado, conectando al mismo una tubería de alta presión que le hace llegar el combustible desde una bomba manual.

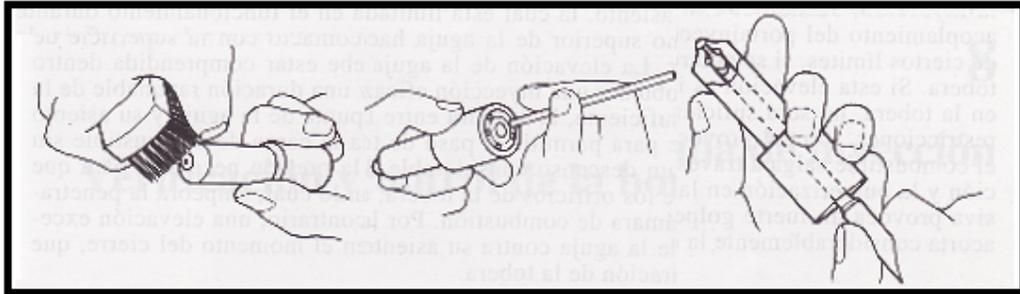
Figura 253. Comprobación de los inyectores en el banco



Los inyectores del banco de pruebas han sido calibrados inicialmente a una presión de apertura de 175 bar; cuando los inyectores sean desmontados para efectuar su

limpieza (**Fig.254**) es importante volver a calibrar los mismos a la presión indicada para evitar fallas de medición durante la comprobación de las bombas de inyección.

Figura 254. Limpieza de los inyectores de banco de pruebas

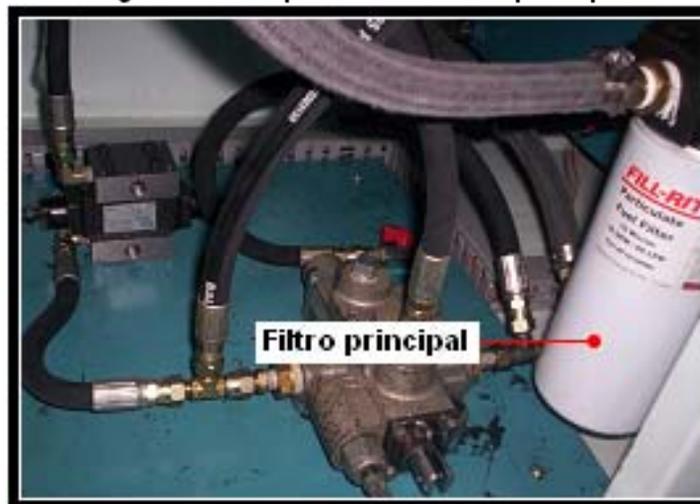


5.3.4 Verificación del líquido de ensayo y filtro principal

El líquido de ensayo empleado en el banco es el diesel, que por efectos de trabajo llega a deteriorarse; la recomendación que se hace en este sentido es la de sustituir el combustible de todo el circuito cada 200 horas de trabajo y según las condiciones del ambiente en el que se esté operando.

De igual forma el filtro principal (**Fig.255**) del circuito de combustible debe ser revisado y limpiado o sustituirlo cuando ha cumplido su vida útil de trabajo, se recomienda cambiarlo cada 800 horas de trabajo.

Figura 255. Inspección del filtro principal



5.3.5 Revisión de la bomba de alimentación

Luego de cambiar el líquido de ensayo es necesario purgar el circuito antes de realizar la comprobación de una bomba de inyección, la presencia de aire en el sistema puede deteriorar la bomba de alimentación (**Fig.256**), que produce ruido por el rozamiento interno de sus elementos al trabajar en seco, sin la lubricación que recibe del propio líquido de ensayo.

También es necesario verificar que el caudal brindado por la bomba de alimentación sea siempre constante, no presente fugas en sus conexiones y que sea capaz de brindar las presiones de alimentación que se requieren para comprobar las bombas de inyección.

Figura 256. Inspección de la bomba de alimentación



Finalmente se recomienda efectuar inspecciones periódicas en todo el sistema hidráulico (**Fig.257**) para detectar anomalías que pueden incidir en la comprobación de la bomba de inyección, como por ejemplo fugas de combustible entre los inyectores y porta-inyectores, picaduras o trizaduras en las probetas de medición, cañerías flojas y mangueras del sistema sueltas o en mal estado.

Figura 257. Inspección general del sistema hidráulico

5.4 Alarmas y tablas de mantenimiento

Todos los trabajos de mantenimiento deben ser efectuados en los periodos prescritos para cada uno de los elementos. El programa de funcionamiento del banco de pruebas controlado por el PLC, incluye en su memoria el contador que registra el número de horas que ha funcionado el banco y que se lo emplea para el mantenimiento del mismo. Cuando se llega al número de horas programadas el PLC manda a visualizar en la pantalla TD-200C, el mantenimiento que deber efectuarse. La lista de alarmas con las que cuenta el programa del banco de pruebas para realizar los mantenimientos básicos son:

- * Inspección general del banco de pruebas (alarma cada 48 horas de funcionamiento)
- * Mantenimiento preventivo de los elementos del banco (alarma cada 192 horas de funcionamiento)
- * Mantenimientos correctivos (alarma cada 200, 400 y 800 horas de funcionamiento)
- * Verificación del motor secundario (alarma cada 2000 horas de funcionamiento)
- * Verificación del motor principal (alarma cada 3000 horas de funcionamiento)

Todas las acciones de control, inspección y ejecución que deben efectuarse, se detallan en las siguientes tablas de mantenimiento:

Tabla 60. Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos mecánicos (48horas - semanal) Hoja 1 de 2

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS							
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	Nro. Horas	RECOMENDACIONES				
			Inspección (I)			Reparación (R)	Sustitución(S)
			ACTIVIDAD				
			(I)	(R)	(S)		
Estructura metálica (Fig.85)	Tubo estructural: 80mm x 40mm x 2mm	48	X			Efectuar su limpieza	
Cubiertas (Fig.87 y 238)	Plancha metálica: 2mm (espesor)	48	X			Efectuar su limpieza	
Eje de transmisión (Fig.88)	Acero de transmisión: SAE 1018	48	X			Efectuar su limpieza y verificar su libre giro	
Chavetas	Acero AISI 1020 laminado en caliente (HR)	48	X			Observar que se encuentren bien posicionadas	
Rodamientos del eje principal	NJ 2308	48	X			Verificar que no existan ruidos durante su funcionamiento	
Cabezal (Fig.91 y 239)	Acero de transmisión : SAE 1018 (Pavonado)	48	X			Efectuar su limpieza y controlar el apriete del tornillo frontal que le sujeta al eje principal	
Mecanismo selector de grados (Fig.92)	Disco: plancha metálica 2mm (espesor) Arandelas: bronce	48	X			Verificar el giro libre de este mecanismo	
Elementos de sujeción elástica (Fig.234)	Arandelas: plancha elástica 1mm (espesor) Cruceta, soporte y elementos móviles: acero de transmisión SAE 1018	48	X			Controlar el apriete de todos los pernos que sujetan a estos elementos, que no existan cabeceos y que permanezcan bien centrados	
Mesa de sujeción (Fig.239)	Placa de acero rectificada: 750mm x 339mm x 96mm. Pernos de sujeción hexagonal: ½ plg. x 2plg	48	X			Efectuar su limpieza, controlar que no existan impurezas en las canales de deslizamiento y controlar el apriete de sus pernos de sujeción.	

Tabla 60. Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos mecánicos (48horas - semanal) Hoja 2 de 2

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS							
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	Nro. Horas	RECOMENDACIONES				
			Inspección (I)			Reparación (R)	Sustitución(S)
			ACTIVIDAD				
			(I)	(R)	(S)		
Malla de protección (Fig.239)	Plancha tipo dibujo: 1mm (espesor)	48	X			Efectuar su limpieza	
Recolector de combustible (Fig.98)	Plancha de acero galvanizado: 1,2mm (espesor)	48	X			Inspección visual	
Caja porta probetas (Fig.100)	Plancha de acero: 2mm(espesor)	48	X			Efectuar su limpieza	
Placas porta-probetas (Fig.101 y 102)	Plancha de acero: 2mm (espesor)	48	X			Efectuar su limpieza y controlar el apriete de los tornillos que le sujetan al eje	
Eje de las placas porta-probetas (Fig.103)	Acero de transmisión: SAE 1018	48	X			Verificar la rigidez de giro	
Mecanismo de traba del eje porta-probetas (Fig.235)	Arandela giratoria: acero templado Eje: acero de transmisión	48	X			Verificar la fuerza de giro del eje porta-probetas. Si está muy suave o muy duro calibrar el mecanismo de traba	
Conos porta-inyectores (Fig.105)	Mica : 4mm (espesor)	48	X			Controlar el apriete de sus tornillos de sujeción	
Placa del sistema de corte de combustible (Fig.237)	Plancha de acero inoxidable: 1mm (espesor)	48	X			Verificar el apriete de sus tornillos de sujeción y la horizontalidad de la misma.	
Base de sujeción para la bomba tipo A (Fig.109)	Plancha de acero : 14mm (espesor)	48	X			Limpia la superficie que entra en contacto con la base de sujeción	
Base de sujeción para la bomba tipo P (Fig.110)	Plancha de acero : 14mm (espesor)	48	X			Limpia la superficie que entra en contacto con la base de sujeción	
Conos de transmisión (Fig.111)	Acero de transmisión: SAE 1018	48	X				
Poleas (Fig.113)	Acero de transmisión	48	X			Verificar el apriete del tornillo que la sujeta al eje del motor.	

Tabla 61. Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos eléctricos y electrónicos (48horas-semanal) Hoja 1 de 2

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS							
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	Nro. Horas	RECOMENDACIONES				
			Inspección (I)			Reparación (R)	Sustitución(S)
			ACTIVIDAD				
			(I)	(R)	(S)		
Motor principal (Fig. 119)	7,5 Hp / 3200RPM (Max) / 230V / 21A / 3PH	48	X			Verificar que no exista humedad, grasa ni suciedad. Controlar las conexiones de alimentación. Controlar el apriete de los tornillos que lo sujetan a su base.	
Motor secundario (Fig.141)	3 Hp / 1800RPM / 220V / 3PH	48	X			Verificar que no exista humedad, grasa ni suciedad. Controlar las conexiones de alimentación. Controlar el apriete de los tornillos que lo sujetan a su base.	
Variador de velocidad (Fig.121)	GS2-27P5 / 7,5 Hp / 3PH / 28 A / 60Hz	48	X			Inspeccionar visualmente sus conexiones y verificar la presencia de humedad	
Sensor de velocidad (encoder) (Fig.127)	Automation direct / 24V / 1000 pulsos por segundo	48	X			Verificar la alineación de su eje con el eje auxiliar del motor a través del acople de unión. Controlar el ajuste de los pernos que lo sujetan a la base	
Motores actuadores (Fig.129)	12V / 1,5A	48	X			Verificar que no exista humedad Controlar el ajuste de sus pernos	

Tabla 61. Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos eléctricos y electrónicos (48horas-semanal) Hoja 2 de 2

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (Semanal)							
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	Nro. Horas	RECOMENDACIONES				
			Inspección (I)			Reparación (R)	Sustitución(S)
			ACTIVIDAD				
			(I)	(R)	(S)		
PLC (Fig.130)	Siemens / S7-200 / CPU 224 XP/	48	X			Inspección visual de sus conexiones	
Pantalla HMI (Fig.134)	Siemens / TD-200C	48	X			Limpiar con un paño seco, evitar la humedad y la suciedad	
Fuente logo (Fig.136)	Siemens / Input: AC 100-240V / Output: DC 24V 2,5A	48	X			Inspección visual de sus conexiones	
Relés (Fig.136)	Schrack / PT376624 / Bobina 24V / 10A / 250V	48	X			Inspección visual de sus conexiones	
Relè de estado sólido (Fig.136)	Hanyoung / HSR-3A402Z / Input: 90 -264V AC / 40A / 50-60Hz	48	X			Inspección visual de sus conexiones	
Contactores (Fig.136)	LG / 230V / 30A	48	X			Inspección visual de sus conexiones	
Brakers (Fig.136)	Merlengerin / K32a C40A 230V AC (Cant.3) Merlengerin / K32a C16A 400V AC (Cant.1) Merlengerin / C60N C1A 230-400VAC (Cant.1) Merlengerin / C60N C2A 230-400VAC (Cant.2)	48	X			Inspección visual de sus conexiones	
Térmicos (guarda-motores) (Fig.136)	20 a 25 A / 7,5 Hp (1) 6 a 10 A / 3 Hp (1)	48	X			Inspección visual de sus conexiones	
Ventiladores (Fig.241)	110V / 0,5A	48	X			Inspección visual de sus conexiones	
Termocupla (Fig.246)	Tipo J	48	X			Inspección visual de sus conexiones	
Transmisor (Fig.247)	Honeywell / STT3000 SMART / -40 a +85°C / Supply 11-35Vdc / Output: 4-20mA	48	X			Inspección visual de sus conexiones	
Niquelinas	110V / 10A	48	X			Inspección visual de sus conexiones	

Tabla 62. Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos hidráulicos (48horas - semanal) Hoja 1 de 2

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS ELEMENTOS HIDRÁULICOS						
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	Nro. Horas	RECOMENDACIONES			
			Inspección (I)		Reparación (R)	Sustitución(S)
			ACTIVIDAD			
			(I)	(R)	(S)	
Bomba hidráulica (Fig.143)	EATON Bomba hidráulica de rodillos Capacidad: 12,61 a 830 RPM Caudal constante	48	X			Verificación de las conexiones de alimentación (inspección de fugas) Control de ajuste de los tornillos que la sujetan a la estructura
Válvula reguladora de presión (Fig.144 y 145)	Válvula de accionamiento mecánico Capacidad: regula hasta 100 bar de presión	48	X			Verificación de las conexiones de entrada, salida y retorno (inspección de fugas) Controlar que la calibración de esta válvula esté bajo los 35 Bar
Válvula reguladora de caudal (Fig.145)	Válvula de 4 vías. Calibración mecánica Placas de acero rectificadas (2)	48	X			Verificación de las conexiones de entrada, salida y retorno (inspección de fugas)
Válvula estranguladora de caudal (Fig.145)	Capacidad: 10 bar Regulación manual	48	X			Verificación de las conexiones de entrada y salida (inspección de fugas) Controlar que la calibración de esta válvula esté bajo los 2 Bar
Depósito de combustible (Fig.147)	Plancha de acero de 2mm Capacidad: 100 litros	48	X			Control en busca de fugas en: los conductos de entrada, salida, retorno tapón de vaciado, acople de la termocupla y costuras del tanque.

Tabla 62. Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos hidráulicos (48horas - semanal) Hoja 2 de 2

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS ELEMENTOS HIDRÁULICOS (Semanal)							
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	Nro. Horas	RECOMENDACIONES				
			Inspección (I)			Reparación (R)	Sustitución(S)
			ACTIVIDAD				
			(I)	(R)	(S)		
Cañerías de combustible (Fig.149)	Para la bomba tipo A: 2mm Di x 6mm De x 600L Para la bomba tipo P: 3mm Di x 6mm De x 600L	48	X			Inspección visual del estado de sus tuercas y acoples de unión	
Inyectores (Fig.150)	Nissan FD6 Calibración de apertura 175Bar	48	X			Verificación de la correcta inyección y comprobar que los tapones de retorno ubicados en la parte superior de los mismos estén abiertos	
Válvula de aguja y acoples (Fig.152)	Resistencia a la presión: 500 Bar	48	X			Control de fugas entre las válvulas y los acoples de unión	
Manguera hidráulica (Fig.145)	Balflex / DIN EN 853/ SAE 100 / 330Bar-4785PSI 3/8"	48	X			Control de fugas en las uniones y acoples	
Probetas (Fig.153 y 154)	Pequeñas: 50/1ml (Cant. 6) Grandes : 250/2ml (Cant. 6)	48	X			Verificación y ajuste de las bases de sujeción y abrazaderas	
Líquido de ensayo	Combustible diesel	48	X			Verificar que el líquido no esté sucio	
Filtro auxiliar	Elemento filtrante	48	X			Sacar la tapa superior del tanque y desmontar el filtro auxiliar para limpiarlo	
Filtro principal	FILL-RITE / 10 Micro Capacidad: 18GPM-69LPM	48	X			Inspección visual en busca de fugas por sus uniones	

Tabla 63. Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos mecánicos (192horas-trimestral) Hoja 1 de 2

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS							
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	Nro. Horas	RECOMENDACIONES				
			Inspección (I)			Reparación (R)	Sustitución(S)
			ACTIVIDAD				
			(I)	(R)	(S)		
Estructura metálica (Fig.85)	Tubo estructural: 80mm x 40mm x 2mm	192	X			Efectuar limpieza e inspeccionar la presencia de óxidos	
Cubiertas (Fig.87 y 238)	Plancha metálica: 2mm (espesor)	192	X			Efectuar limpieza e inspeccionar la presencia de óxidos	
Eje de transmisión (Fig.88 y 232)	Acero de transmisión: SAE 1018	192	X			Engrasar sus rodamientos	
Chavetas	Acero AISI 1020 laminado en caliente (HR)	192	X			Verificar su correcta posición, que permanezcan en sus alojamientos.	
Rodamientos del eje principal	NJ 2308	192	X			Engrasar	
Cabezal (Fig.91y 239)	Acero de transmisión : SAE 1018 (Pavonado)	192	X			Limpiar y aclarar los números que indican los grados del tambor si es necesario	
Mecanismo selector de grados (Fig.92)	Disco: plancha metálica 2mm (espesor) Arandelas: bronce	192	X			Verificar la facilidad de giro del disco y el estado de las arandelas o ajustar	
Elementos de sujeción elástica de la bomba al banco (Fig.93 y 234)	Arandelas: plancha elástica 1mm (espesor) Cruceta, soporte y elementos móviles: acero de transmisión SAE 1018	192	X			Ajustar los pernos que unen a los distintos elementos de este mecanismo. Verificar el estado de las arandelas	
Mesa de sujeción (Fig.96 y 239)	Placa de acero rectificada: 750mm x 339mm x 96mm. Pernos de sujeción hexagonal: ½ plg. x 2plg	192	X			Limpiar las canales por las que se deslizan los bujes.	

Tabla 63. Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos mecánicos (192horas-trimestral) Hoja 2 de 2

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS (Trimestral)							
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	Nro. Horas	RECOMENDACIONES				
			Inspección (I)			Reparación (R)	Sustitución(S)
			ACTIVIDAD				
			(I)	(R)	(S)		
Malla de protección (Fig.97 y 239)	Plancha tipo dibujo: 1mm (espesor)	192	X			Desmontar, efectuar su limpieza y la del colector.	
Recolector de combustible (Fig.98)	Plancha de acero galvanizado: 1,2mm (espesor)	192	X			Desmontar la malla de protección y efectuar la limpieza del recolector	
Caja porta probetas (Fig.100 y 239)	Plancha de acero: 2mm (espesor)	192	X			Limpieza e inspección general de los elementos que aloja esta caja.	
Placas porta-probetas (Fig.101 y 102)	Plancha de acero: 2mm (espesor)	192	X			Limpieza y ajuste de los tornillos que las sujetan con el eje porta-probetas	
Eje de las placas porta-probetas (Fig.101 y 103)	Acero de transmisión: SAE 1018	192	X			Verificación de la arandela de bronce ubicada entre las manijas y el eje.	
Mecanismo de traba del eje porta-probetas (Fig.235)	Arandela giratoria: acero templado Eje: acero de transmisión	192	X			Comprobar el ajuste de este mecanismo	
Dispositivos anti-dispersión (Fig.155)	Acero: 8mm (diámetro)	192	X			Ajustar los prisioneros de unión entre estos elementos y los inyectores.	
Placa del sistema de corte de combustible	Plancha de acero inoxidable: 1mm (espesor)	192	X			Ajustar los pernos que unen a esta placa con los actuadores eléctricos.	
Base de sujeción: tipo A (Fig.109)	Plancha de acero : 14mm (espesor)	192	X			Verificar la planicidad de la superficie de contacto con la base de sujeción	
Base de sujeción: tipo P (Fig.110)	Plancha de acero : 14mm (espesor)	192	X			Verificar la planicidad de la superficie de contacto con la base de sujeción	
Conos de transmisión (Fig.111)	Acero de transmisión: SAE 1018	192	X			Inspeccionar el estado de su rosca.	
Poleas (Fig.113)	Acero de transmisión	192	X			Verificar el apriete de los tornillos prisioneros que sujetan la polea al eje	

Tabla 64. Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos eléctricos y electrónicos (192horas-trimestral) Hoja 1 de 2

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (Trimestral)							
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	Nro. Horas	RECOMENDACIONES				
			Inspección (I)			Reparación (R)	Sustitución(S)
			ACTIVIDAD				
(I)	(R)	(S)					
Motor principal (Fig.119)	7,5 Hp / 3200RPM (Max) / 230V / 21A / 3PH	192	X			Verificar la tensión de las bandas de transmisión.	
Motor secundario (Fig.141)	3 Hp / 1800RPM / 220V / 3PH	192	X			Verificar la tensión de la banda de transmisión.	
Variador de velocidad (Fig.121)	GS2-27P5 / 7,5 Hp / 3PH / 28 A / 60Hz	192	X			Controlar las conexiones de alimentación y salida del variador	
Sensor de velocidad (encoder) (Fig.128 y 248)	Automation direct / 24V / 1000 pulsos por segundo	192	X			Verificar sus conexiones Controlar la perfecta alineación del acople de unión entre el eje del sensor y el eje auxiliar del motor	
Motores actuadores (Fig.243)	12V / 1,5A	192	X			Verificar que no exista humedad Controlar el ajuste de sus pernos Revisar las conexiones eléctricas, especialmente que la funda que trae los dos cables de alimentación permanezca seca	

Tabla 64. Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos eléctricos y electrónicos (192horas-trimestral) Hoja 2 de 2

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS							
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	Nro. Horas	RECOMENDACIONES				
			Inspección (I)			Reparación (R)	Sustitución(S)
			ACTIVIDAD				
			(I)	(R)	(S)		
PLC (Fig.130)	Siemens / S7-200 / CPU 224 XP/	192	X			Verificar las conexiones de entrada y salida. (Limpiar con aire a baja presión)	
Pantalla HMI (Fig.134)	Siemens / TD-200C	192	X			Verificar las conexiones de alimentación	
Fuente logo (Fig.136)	Siemens / Input: AC 100-240V / Output: DC 24V 2,5A	192	X			Controlar las conexiones Limpiar con aire a baja presión	
Relés (Fig.136)	Schrack / PT376624 / Bobina 24V / 10A / 250V	192	X			Verificar su estado y conexiones	
Relè de estado sólido (Fig.136)	Hanyoung / HSR-3A402Z / Input: 90 -264V AC / 40A / 50-60Hz	192	X			Verificar sus conexiones	
Contactores (Fig.136)	LG / 230V / 30A	192	X			Verificar sus contactos, y limpiarlos	
Brakers (Fig.136)	Merlengerin / K32a C40A 230V AC (Cant.3) Merlengerin / K32a C16A 400V AC (Cant.1) Merlengerin / C60N C1A 230-400VAC (Cant.1) Merlengerin / C60N C2A 230-400VAC (Cant.2)	192	X			Verificar las conexiones de cada uno Controlar el estado de sus bornes	
Térmicos (guarda-motores) (Fig.136)	20 a 25 A / 7,5 Hp (1) 6 a 10 A / 3 Hp (1)	192	X			Verificar sus contactos en busca de quemaduras y limpiarlos	
Ventiladores (Fig.241)	110V / 0,5A	192	X			Verificar sus conexiones eléctricas	
Termocupla (Fig.246)	Tipo J	192	X			Comprobar sus conexiones eléctricas	
Transmisor (Fig.247)	Honeywell / STT3000 SMART / -40 a +85°C / Supply 11-35Vdc / Output: 4-20mA	192	X			Comprobar sus conexiones eléctricas	
Niquelinas	110V / 10A	192	X			Verificar sus conexiones y sujeción	

Tabla 65. Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos hidráulicos (192horas-trimestral) Hoja 1 de 2

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS ELEMENTOS HIDRÁULICOS							
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	Nro. Horas	RECOMENDACIONES				
			Inspección (I)			Reparación (R)	Sustitución(S)
			ACTIVIDAD				
			(I)	(R)	(S)		
Bomba hidráulica (Fig.143)	EATON Bomba hidráulica de rodillos Capacidad: 12,61 a 830 RPM Caudal constante	192	X			Verificar las conexiones en busca de fugas	
Válvula reguladora de presión (Fig.144 y 145)	Válvula de accionamiento mecánico Capacidad: regula hasta 100 bar de presión	192	X			Verificar las conexiones en busca de fugas y controlar la presión máxima de calibración	
Válvula reguladora de caudal (Fig.145)	Válvula de 4 vías. Calibración mecánica Placas de acero rectificadas (2)	192	X			Controlar que no existan fugas entre la unión de cada cuerpo	
Válvula estranguladora de caudal (Fig.145)	Capacidad: 10 bar Regulación manual	192	X			Inspeccionar las conexiones en busca de de fugas	
Depósito de combustible (Fig.147)	Plancha de acero de 2mm Capacidad: 100 litros	192	X			Desconectar la manguera de retorno de combustible que viene desde el colector y limpiar la misma ya que gracias a su disposición en codo permite retener impurezas	

Tabla 65. Actividades de mantenimiento preventivo en los elementos hidráulicos (192horas-trimestral) Hoja 2 de 2

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS ELEMENTOS HIDRÁULICOS (Trimestral)							
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	Nro. Horas	RECOMENDACIONES				
			Inspección (I)			Reparación (R)	Sustitución(S)
			ACTIVIDAD				
			(I)	(R)	(S)		
Cañerías de combustible (Fig.149)	Para la bomba tipo A: 2mm Di x 6mm De x 600L Para la bomba tipo P: 3mm Di x 6mm De x 600L	192	X			Limpiar el conducto de la cañería	
Inyectores (Fig.150)	Nissan FD6 Calibración de apertura 175Bar	192	X			Desmontar y efectuar la limpieza de las toberas	
Válvula de aguja y acoples (Fig.152)	Resistencia a la presión: 500 Bar	192	X			Verificar la hermeticidad de la válvula cuando ésta permanece cerrada	
Manguera hidráulica (Fig.145)	Balflex / DIN EN 853/ SAE 100 / 330Bar- 4785PSI 3/8"	192	X			Verificar los acoples en los extremos de unión con los elementos hidráulicos	
Probetas (Fig.153 y 154)	Pequeñas: 50/1ml (Cant. 6) Grandes : 250/2ml (Cant. 6)	192	X			Verificar que la numeración de las probetas no esté borrosa. Limpiar	
Líquido de ensayo	Combustible diesel	192	X			Inspeccionar que no esté demasiado sucio	
Filtro auxiliar	Elemento filtrante	192	X			Desmontar y limpiar	
Filtro principal	FILL-RITE / 10 Micro Capacidad: 18GPM-69LPM	192	X			Comprobar que no existan fugas	

Tabla 66. Operaciones generales de mantenimiento correctivo en los elementos del banco

MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS DE LOS ELEMENTOS DEL BANCO							
ELEMENTO	ESPECIFICACIONES	Nro. Horas	RECOMENDACIONES				
			Inspección (I)			Reparación (R)	Sustitución(S)
			ACTIVIDAD			SOLUCIÓN	
			(I)	(R)	(S)		
Líquido de pruebas	Combustible Diesel	200			X	Cambiar el líquido de pruebas de todo el circuito hidráulico	
Filtro auxiliar	Elemento filtrante	200	X		X	Desmontar este elemento, verificar su estado y si es necesario sustituirlo	
Bandas de transmisión del motor principal	Banda tipo B / Cantidad:2 / Medida: 29Plg.	400	X		X	Desmontar las bandas y verificar su estado. (Es necesario desmontar el sensor encoder antes de sacar las bandas) Sustituir si es necesario	
Banda de transmisión del motor secundario	Banda tipo A / Cantidad:1 / Medida: 28Plg.	400	X		X	Desmontar la banda y verificar su estado Sustituir si es necesario	
Filtro principal	FILL-RITE / Capacidad: 10Micro 18GPM – 69LPM / Presión máxima: 3,4 bar-50Psi.	800			X	Desmontar el filtro y sustituirlo	
Bomba hidráulica	EATON Bomba hidráulica de rodillos Capacidad: 12,61 a 830 RPM Caudal constante	1600	X	X		Verificar el estado de la bomba. Si es necesario desmontarla y comprobar sus elementos internos	
Tanque de combustible	Plancha de 2mm (espesor) Capacidad: 100Lts.	1600	X			Desmontar el tanque de combustible y limpiarlo	
Motor eléctrico secundario	3 Hp / 1706RPM / 220V / 3PH	2000	X	X	X	Verificar el estado de los elementos del motor y engrasar los rodamientos; si es necesario sustituirlos	
Motor eléctrico principal	7,5 Hp / 3200RPM (Max) / 230V / 21A / 3PH	3000	X	X	X	Verificar el estado de los elementos del motor y engrasar los rodamientos; si es necesario sustituirlos	

Tabla 67. Actividades emergentes de mantenimiento correctivo de los elementos mecánicos (Hoja 1 de 2)

MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS EMERGENTES DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS							
ELEMENTO	AVERIA	CAUSA	Nro. Horas	RECOMENDACIONES			
				Inspección (I) Reparación (R) Sustitución(S)			
				ACTIVIDAD			
(I)	(R)	(S)					
Cubiertas exteriores	Presencia de óxido	Desprendimiento de pintura	---		X		Lijar Pintar (pintura acrílica)
Estructura metálica	Presencia de óxido	Desprendimiento de pintura	---		X		Lijar Pintar (pintura acrílica)
Eje de transmisión	Deformación Rotura	Excesivos esfuerzos Golpes	---			X	Sustituir este elemento considerando las especificaciones técnicas (Material – dimensiones)
Rodamientos del eje principal	Sobrecalentamiento	Falta de engrase	---			X	Para sustituir estos elementos se debe desmontar: el cabezal, los retenes, las tapas de sujeción, el encoder, las bandas, la polea y el eje principal
Mecanismo selector de grados	Trabado Flojo	Arandelas en mal estado o sucias	---	X		X	Cambiar las arandelas de bronce que se deslizan sobre el disco Limpiarlas y ajustarlas
Elementos de sujeción elástica	Cabeceo Ruidos	Elementos descentrados Pernos de sujeción flojos Elementos desgastados o deformados	---	X		X	Centrar los elementos y ajustar los pernos de sujeción Sustituir el dispositivo que se encuentre en mal estado

Tabla 67. Actividades emergentes de mantenimiento correctivo de los elementos mecánicos (Hoja 2 de 2)

MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS EMERGENTES DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS								
ELEMENTO	AVERIA	CAUSA	Nro. Horas	RECOMENDACIONES				
				Inspección (I)			Reparación (R)	Sustitución(S)
				ACTIVIDAD			SOLUCIÓN	
			(I)	(R)	(S)			
Tubos porta-inyectores	Fugas	Trizaduras Golpes	---			X	Desmontar el tubo en mal estado y sustituirlo	
Placa del sistema de corte de combustible	Deformada	Golpe	---			X	Desmontar la placa y sustituirla considerando las especificaciones técnicas	
Bases de sujeción : tipo A y P	Deformación	Excesivos esfuerzos Golpes	---			X	Sustituir este elemento considerando las especificaciones técnicas (Material – dimensiones)	
Conos de transmisión	Deformación Rotura	Excesivos esfuerzos Mal montaje Golpes	---			X	Para sustituir estos elementos se debe desmontar: el cabezal, los retenes, las tapas de sujeción, el encoder, las bandas, la polea y el eje principal	
Mecanismo selector de grados	Trabado Flojo	Arandelas en mal estado o sucias	---			X	Cambiar las arandelas de bronce que se deslizan sobre el disco Limpiar las arandelas y ajustarlas	

Tabla 68. Actividades emergentes de mantenimiento correctivo de los elementos eléctricos y electrónicos (Hoja 1 de 2)

MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS EMERGENTES DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS							
ELEMENTO	AVERIA	CAUSA	Nro. Horas	RECOMENDACIONES			
				Inspección (I) Reparación (R) Sustitución(S)			
				ACTIVIDAD			
(I)	(R)	(S)					
Motor principal	Ruidos No funciona	Falta de engrase en los rodamientos Desgaste de elementos Sobrecargas	---	X	X	X	Cambiar los rodamientos Controlar el estado de sus elementos Verificar o sustituir las protecciones eléctricas del motor (Relés, contactores, térmicos, etc) Comprobar la programación del Variador y PLC
Motor secundario	Ruidos No funciona	Falta de engrase en los rodamientos Desgaste de elementos Sobrecargas	---	X	X	X	Cambiar los rodamientos Controlar el estado de sus elementos Verificar o sustituir las protecciones eléctricas del motor (Relés, contactores, térmicos, etc) Comprobar la programación del PLC
Variador de velocidad	No funciona No arranca	Desprogramado	---	X	X	X	Verificar o sustituir las protecciones eléctricas del variador Revisar si el variador presenta un código de falla en su pantalla y corregir el daño Reprogramar el variador Comprobar la programación del PLC
PLC	No enciende	Desprogramado	---	X	X		Verificar su programación con un PC y con el software adecuado Verificar o sustituir las protecciones y conexiones del PLC
Focos indicadores de funcionamiento (220V)	No encienden	Desconectados Quemados	---	X		X	Revisar las conexiones Sustituirlos

Tabla 68. Actividades emergentes de mantenimiento correctivo de los elementos eléctricos y electrónicos (Hoja 2 de 2)

MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS EMERGENTES DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS								
ELEMENTO	AVERIA	CAUSA	Nro. Horas	RECOMENDACIONES				
				Inspección (I)			Reparación (R)	Sustitución(S)
				ACTIVIDAD			SOLUCIÓN	
(I)	(R)	(S)						
Sensor de velocidad	No envía señal	Acople de unión en mal estado o flojo Eje del sensor deformado	---	X	X	X	Alinear los ejes y ajustar el acople Revisar las conexiones Sustituir el acople de unión	
Termocupla y transmisor	No envían señal	Desconectado Resistencia del transmisor en mal estado	---	X		x	Revisar las conexiones Sustituir la resistencia Cambiar la termocupla	
Pantalla HMI	No enciende No permite visualizar los datos Teclado en mal estado	Desprogramada Fallas de conexión Cortocircuitada Maniobras de operación	---	X	X	X	Revisar la programación del PLC Comprobar las comprobaciones de alimentación Imprimir una nueva hoja con el teclado de la pantalla HMI y sustituir la anterior (Impresión en papel adhesivo)	
Motores actuadores	No funcionan	Fallas de conexión Quemados	---	X	X	X	Revisar las conexiones y programación del PLC Sustituirlos	
Fuente logo	No enciende	Desconectada Sobrecargas	---	X	X	X	Revisar las conexiones de alimentación	
Relès, contactores y térmicos	Contactos quemados	Sobrecargas Maniobras de operación	---		X	X	Limpiar los contactos si es posible, caso contrario sustituir el elemento quemado	
Niquelinas	No encienden No se apagan	Desconectadas o quemadas Los sensores de temperatura no funcionan Quemadas	---	X		X	Verificar sus conexiones y resistencia Comprobar el estado de la termocupla y transmisor Sustituirlas	
Ventiladores	No encienden Ruidos	Desconectados o quemados Desgaste o mala conexión de alimentación	---	X	X	X	Verificar las conexiones de alimentación (110V) Sustituir estos elementos	

Tabla 69. Actividades emergentes de mantenimiento correctivo de los elementos hidráulicos

MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS EMERGENTES DE LOS ELEMENTOS HIDRÁULICOS								
ELEMENTO	AVERIA	CAUSA	Nro. Horas	RECOMENDACIONES				
				Inspección (I)			Reparación (R)	Sustitución(S)
				ACTIVIDAD			SOLUCIÓN	
(I)	(R)	(S)						
Bomba hidráulica	Ruidos Pérdida de presión	Falta de lubricación Desgaste de elementos Presencia de impurezas	---	X	X	X	Controlar que la bomba no esté trabajando en seco Limpiar o sustituir los elementos en mal estado	
Válvula reguladora de presión	Poca presión Excesiva presión	Mala calibración Muelle de control interno en mal estado Presencia de impurezas	---		X		Calibrar Desmontar la válvula limpiarla. Sustituir el muelle de control si es necesario	
Válvula reguladora de caudal	Fugas excesivas	Orines en mal estado	---			X	Desmontar la válvula y sustituir los orines	
Depósito de combustible	Fugas por las costuras	Golpes	---		X		Soldar y masillar	
Inyectores	No sellan	Toberas y agujas desgastadas	---			X	Sustituir los elementos en mal estado	
Mangueras hidráulicas	Fugas	Rotura	---			X	Cambiar el tramo en mal estado	
Probetas	Rotas Números borrados	Golpes	---			X	Sustituir la probeta rota o con los números borrados, considerando las especificaciones técnicas.	

CONCLUSIONES PARCIALES:

Las operaciones que deben realizarse según el tiempo o las alarmas de aviso han sido sugeridas durante el desarrollo de este capítulo, por tal motivo al visualizar una alarma es importante informarse antes de realizar cualquier intervención de mantenimiento.

Todos los trabajos realizados de la forma sugerida garantizan un óptimo rendimiento y aumentan la vida útil de cada elemento que constituye el banco de pruebas, así como ayuda a prevenir accidentes de trabajo por no cumplir con el programa establecido de mantenimiento.

Conclusiones finales:

El profundo estudio de los recursos que son necesarios para verificar el estado de las bombas de inyección en línea para motores diesel, de las condiciones de trabajo a las que éstas están sometidas durante su funcionamiento, de su directa repercusión en el rendimiento del motor y en las emisiones contaminantes al medio ambiente, permitieron elaborar el prototipo de un banco de pruebas para comprobar y reglar estos elementos.

Partiendo del análisis de los bancos ya existentes, conformados por elementos complejos y costosos se implementó la posibilidad de sustituirlos buscando aportar, optimizar y mejorar la tecnología de estos bancos mecánicos; para ello fue necesario introducir dispositivos electrónicos y simplificar algunos sistemas de control; de todo esto surgió el diseño de un modelo basado en el propio ingenio. Los cálculos matemáticos para seleccionar el material, los dispositivos y aparatos adecuados son los que respaldan su fiabilidad, además la factibilidad de conseguir en el medio los componentes necesarios han permitido cumplir con el objetivo planteado durante la ejecución del presente proyecto, que fue la construcción de un banco de pruebas para bombas de inyección diesel. La verificación de su correcto funcionamiento está respaldada con la homologación de pruebas comparativas con respecto a un banco de un laboratorio diesel.

El banco construido tiene la capacidad de comprobar bombas de inyección de hasta seis cilindros en línea de los tipos A y P; esto es gracias a los dispositivos con los que ha sido equipado actualmente. Sin embargo, el diseño elaborado tiene una proyección para ser ampliado fácilmente hasta bombas de ocho cilindros; de allí en más se puede continuar con el aumento de su capacidad es decir que es posible montar en este banco bombas de mayor tamaño y de otros tipos incluyendo a las rotativas. Para ello es necesario realizar los estudios pertinentes e implementar al banco con los acoples de sujeción y de conexión para las nuevas bombas que se requieran verificar.

Un aporte interesante con este diseño confeccionado, es la forma de comandar las operaciones de trabajo durante la comprobación de una bomba; pues el banco construido tiene un mando completamente electrónico que es lo que lo diferencia básicamente de los de tipo mecánico lo que es sin duda una mejora ostensible en la tecnología implementada en esta herramienta de comprobación automotriz.

El trato y cuidado de este equipo es similar al que debe darse a otras máquinas industriales, siguiendo las recomendaciones de mantenimiento, con esto se va a evitar accidentes al operario técnico y daños a la máquina construida.

Bibliografía:

- * ALONSO PEREZ. José Manuel. Técnicas del automóvil. Sistemas de inyección de combustible en los motores diesel. Madrid. Internacional Thomson editores. 2001. 312pgs.
- * Associated Spring-Barnes Group. Desing Handbook. Bristol. Conn. 1987.
- * BOHMAN. Ivan C.A. Catálogo de aceros especiales. Quito. Ecuador. 45Pgs.
- * Copyright SKF. Catálogo General. Italia. Stamperia Artistica Nazionale . Torino. 1999. 974Pgs.
- * Ficha técnica: NP-PES6A85C321RS2000NP. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador
- * Ficha técnica 101681-9230. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.
- * Ficha técnica : PE6P100A720R515X. Laboratorio diesel Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.
- * HERMÓGENES. Gil. Sistemas de inyección diesel. Manuales técnicos del automóvil. España. Grupo editorial CEAC. 2002. 299Pgs.
- * H.A. Rothbart, Mechanical. Design and Systems Handbook. Nueva York. Ed. Graw-Hill. 1985. 2da ed.
- * Laboratorio diesel “autorizado” Ecu-Chile. Cuenca. Ecuador.
- * LAFORA. José Ma. Motores Diesel. España. H. Blume ediciones. 1978. 294 Pgs. 2da edición.
- * Larousse. Física. Francia. Editorial Printer Colombiana Ltda.1992. 202Pgs.
- * MISCHKE. Charles R. Diseño en Ingeniería mecánica. New York. Mc Graw Hill. 2003. 1239 Pgs. Quinta Edición.
- * MISCHKE. Charles R. Diseño en ingeniería mecánica. Estados Unidos. Mc Graw-Hill Editores S.A. 2004. 1257Pgs. Sexta Edición.
- * RALBOVSKY. E. Motores Diesel. España. Edita Paraninfo. 2000. 288p.
- * SHIGLEY. Joseph E. Unthreaded Fasteners. Nueva York. McGraw Hill. 1996. Segunda edición.
- * SHIGLEY. Joseph E. Diseño En Ingeniería Mecánica. Estados unidos. Mc Graw Hill. 2000. 1239Pgs. Quinta Edición.
- * SHIGLEY. Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. Nueva York. McGraw-Hill. 2002. 1257pgs. Sexta edición.

- * SINGER. Ferdinand L. / Pytel. Andrew. Resistencia De Materiales. México. D.F. Harla S.A.1982. 560Pgs. Tercera edición.
- * Www.Marathon Inverter Duty (Información técnica del motor eléctrico principal)
- * [Www.Automation Direct. AC Drives. Catálogo: GS2-27P5. PDF.](http://Www.Automation Direct. AC Drives. Catálogo: GS2-27P5. PDF) (Funcionamiento y descripción técnica del variador de velocidad)
- * [Www.Automation.com. Direct. Sensors.](http://Www.Automation.com. Direct. Sensors) (Información técnica del sensor de velocidad)
- * Www.siemes.com.co/Plc. Catálogo: S7-200 (Información técnica del controlador lógico programable)
- * Www.siemens.com.co/catalogomotores.htm (Detalles e información técnica de algunos de los componentes eléctricos y electrónicos del banco)

Anexos

Foto 1: Proceso de armado de la estructura



Foto 2: Proceso de armado de la estructura



Foto 3: Construcción de la base del banco



Foto 4: Cortes de los tubos de la estructura



Foto 5. Soldado de la estructura

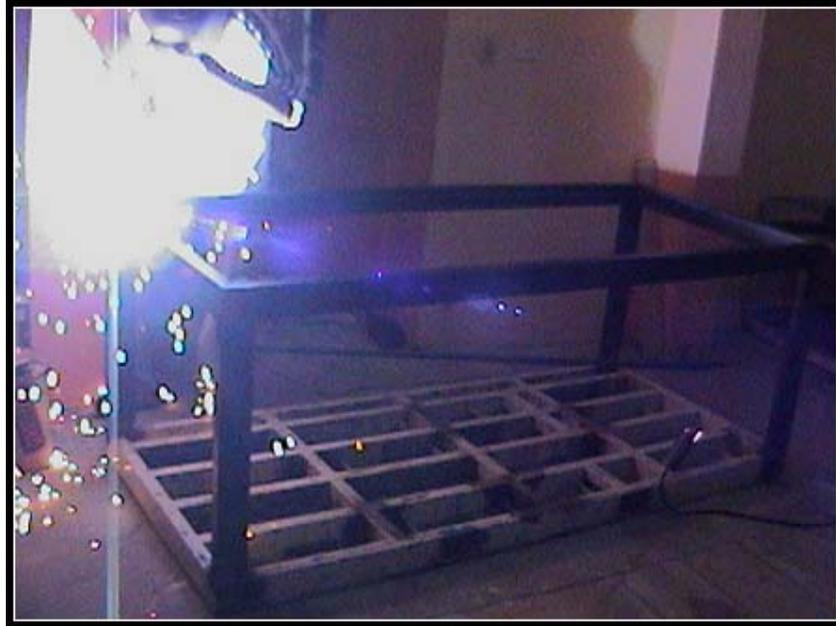


Foto 6. Amolado de la estructura



Foto 7. Soldado de la estructura



Foto 8. Soldado de la estructura



Foto 9. Construcción de las bases de sujeción



Foto 10. Construcción de las placas de apoyo



Foto 11. Maquinado del eje principal



Foto 12. Marcado de los grados del tambor graduado



Foto 13. Amolado de la parte superior de la estructura



Foto 14. Amolado de la parte superior de la estructura

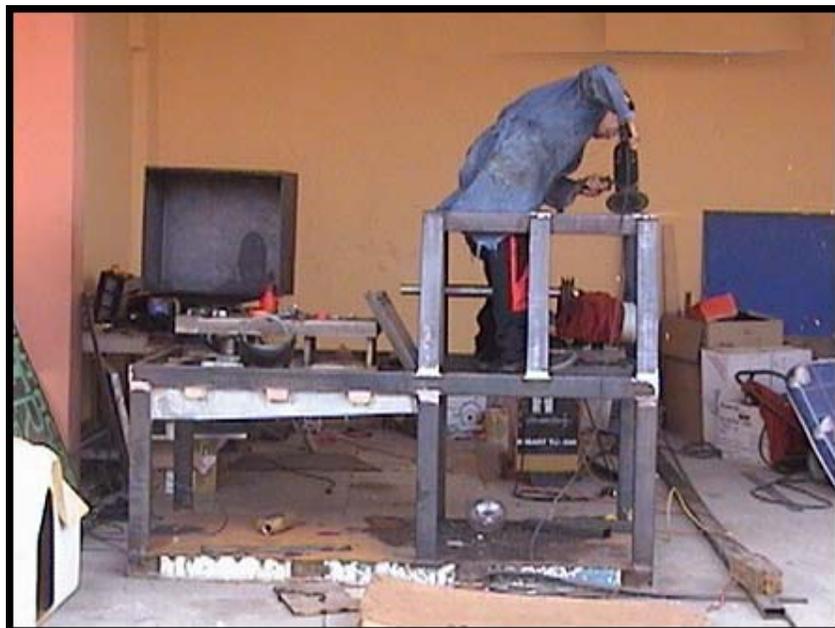


Foto 15. Colocación de las cubiertas del banco



Foto 16. Masillado y fondeado de la estructura



Foto 17. Fondeado de la estructura



Foto 18. Pintado de la estructura



Foto 19. Montaje de los elementos del banco



Foto 20. Montaje de los elementos del banco



Foto 21. Soldadura de elementos auxiliares



Figura 22. Montaje de elementos del banco

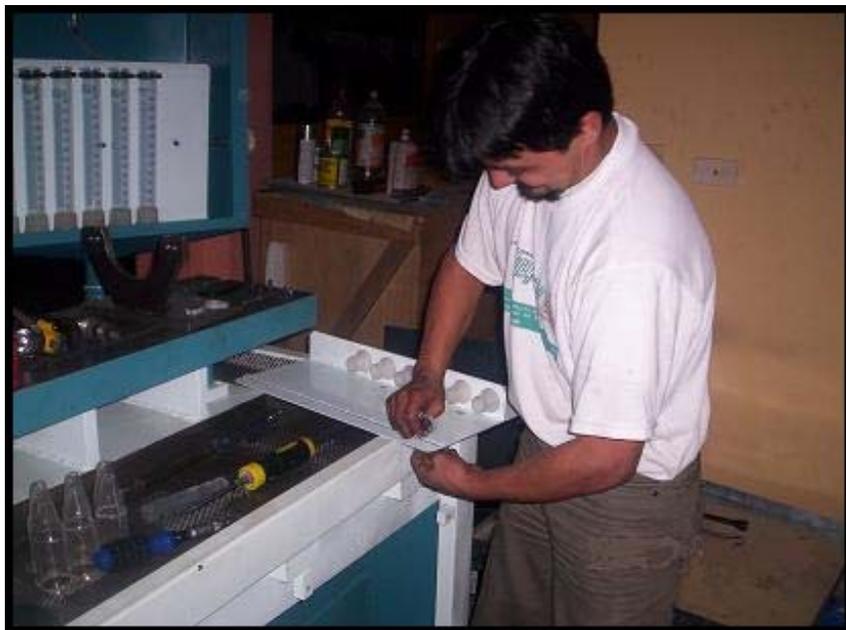


Foto 23. Conexiones eléctricas de los dispositivos de control del banco



Foto 24. Programación de los elementos electrónicos del banco



Foto 25. Programación de los elementos electrónicos del banco



Foto 26. Diseño de la pantalla de control

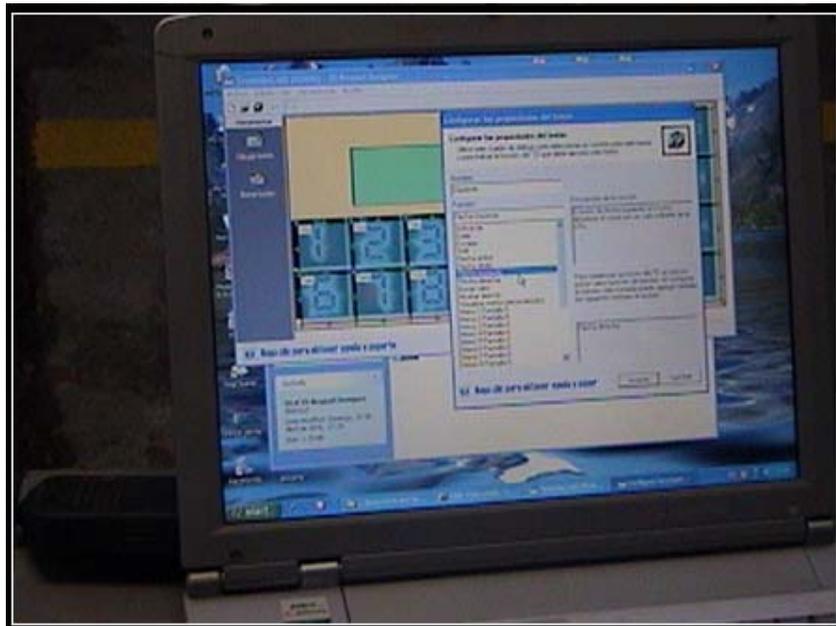


Foto 27. Pruebas de funcionamiento



Foto 28. Pruebas de funcionamiento



