



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TEMA: ANÁLISIS DE DESGASTE EN ELEMENTOS DE BOMBEO EN BOMBAS DE INYECCIÓN MECÁNICAS CON LA UTILIZACIÓN DE BIDIÉSEL.

AUTOR: CARLOS EDUARDO ANGAMARCA BARAHONA

DIRECTOR: ING. CARLOS NOLASCO MAFLA YÉPEZ MSc.

Ibarra, julio 2020

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de Director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es “ANÁLISIS DE DESGASTE EN ELEMENTOS DE BOMBEO EN BOMBAS DE INYECCIÓN MECÁNICAS CON LA UTILIZACIÓN DE BIODIÉSEL” presentado por el señor: Angamarca Barahona Carlos Eduardo con número de cédula 100364879-5, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 30 días del mes de julio del 2020.

Atentamente

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a faint circular stamp. The signature is stylized and appears to read 'Carlos Mafla Yépez'.

Ing. Carlos Mafla Yépez MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100364879-5		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Angamarca Barahona Carlos Eduardo		
DIRECCIÓN:	Ciudadela Jacinto Collahuazo 2da Etapa - Otavalo		
EMAIL:	ceangamarcab@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	(06) 2521-638	TELÉFONO MÓVIL:	0992478036

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"ANÁLISIS DE DESGASTE EN ELEMENTOS DE BOMBEO EN BOMBAS DE INYECCIÓN MECÁNICAS CON LA UTILIZACIÓN DE BIODIÉSEL"
AUTOR (ES):	Angamarca Barahona Carlos Eduardo
FECHA: DD/MM/AAAA	30/07/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mantenimiento Automotriz
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Nolasco Mafla Yépez MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 30 días del mes de julio de 2020.

EL AUTOR:

.....
Carlos Eduardo Angamarca Barahona

DEDICATORIA

La siguiente tesis se la dedico profundamente a mis padres Vicente Angamarca y Anita Barahona, a mi hermano Cristian Angamarca quienes son un pilar fundamental en mi vida, y me supieron inculcar valores desde mi infancia, los mismos que me han permitido crecer como una persona de bien, pero en especial dedico este logro a mi madre por siempre apoyarme en los momentos más difíciles de toda mi carrera, y ayudarme a cumplir una más de mis metas propuestas en mi vida.

A mis tíos Oswaldo y Antonio Barahona por ser la parte más fundamental en toda mi carrera, y sobre por ser mi mayor inspiración y apoyo para conseguir mi tan anhelado título de Ingeniero Automotriz.

A mi primo Marco Antonio Barahona del Castillo por haberme brindado su confianza, apoyo y enseñanzas en todo el transcurso de mi carrera, gracias a toda mi familia por confiar en mí y brindarme todo el apoyo incondicional en el transcurso de mi vida.

Carlos Angamarca Barahona.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios, a la Virgen de Guadalupe y a mi ángel protector por haberme dado las fuerzas para luchar el día a día, a mis padres por haber sido un pilar fundamental durante toda mi carrera y a toda mi familia por brindarme su apoyo moral e incondicional.

Mi agradecimiento sincero a la Universidad Técnica del Norte, institución que me ha brindado sólidos conocimientos para mi formación profesional.

Agradezco categóricamente a mis docentes por transmitirme todos sus conocimientos y sabidurías, de manera especial al Ing. Carlos Mafla Msc, tutor del presente trabajo, y a mis dos asesores, Ing. Paúl Hernández e Ing. Jorge Melo, por su paciencia y dedicación hacia mi trabajo de grado.

De manera especial agradezco a todos mis amigos y familiares, que de una u otra manera permanecieron apoyándome e incentivándome diariamente con sus consejos para lograr culminar mi tan anhelada carrera.

Carlos Angamarca Barahona.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
CERTIFICADO	ii
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del Problema	2
1.3. Formulación del Problema	3
1.4. Delimitación Temporal Y Espacial	3
1.4.1. Delimitación Temporal	3
1.4.2. Delimitación Espacial	3
1.5. Objetivos	3
1.5.1. Objetivo General	4
1.5.2. Objetivos Específicos	4

1.6.	Justificación	4
1.7.	Metodología de la Investigación	5
1.8.	Principio de Funcionamiento de un Motor Diésel.	5
1.8.1.	Temperatura de Combustión.	7
1.8.2.	Presión de Combustión	8
1.8.3.	Control de la Admisión de Aire	8
1.9.	Sistemas de Inyección en Motores Diésel	9
1.9.1.	Bomba de Inyección	9
1.9.2.	Inyector-Bomba	10
1.9.3.	Cummins	12
1.9.4.	Sistema Cummins de Combustible Controlado Electrónicamente	12
1.10.	Bombas de Inyección de Elementos en Línea	13
1.10.1.	Bombas de Inyección en Línea Estándar PE	13
1.10.2.	Descripción de la Bomba Inyectora	14
1.10.3.	Constitución de la Bomba Inyectora	15
1.10.3.1.	El regulador	15
1.10.3.2.	La bomba de alimentación	15
1.10.3.3.	El variador de avance	16
1.10.3.4.	Circuito de combustible de una bomba inyectora en línea	16
1.10.3.5.	Circuito de baja	17
1.10.3.6.	Circuito de alta	17
1.11.	Sobrealimentación del Motor Diésel	18
1.12.	Misión del Corrector de Humos	19
1.12.1.	Constitución Y Funcionamiento del Corrector de Humos, Instalado Sobre Regulador	21
1.12.2.	Constitución Y Funcionamiento del Corrector de Humos, Instalado en la Parte Anterior de la Bomba	22
1.13.	Calibración de una Bomba de Inyección de Elementos en Línea	23
1.13.1.	Puesta en Fase	23

1.13.2. Presiones de Inyección	24
1.14. Bombas de Inyección Rotativas	24
1.14.1. Funcionamiento de una Bomba Rotativa	25
1.15. Sistema de Inyección de Acumulación	28
1.15.1. Principio de Funcionamiento del Sistema de Inyección	29
1.16. Biodiésel	29
1.16.1. Proceso de Elaboración del Biodiésel	30
1.16.2. Proceso para la Obtención de Biodiésel	30
1.16.3. Propiedades del Biodiésel	31
1.16.4. Ventajas Y Desventajas del Uso del Biodiésel	32
1.17. Inyectores	32
1.17.1. Finalidad de los Inyectores	33
1.17.2. Constitución de los Inyectores	34
1.17.3. Cuerpo O Porta-Inyector	34
1.17.4. Pulverizador [Tobera-Aguja]	35
1.17.5. Tipos de Toberas de Inyección	37
1.17.6. Funcionamiento del Inyector	37
1.17.7. Control de Pulverización [Chorros] de la Tobera	38
1.18. Combustión en Motores Diésel	40
1.18.1. Alimentación del Combustible	40
1.18.2. Depósito de Combustible	41
1.18.3. Líneas de Transporte	42
1.18.4. Filtro de Combustible	42
1.18.5. Sistemas Decantadores de Combustible	43
1.19. Funcionamiento de los Elementos de Bombeo	43
1.20. Consejos Para Evitar la Contaminación	44
2. MATERIALES Y MÉTODOS	46
2.1. Desarrollo de la Propuesta	46

2.2.	Materiales	47
2.3.	Caracterización de las Bombas de Inyección	47
2.3.1.	Bomba de Inyección Lineal	47
2.3.2.	Bomba de Inyección Lineal	48
2.3.3.	Bomba de Inyección Rotativa	49
2.3.4.	Banco de Pruebas	49
2.4.	Métodos	52
2.4.1.	Fundamentación Técnica	52
2.5.	Identificación de Elementos de Bombeo Que Tienden A Desgastarse	52
2.5.1.	Obtención de las Dimensiones de los Elementos de Bombeo	53
2.5.1.1.	Bombas de Inyección de Elementos en Línea	53
2.5.2.	Cilindro de Bomba de Inyección	54
2.5.3.	Proceso Para la Obtención de las Medidas de un Cilindro de Bomba	55
2.5.4.	Dimensiones de un Cilindro de Bomba de Inyección	56
2.5.5.	Émbolo	57
2.5.6.	Proceso Para la Obtención de las Medidas de un Émbolo de Bomba	58
2.5.7.	Dimensiones de un Émbolo de Bomba	58
2.6.	Bomba de Inyección Rotativa	60
2.6.1.	Cilindro de la Bomba de Inyección	60
2.6.2.	Proceso Para la Obtención de las Medidas de un Cilindro de Bomba	61
2.6.3.	Dimensiones de un Cilindro O Cabezal Hidráulico de Bomba	61
2.6.4.	Émbolo	62
2.6.5.	Proceso Para la Obtención de las Medidas de un Émbolo de Bomba	63
2.6.6.	Dimensiones de un Émbolo de Bomba de Inyección	64
2.7.	Características de Cabezales Y Émbolos Bosch Y Zexel	65
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
3.1.	Determinación del Desgaste Generado en los Elementos de Bombeo	67
3.1.1.	Bombas de Inyección de Elementos en Línea	67

3.1.2.	Cilindro	67
3.1.3.	Desgaste Producido en el Cilindro de Bomba	68
3.1.4.	Dimensión del Desgaste en el Cilindro de Bomba	69
3.1.5.	Émbolo	70
3.1.6.	Desgaste Producido en el Émbolo de Bomba	71
3.1.7.	Dimensiones del Desgaste en el Émbolo de Bomba	72
3.2.	Bombas de Inyección Rotativa	73
3.2.1.	Cilindro O Cabezal Hidráulico	74
3.2.2.	Desgaste Producido en el Cilindro O Cabezal Hidráulico de Bomba	75
3.2.3.	Dimensión del Desgaste del Cilindro O Cabezal Hidráulico de Bomba	76
3.2.4.	Émbolo	76
3.2.5.	Desgaste Producido en un Émbolo de Bomba	77
3.2.6.	Dimensión del Desgaste Producido en el Émbolo de Bomba	78
3.2.7.	Dimensiones Generales Entre Elementos de Bombeo Nuevos Y Usados en Bombas de Inyección Lineales Y Rotativas	79
3.3.	Determinación del Biodiésel	80
3.3.1.	Desgaste en Elementos de Bombeo	81
3.3.2.	Comparación Entre la Normativa del Biodiésel Común vs El Biodiésel Fabricado En La UTN	83
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
4.1.	Conclusiones	84
4.2.	Recomendaciones	86
	Trabajos Futuros	87
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
	ANEXOS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.1	Sistema Inyector-Bomba	11
1.2	Bomba de inyección de elementos en línea Bosch	13
1.3	Constitución de una bomba inyectora, tipo PE	15
1.4	Esquema del circuito de combustible de una bomba inyectora de seis elementos	17
1.5	Partes principales de la bomba PE con variador de avance y corrector de humos instalado en el cárter regulador	20
1.6	Partes principales de la bomba PE con volante y corrector de humos instalado sobre la parte anterior de la bomba	21
1.7	Bomba rotativa de cuatro salidas	24
1.8	Curva de Torque y Potencia de un motor diésel con bomba de inyección rotativa	25
1.9	Elementos de un inyector de inyección directa	33
1.10	Sección de un inyector con tubería para conexión a tubo de alta presión	34
1.11	Principio de funcionamiento de un inyector	35
1.12	Componentes de un pulverizador (tobera-aguja)	36
1.13	Tobera con aguja (cerrado-abierto)	36
1.14	Tipos de toberas	37
1.15	Diferentes tipos de spray según el tipo de tobera	39
1.16	Comparación entre una tobera de orificios	39
1.17	Esquema del circuito de alimentación de un motor Diésel con bomba de inyección rotativa	41
2.1	Bombas de inyección mecánicas lineales y rotativa	53
2.2	Cilindro de bomba de inyección lineal	55
2.3	Medición del cilindro de una bomba de inyección en línea	56
2.4	Émbolo de inyección de una bomba de elementos en línea	57
2.5	Medición de un émbolo de bombeo	58
2.6	Cilindro o cabezal hidráulico con su respectivo émbolo	60

2.7 Medición del cilindro o cabezal hidráulico de una bomba rotativa	61
2.8 Émbolo de bombeo de una bomba de inyección rotativa	63
2.9 Obtención de medidas de un émbolo de bomba rotativa	63
3.1 Cilindro desgastado de bomba de inyección en línea	68
3.2 Obtención de las dimensiones de un cilindro de bomba	69
3.3 Dimensiones obtenidas de un cilindro usado de bomba lineal	70
3.4 Émbolo desgastado de bomba de inyección en línea	71
3.5 Medición del émbolo desgastado de una bomba de inyección en línea	72
3.6 Dimensiones obtenidas de un émbolo de bomba lineal	73
3.7 Cabezal hidráulico de una bomba de inyección rotativa	74
3.8 Cabezal hidráulico desgastado	75
3.9 Émbolo desgastado de una bomba de inyección rotativa	77
3.10 Dimensiones de un émbolo completamente usado	78
3.11 Dimensiones obtenidas de un émbolo de bomba rotativa	79

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
2.1	Especificaciones técnicas de una bomba de inyección lineal	48
2.2	Especificaciones técnicas de una bomba de inyección lineal	48
2.3	Especificaciones técnicas de la bomba de inyección rotativa	49
2.4	Especificaciones técnicas del banco de pruebas	51
2.5	Dimensiones de un cilindro de una bomba de inyección lineal	57
2.6	Dimensiones de un émbolo de una bomba de inyección lineal	59
2.7	Dimensiones de un cilindro o cabezal hidráulico de una bomba rotativa	62
2.8	Dimensiones de un émbolo de una bomba de inyección rotativa	64
2.9	Características de elementos de bombeo	66
3.1	Dimensiones del desgaste en el cilindro de bomba lineal	69
3.2	Dimensiones de un émbolo desgastado de una bomba de inyección lineal	72
3.3	Dimensiones de un cabezal hidráulico desgastado	76
3.4	Dimensiones comparativas entre un émbolo nuevo y un émbolo desgastado	78
3.5	Parámetros obtenidos entre elementos de bombeo nuevos y usados	80
3.6	Comparación de las propiedades del Diésel y el Biodiésel	81

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
A.I. 1	Obtención de las Bombas de inyección mecánicas [lineales y rotativa]	95
A.II. 1	Reparación de una bomba de inyección lineal	96
A.II. 2	Elementos internos de una bomba de inyección lineal	96
A.II. 3	Montaje de una bomba de inyección rotativa	97
A.II. 4	Ajuste de la bomba de inyección rotativa	97
A.III. 1	Montaje y calibración de una bomba de inyección rotativa	98
A.III. 2	Tabla de calibración de una bomba de inyección	98

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo, fue el análisis de desgaste producido en elementos de bombeo de bombas de inyección mecánicas, tanto lineales como rotativas, con la utilización de biodiésel. Esto se pudo lograr gracias a la recolección y comparación de datos alcanzados mediante mediciones realizadas a los elementos de bombeo, en este caso al cilindro y émbolo, los mismos que son encargados de generar la alta presión y dosificar el combustible diésel hacia los inyectores, para que por consiguiente estos inyecten de manera pulverizada en el interior de la cámara de combustión. El proceso de obtención de datos se lo realizó mediante la ayuda de herramientas de metrología [calibrador pie de rey y micrómetro], las mismas que permitieron obtener parámetros exactos y comparativos entre elementos de bombeo nuevos y elementos que ya han cumplido su ciclo de trabajo. Comparando los datos obtenidos, se realizó la toma de mediciones en diferentes zonas, tanto del cilindro como de los émbolos, pero sobre todo en especial en las zonas de mayor contacto o fricción que estos elementos tienen, donde se pudo observar un desgaste del 2,70% en cilindros, y un 5,20% de desgaste excesivo en los émbolos de bombas de inyección lineales, a la misma vez, se pudo observar un desgaste del 3,25% en el cabezal hidráulico y un porcentaje diminutivo de 0,20% de desgaste en los émbolos de bombas de inyección rotativas. De igual forma, este trabajo se lo realizó mediante la obtención de elementos de bombeo nuevos y elementos desgastados debido a su funcionamiento, se pudo verificar que, al utilizar un combustible diésel fósil, el desgaste es más excesivo debido a la calidad de combustible que tiene nuestro país, y que, al utilizar una mezcla de biodiésel B5, el desgaste suscitado en los elementos de bombeo se redujo en un 10% a diferencia del diésel convencional, debido a que este biocombustible presenta altas propiedades de lubricación, un alto índice de cetanos, y un bajo porcentaje de partículas de agua presentes en el combustible, las mismas que permiten brindar una mayor eficiencia en la combustión y, por consiguiente, a reducir las emisiones contaminantes hacia el medio ambiente, consiguiendo al final resultados con gran éxito.

ABSTRACT

The main objective of the present work was the analysis of wear produced in pumping elements of mechanical injection pumps, both linear and rotary, by means of the use of biodiesel. This could be achieved thanks to the collection and comparison of data achieved through measurements made to the pumping elements, in this case the cylinder and piston, which are in charge of generating the high pressure and dosing the diesel fuel towards the injectors, so that they inject in a pulverized way inside the combustion chamber. The process of obtaining data was carried out with the help of metrology tools [caliper foot and micrometer], which made it possible to obtain exact and comparative parameters between new pumping elements and elements that have already completed their work cycle. Comparing the data obtained, measurements were taken in different areas, both of the cylinder and of the pistons, but especially in the areas of greater contact or friction that these elements have, where it was possible to observe a 2.70% wear in cylinders, and a 5.20% excessive wear in the pistons of linear injection pumps. At the same time, it was possible to observe a 3.25% wear in the hydraulic head and a diminutive percentage of 0.20% wear in the pistons of rotary injection pumps. Similarly, this work was carried out by obtaining new pumping elements and elements worn out due to their operation. It was possible to verify that, when using a fossil diesel fuel, the wear is more excessive due to the quality of the fuel that our country has, and that, when using a B5 biodiesel mixture, the wear caused in the pumping elements was reduced by 10% as opposed to conventional diesel, due to the fact that this biofuel presents high lubrication properties, a high cetane index, and a low percentage of water particles present in the fuel, which allows for greater efficiency in combustion and, consequently, for a reduction in polluting emissions into the environment, achieving results with great success in the end.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad explicar el funcionamiento y desgaste producido en el interior de los elementos de bombeo de bombas de inyección mecánicas, para lo cual, se obtuvo unas bombas de combustible, las mismas que son mecanismos encargados de generar la alta presión, y de dosificar con exactitud la cantidad de combustible a inyectarse en el interior de la cámara de combustión de los motores a diésel, siendo estas controladas de acuerdo a las exigencias del conductor.

Hoy en día, el campo automotriz ha ido evolucionando notoriamente, principalmente por las estrictas leyes ambientales y los altos costos del combustible, por tal motivo, los avances tecnológicos han ido incursionando de a poco en los motores de combustión interna, tanto en motores a gasolina, como a diésel. Se debe partir del hecho de que es imposible obtener una medida exacta en la fabricación de una determinada pieza debido a la inevitable imprecisión de las máquinas de mecanizado, se puede comprender la necesidad de implementar un sistema de fabricación que asigne un intervalo máximo y mínimo de variación a las cotas angulares o lineales, lo que se denomina tolerancia. Esta tolerancia va a ser usada en la fase de control de calidad del producto para darlo por válido o rechazarlo. Hay que tener en cuenta que, cuanto más estricto se sea con la tolerancia de una magnitud, más costoso será el proceso de fabricación. Es decir, una pieza de suma precisión tendrá una tolerancia pequeña, por lo que presentará un alto costo de fabricación (Manosalvas Andrade & Nacimba Toapanta, 2013, pág. 1).

En esta investigación se trabajó con dos tipos de bombas: lineales y rotativas. Las bombas lineales se usan normalmente en motores de alta relación de compresión y las rotativas normalmente en motores con relaciones medianas de compresión, lógicamente ambas son muy robustas, ya que deben soportar la alta presión generada por estas, y así distribuir las por el sistema de inyección (Pancho Bredtmann, 2015, pág. 12).

Este trabajo se ha realizado con la finalidad de brindar el conocimiento necesario, para lo cual fue indispensable la realización de pruebas de laboratorio en estas dos tipos de bombas, tanto en bombas lineales como rotativas.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. ANTECEDENTES

El avance tecnológico automotriz ha ido evolucionando en los últimos años. Es por tal razón que científicos y biotecnólogos han empezado a contribuir con la búsqueda de soluciones para las emisiones contaminantes, las mismas que son el producto de la combustión de origen fósil.

Es por esto por lo que, la unión europea tiene como misión controlar todo este tipo de emisiones contaminantes, garantizando el cumplimiento del tratado de Kioto en cuanto a la reducción de seis tipos de gases de efecto invernadero.

“La búsqueda de fuentes de combustibles alternativos de origen orgánico, su adaptación y promoción surgió como una de las principales áreas de enfoque en todo el mundo, lo que podría tener un efecto positivo en la reducción de los precios de los combustibles fósiles y la solución de los problemas ambientales” (Felneris & Raslavicius, 2016, pág. 109).

La producción global de biocombustibles ha tenido un crecimiento de 100 billones de litros entre el año 2000 y 2010, siendo Brasil y Estados Unidos los mayores productores de bioetanol, mencionando aquí también a países que están emergiendo como productores de biodiésel como China, India y Tailandia. Sin embargo, la producción global de biodiésel ascendió a 24,7 millones de toneladas métricas en el año 2013, gracias a altas producciones de biodiésel de aceite de soja, siendo Europa uno de los principales productores (Aguilera Peña, 2014, pág. 4).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Este presente se análisis se lo realizará en la ciudad de Ibarra, en los laboratorios de Sistema de Inyección Diésel pertenecientes a la Universidad Técnica del Norte, en el cual se podrá obtener datos importantes sobre el presente análisis.

Para la realización de esta investigación tendrá un tiempo aproximado de un año, en el cual se podrá determinar todos los parámetros y fenómenos que se pueden producir en el interior de los elementos móviles de las bombas de inyección mecánicas, con la utilización de biodiésel.

Sin embargo, en las últimas décadas el desgaste o daños que han presentado las bombas de inyección mecánicas, han generado consecuencias negativas en los usuarios que adquieren vehículos con motores diésel.

Debido a todo esto, se surge con la necesidad de crear nuevas fuentes de combustibles, y aun mejor si son combustibles alternativos, los cuales son: limpios, sostenibles y en especial renovables; lo que permitirán sustituir a los combustibles a base de petróleo, lo cual promoverá a la disminución de costos de producción y a obtener resultados positivos en cuanto a la reducción de emisiones contaminantes hacia el medio ambiente.

Ante todo, este proceso, es indispensable saber que ante el elevado costo de elaboración y ejecución para el proceso de investigación de todos los combustibles alternativos y la falta de tecnología que existente en los países Latinoamericanos y poco desarrollados como Ecuador, los científicos han optado por realizar estudios a biocombustibles de origen vegetal, por su factibilidad de obtención y producción.

Es por esto, que es indispensable de realizar un serio análisis con respecto al tema planteado, debido a que en la actualidad no existen investigaciones con respecto a lo planteado, y además analizar el desgase y emisiones producidas con el uso de diésel fósil, y los cambios que estos presentan en sus elementos móviles y en sus emisiones contaminantes al mezclarlo con un porcentaje de biodiésel.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo realizar un análisis de desgaste en elementos de bombeo en bombas de inyección mecánicas?

1.4. DELIMITACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL

La delimitación temporal y espacial permite conocer tanto el período de tiempo como el lugar donde se ejecutará el presente estudio.

1.4.1. DELIMITACIÓN TEMPORAL

El presente trabajo se desarrollará durante el período comprendido entre los meses de agosto 2019 y febrero 2020.

1.4.2. DELIMITACIÓN ESPACIAL

El presente estudio se llevará a cabo dentro de la ciudad de Ibarra, ubicada en la provincia de Imbabura, precisamente en el Laboratorio de Diésel de la Universidad Técnica del Norte.

1.5. OBJETIVOS

Los objetivos son el conjunto de metas y propósitos que se van a cumplir en dicho estudio.

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Análisis de desgaste en elementos de bombeo en bombas de inyección mecánicas con la utilización de biodiésel de mezcla B5, el mismo que ayudará a reducir sustancialmente las emisiones contaminantes del medio ambiente.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los componentes internos en los elementos de bombeo, tanto en bombas de inyección mecánicas lineales y rotativas.
- Determinar el desgaste que se producen en los émbolos, camisas y distribuidor.
- Analizar el funcionamiento de los elementos seleccionados.
- Diagnosticar el desgaste suscitado en los elementos internos de la bomba de inyección con la utilización de biodiésel.
- Comparar el estado de los elementos internos de la bomba con el uso de diferentes combustibles.

1.6. JUSTIFICACIÓN

El Programa del Gobierno Plan Buen Vivir 2013-2017, en la parte revolución ecológica, apuesta por la transformación productiva bajo un modelo eco eficiente con mayor valor económico, social y ambiental. En este sentido, se plantean como prioridades la conservación y el uso sostenible del patrimonio natural y sus recursos naturales, la inserción de tecnologías ambientales limpias, la aplicación de la eficiencia energética y una mayor participación de energías renovables, así como la prevención, el control y la mitigación de la contaminación y la producción, el consumo y el postconsumo sustentable (Falconí, 2013, pág. 222).

Según el Inventario de Emisiones de Gases Contaminantes de Gases de Efecto Invernadero, el total nacional de emisiones y remociones asciende a 410 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂); en 16 años hubo un incremento porcentual del 54,6% (Falconí, 2013, pág. 231).

Para todo esto, en el Programa de Gobierno Plan Buen Vivir 2013-2017, se dispuso: promover la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental (Falconí, 2013, pág. 237).

Promover investigaciones para el uso y la generación de energías alternativas renovables, bajo parámetros de sustentabilidad en su aprovechamiento (Falconí, 2013, pág. 237).

Reducir gradualmente el uso de combustibles fósiles en el transporte y sustituir los vehículos convencionales, fomentando la movilidad sustentable (Falconí, 2013, pág. 237).

1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para la realización del siguiente estudio es importante emplear una metodología adecuada a nuestro proyecto de titulación, el mismo que consiste en identificar el tipo de investigación que se va a poner en práctica, las mismas que se puntualizan a continuación.

1.8. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DIÉSEL.

El motor diésel es una máquina térmica, cuya misión es la de obtener trabajo mediante la combustión de una determinada cantidad de mezcla de aire y combustible en el interior de sus cilindros. Este combustible, al mezclarse con el aire que se encuentra a una presión y temperatura relativamente alta en el interior de los cilindros, es inyectado de forma pulverizada, produciendo trabajo y la ignición del motor.

Al inicio del ciclo en el motor diésel, el fluido operante es sólo aire; a este aire se le inyecta el combustible a la mitad del ciclo. Es por esto que, al final del ciclo de escape, el fluido operante es una mezcla de gases que son el producto de la combustión en el interior de los cilindros, el mismo que al final del ciclo será evacuado por el múltiple de escape hacia el exterior (Martí Parera, pág. 5).

El motor Diésel consta de partes, tanto fijas como móviles, de las cuales las partes fijas son: el bloque, la culata y el cárter, los cuales son los encargados de formar todo el conjunto de un

motor Diésel. El bloque es el cuerpo principal entre la culata y el cárter, es de hierro fundido debido a que es el encargado de recibir la energía producida por los elementos móviles del motor. La culata también es de hierro fundido debido a que debe tener una elevada conductividad térmica para resistir la presión de los gases producidos en el interior de los cilindros del motor. Esta a su vez aloja al árbol de levas, válvulas, propulsores, resortes y a los colectores de admisión y escape, los mismos que son encargados del ingreso del flujo de aire, y de la salida de los gases de combustión. El cárter es un depósito cuya misión es almacenar todo el aceite para la lubricación de las piezas móviles del motor.

Por otra parte, los elementos móviles son esenciales para realizar el proceso de comprimir el aire, y a su vez, son los encargados de introducir el combustible en el seno de este y producir energía. Los mecanismos de manivela son dispositivos cuya misión es convertir el movimiento alternativo de un pistón, producido por la expansión de un gas, en el movimiento giratorio de la manivela conectada al eje o cigüeñal. Entre los elementos móviles se desprenden: pistones, bielas, cigüeñal y anillos de pistón, los mismos que están encargados de cooperar a que se realice el ciclo completo de funcionamiento de un motor Diésel (Kates & Luck, 2003, pág. 27).

Una relación de compresión dentro de un motor Diésel está alrededor de 20:1, y para un motor de ciclo Otto es de 9:1, por lo que, las compresiones tan grandes como estas, provocan un gradiente de temperatura lo suficientemente alta como para encender el combustible de forma espontánea, sin necesidad de una chispa, o de un sistema de encendido adicional.

Tanto los motores de ciclo Otto como Diésel son motores de combustión interna, es decir, quemar el combustible en el interior de los cilindros. La mayoría de los motores de gasolina y muchos Diésel, funcionan con ciclos de cuatro tiempos: el pistón realiza una carrera de aspiración [descendente], una carrera de compresión [ascendente], una carrera motriz [descendente] y una carrera de escape [ascendente] (Kates & Luck, 2003, pág. 28).

1.8.1. TEMPERATURA DE COMBUSTIÓN.

El funcionamiento de los motores alternativos, van en función de la temperatura que alcanzan dentro de la cámara de combustión, tanto en motores de ciclo Otto como en motores de ciclo Diésel, para lo cual se obtiene parámetros sumamente diferentes en cuanto a presión y temperatura que producen estos motores.

Un motor de ciclo Otto trabaja mediante la compresión de la mezcla aire-combustible dentro de los cilindros. El grado de compresión de la mezcla aire combustible es lo que se llama relación de compresión. Cuando el pistón llega cerca del Punto Muerto Superior [PMS], dentro del cilindro se produce una chispa eléctrica de la bujía. La chispa salta entre sus dos electrodos e inflama la mezcla comprimida de aire-combustible, produciendo la ignición del combustible, de tal forma que aumenta considerablemente la presión y temperatura en la cámara de combustión. En el ciclo de compresión cuando el pistón se encuentra en el PMS y se a comprimido toda la mezcla aire-combustible, la temperatura dentro del cilindro puede alcanzar una próxima a los 450°C (Crouse, 1993, pág. 57).

En el motor Diésel, las relaciones de compresión se establecen entre 18 y 23 [18:1, 23:1], de modo que la compresión resulta considerablemente elevada, al igual que en el caso del motor de ciclo Otto, el aire, al verse comprimido, aumenta su temperatura aproximadamente a unos 600 °C, y las presiones alcanzadas al final del tiempo de compresión se encuentran entre los 30 y 50 bar (Castro, 1987, pág. 18).

“La temperatura en la bujía de incandescencia de espiga varía con el estado de funcionamiento del motor. En el motor de inyección directa, las temperaturas máximas se producen a un determinado régimen bajo del motor y a una carga elevada. Por el contrario, en el motor con antecámara o cámara de turbulencia, la temperatura máxima se produce a una carga elevada y un régimen elevado” (Bosh, Manual de la técnica del automóvil 4ta Edición, 2005, pág. 714).

1.8.2. PRESIÓN DE COMBUSTIÓN

“La presión generada en el sistema de inyección tiene como finalidad que el combustible salga del inyector de forma pulverizada. Un sistema con alta presión de inyección consigue que el spray de combustible salga más pulverizado. La colisión del combustible pulverizado con el aire en el interior de la cámara de combustión causa la atomización del combustible. Así, cuanto mayor sea la velocidad relativa entre el combustible y el aire, y mayor sea la densidad del aire, mejor será la atomización del combustible. La presión de inyección en la tobera puede ser mayor que a la salida de la bomba, debido que en el tramo de tubería se refleja la onda de presión” (Castillejo Calle, 2014, pág. 24).

En los motores de ciclo Otto, la presión en la cámara de combustión puede llegar a alcanzar los $42,18 \text{ Kg/cm}^2$ [600 lb/in^2]. Esto significa que la presión actuante sobre la cabeza del pistón en su movimiento descendente puede alcanzar $1.814,36 \text{ Kg/cm}^2$ [4.000 lb/in^2]. Esta presión empuja hacia abajo el pistón en el tiempo de explosión o carrera motriz, y es transmitida por la biela a la manivela del cigüeñal, al cual obliga a girar (Crouse, 1993, pág. 58).

Por su parte, en el motor Diésel, casi inmediatamente después de empezar la inyección se produce el encendido espontáneo del combustible dada la circunstancia de que el aire comprimido está a alrededor de los $600 \text{ }^\circ\text{C}$ que hemos visto antes y el punto de encendido del combustible es mucho más bajo, alrededor de unos $280 \text{ }^\circ\text{C}$, de modo que van aumentando las presiones en el interior de la cámara con valores que ahora pueden llegar de 60 a 90 bar y un aumento también considerable de la temperatura (Castro, 1987, pág. 19).

1.8.3. CONTROL DE LA ADMISIÓN DE AIRE

El caudal de paso de aire que ingresa a los cilindros de los motores, tanto de ciclo Otto como de ciclo Diésel es el mismo, con la diferencia que en el motor Diésel no posee una válvula de mariposa para variar la carga del motor, por lo que, el flujo de aire que entra a los cilindros no es controlado. Esto variará de acuerdo al sistema de ingreso de aire que estos tengan, ya sean

motores atmosféricos o sobrealimentados, es decir que, la presión de aire de un motor Diésel atmosférico, siempre será la atmosférica, y, la presión de aire en motores sobrealimentados, es decir, mediante la utilización de un turbocompresor será alrededor de 2 a 12 atmósferas de acuerdo al tamaño y capacidad de este. La carga se controla variando la cantidad de combustible en las bombas de alta presión.

Esto, se obtiene simplemente con introducir una mayor cantidad de aire a los cilindros, permitiendo de esta forma inyectar más caudal de combustible, con lo cual, se consigue un aumento de la presión eficaz en los cilindros. En numerosos casos, resulta muy apreciable porque se consigue un ahorro del consumo específico [gramos/CV. Hora].

En motores de combustible a gasolina el ingreso del aire hacia los cilindros es controlado por el pedal del acelerador, esto permite regular de forma directa la apertura o cierre de la mariposa de admisión. Mientras mayor sea la presión ejercida en el pedal del acelerador, mayor será la apertura de la mariposa, y, por ende, el ingreso de aire y la carga del motor será mayor.

En los sistemas con control electrónico del motor, el pedal acelerador es electrónico. Esto en base a que el conductor prefija la posición del acelerador de acuerdo a su necesidad. Un sensor en el pedal del acelerador mide los parámetros requeridos por el conductor, en este caso, la posición del pedal. Esto hace que la mariposa activada eléctricamente se abra correspondientemente, permitiendo el llenado necesario de aire en los cilindros del motor.

1.9. SISTEMAS DE INYECCIÓN EN MOTORES DIÉSEL

1.9.1. BOMBA DE INYECCIÓN

La bomba de inyección es un elemento capaz de elevar la presión de un fluido, el cual se encuentra presente por lo general en los sistemas de inyección de combustible Diésel. Esta bomba de inyección es la encargada de elevar al combustible hasta un nivel capaz de tener una presión suficientemente alta para ser inyectado en el motor de forma pulverizada, la misma que es imprescindible para su inflamación espontánea.

La bomba de alimentación aspira el combustible del depósito y lo bombea hacia la cámara de alta de presión de la bomba, a una presión conveniente, que oscila entre 1 y 2 bar. El sobrante de este combustible tiene salida a través de la válvula de descarga situada en la bomba de inyección y también puede estar en el filtro, retornando al depósito, permitiendo que esta válvula controle la presión del combustible en todo el circuito. (Mafla Yépez & Martínez Núñez, 2011, pág. 8).

Esta bomba inyectora, es accionada por medio del sistema de distribución, el mismo que le permite girar sincronizadamente, ya sea mediante piñones, cadenas o por una correa dentada, y a la mitad del régimen en un motor de 4 tiempos. La presión se regula mediante un tornillo, y al ser bombas mecánicas no cuentan con un circuito eléctrico. En su interior cuentan con elementos de bombeo [cilindro y émbolo], los cuales se encuentra ajustados con gran precisión. El émbolo a su vez tiene dos movimientos simultáneos, los mismos que son: rotativo para distribuir, y axial para comprimir el combustible Diésel.

1.9.2. INYECTOR-BOMBA

El sistema inyector-bomba [unit injector] se fija directamente en la culata del motor figura 1.1. Este diseño combina la bomba de inyección y la tobera de inyección en una única unidad que es accionada por el árbol de levas del motor; bien sea directamente, o a través de seguidores y articulaciones. Cada inyector-bomba tiene su propia válvula solenoide de alta velocidad, que controla el inicio y el final de la inyección. Al abrirse la válvula solenoide, el inyector-bomba fuerza el combustible hacia el retorno, permitiendo que la cámara de bombeo se llene durante la carrera de admisión del pistón y, cuando está cerrada, el combustible es forzado a salir hacia la cámara de combustión, cuando se supera la presión por defecto del inyector, mientras que se permite un cierto flujo de retorno durante la carrera de entrega del pistón (Salvador Rubio, 2007, pág. 14).

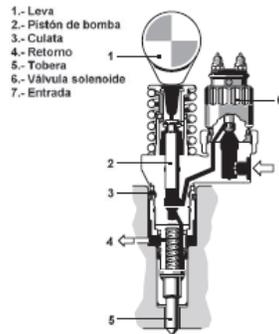


Figura 1.1 Sistema Inyector-Bomba
(Salvador Rubio, 2007, pág. 15)

Los sistemas de inyector-bomba se clasifican en:

- **Unidad de bomba-inyector (UIS):** Este sistema va montado en la culata de cada cilindro del motor y es accionado directamente, ya sea por un empujador o balancín, que a su vez son accionados por las levas del árbol de levas. Su presión de inyección es sumamente superior a las que brindan las bombas de inyección de elementos en línea y rotativas, debido a que no cuentan con tuberías de alta presión, con lo cual, por su elevada presión ayuda con una gran reducción importante de emisiones contaminantes.
- **Unidad bomba-tubería-inyector UPS:** Su principal funcionamiento es similar a la anterior bomba mencionada, pero a diferencia de esta, cuenta con su propio inyector y una bomba, las mismas que permanecen ligadas por medio de una tubería corta de inyección. El inyector de este sistema ofrece una inyección individual a cada cilindro del motor. Además, la regulación electrónica y duración de inyección permiten que el motor proporcione una gran reducción de emisiones contaminantes.

Según (Salvador Rubio, 2007, pág. 15) “En los sistemas de inyección convencionales, bomba-línea-inyector, la presión máxima de inyección está limitada por las características físicas de las líneas de alta presión entre la bomba y el inyector. El inyector-bomba hace que tales líneas sean innecesarias, lo que significa que son posibles presiones de inyección de hasta 160 MPa [23.206 lb/in^2]. Mediante el uso del control electrónico, funciones especiales como el inicio de inyección con control de temperatura, control del motor en marcha suave, e incluso, inyección piloto para reducir el nivel de ruido, son posibles. Además, el uso del inyector-bomba hace

posible desconectar individualmente los cilindros del motor, durante el funcionamiento a carga parcial”.

1.9.3. CUMMINS

Los motores Cummins están diseñados para operar exitosamente en aceleración total bajo condiciones transitorias hasta la velocidad de torque pico del motor. Esto concuerda con las prácticas de operación recomendadas por el fabricante de estos motores. Puede ocurrir la operación del motor por debajo del régimen de torque máximo durante el cambio de velocidades debido a la diferencia de relaciones entre cambios de la transmisión, para lo cual, la operación del motor no debe sostenerse por más de 30 segundos en aceleración total por debajo del régimen de torque pico (Cummins Engine Company, 2015, pág. 13).

1.9.4. SISTEMA CUMMINS DE COMBUSTIBLE CONTROLADO ELECTRÓNICAMENTE

“El sistema Signature/ISX es un sistema de inyección de combustible controlado electrónicamente que permite economizar su consumo y reducir las emisiones de escape, permitiendo controlar la curva de torque y potencia, velocidad alta del motor, ralentí bajo, y velocidad de camino. Los inyectores son de un diseño de boquilla abierta. El Electronic Control Module [ECM] procesa la información que recibe de los sensores y controla a los actuadores de presión y de sincronización de combustible. Esta acción controla la cantidad de combustible dosificado a cada grupo de inyectores y la sincronización precisa de cada grupo de inyectores. Esto producirá la potencia y torque correctos para el motor” (Cummins Engine Company, 2015, pág. 43).

1.10. BOMBAS DE INYECCIÓN DE ELEMENTOS EN LÍNEA

Este tipo de bomba ideada y diseñada por Robert Bosch a principios del siglo XX ha sido la más utilizada en la mayoría de vehículos pesados, incluso se usó en turismos hasta la década de los años 60, pero se vio sustituida por bombas rotativas, las mismas que son más pequeñas y aptas para motores rápidos. Este tipo de bombas es de constitución robusta y fiable mecánicamente, por lo que sus inconvenientes son debido a su tamaño, peso y que están limitadas a un régimen determinado del motor, haciéndolas aptas para vehículos pesados, más no para turismos. La bomba de inyección de elementos en línea está constituida por tantos elementos de bombeo colocados en línea, como cilindros tenga el motor. En su conjunto incluye además de los elementos de bombeo, un regulador de velocidad que puede ser centrífugo, neumático o hidráulico; un variador de avance automático de inyección acoplado al sistema de arrastre de la bomba (Mafla Yépez & Martínez Núñez, 2011, pág. 5).



Figura 1.2 Bomba de inyección de elementos en línea Bosch
(Castillejo Calle, 2014, pág. 35)

1.10.1. BOMBAS DE INYECCIÓN EN LÍNEA ESTÁNDAR PE

Las de tipo estándar PE trabajan de forma que, un taladro de aspiración realiza el inicio del suministro de combustible, y este cierra mediante una arista ubicada en la parte superior del

émbolo. Su caudal de inyección de combustible se lo verifica por medio de la utilización de una arista de mando dispuesta de forma inclinada en el émbolo, y esta a su vez deja libre la abertura de aspiración.

1.10.2. DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA INYECTORA

La bomba de inyección de elementos en línea, es una bomba impelente de simple efecto, siendo la que se instala principalmente en los motores sobrealimentados con turbocompresor y es denominada en “línea”; provistas de cuatro, seis u ocho elementos de bombeo, por lo tanto, se monta en motores de la misma cantidad de cilindros. Teniendo la misión como se sabe de enviar a cada cilindro del motor la misma cantidad de combustible según las necesidades y a una elevada presión en el instante preciso en que el aire aspirado está fuertemente comprimido y a una gran temperatura en la cámara de combustión, produciendo el auto-encendido, obteniéndose de esta forma el “ciclo de trabajo”.

Dentro del estudio de las bombas de inyección de elementos en línea estándar tipo PE, existen varios tipos que son:

- a. Bomba de inyección, tipo PE, con variador de avance y corrector de humos montado en el cárter del regulador:** Bomba montada en motores sobrealimentados.
- b. Bomba de inyección, tipo PE, con volante y corrector de humos montado en la parte anterior de la bomba:** Igualmente se monta en motores sobrealimentados.
- c. Bomba de inyección, tipo PE, con volante y sin corrector de humos:** Bomba montada en los motores aspirados, o sea en los que no están sobrealimentados.
- d. Bombas de inyección en línea con válvulas de corredera:** Este tipo de bombas a diferencia de las bombas en línea estándar, es que al interior de esta se desliza sobre un émbolo mediante un eje actuador convencional, con lo cual se puede lograr una modificación de la carrera previa, y por consiguiente el comienzo de la inyección.

1.10.3. CONSTITUCIÓN DE LA BOMBA INYECTORA

Estas bombas de inyección están formadas por una serie de componentes que se montan en un cuerpo monobloc de aleación ligera, de los cuales los más importantes son los que se aprecia en la figura 1.3.

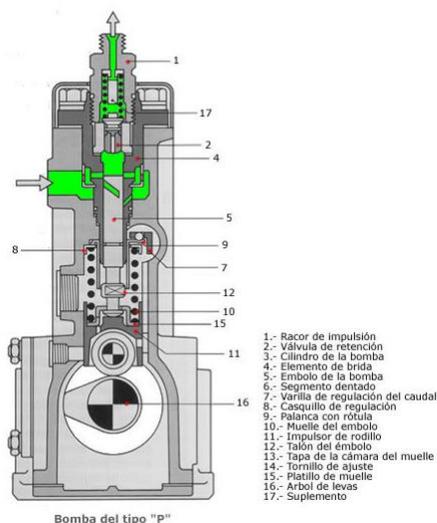


Figura 1.3 Constitución de una bomba inyectora, tipo PE
(Dani meganeboy, 2014, pág. 7)

1.10.3.1. El regulador

Es un sistema mecánico centrífugo, el cual permite mantener la marcha lenta, equilibrada y uniforme [ralentí] del motor, es decir, no debe pararse el motor ni embalsarse, sino que debe mantenerse a un régimen lo más constante posible. Además, debe de limitar el régimen máximo que el fabricante del motor determine.

1.10.3.2. La bomba de alimentación

Es una bomba de émbolo del tipo FP/K, o sea aspirante-impelente de simple efecto, cuyo émbolo está accionado mediante un impulsor de rodillo por una excéntrica del árbol de levas de la propia bomba inyectora, y tiene la misión de enviar el combustible previamente filtrado a la cámara de

carga de esta con una presión de 1 a 1,5 Kg/cm^2 , para que los elementos de bombeo lo envíen hacia al circuito de alta presión, en este caso, hacia los inyectores.

Esta bomba de alimentación tiene adosada en su parte superior otra bomba que se acciona a mano, sirviendo para cebar el circuito de baja [bomba de alimentación, filtros y bomba inyectora] antes de la puesta en marcha del motor, para evitar causas que pudieran haber dado lugar a entrada de aire en dicho circuito.

1.10.3.3. El variador de avance

Es del tipo centrífugo automático denominado de “cuatro muelles” y varía el avance de inyección según el régimen, por consiguiente, el aumento de la potencia del motor. Este avance es necesario debido a que existe un cierto tiempo desde que el combustible penetra en el circuito hasta que comienza a arder, y por otra parte, al aumentar el régimen del motor, este disminuye el tiempo disponible para la combustión, por lo tanto, a la bomba inyectora se la monta dicho mecanismo en el eje de levas para acomodar el momento de la inyección a cualquier régimen de revoluciones del motor, con el fin de que se disponga del tiempo necesario para inflamar el combustible inyectado en los cilindros; este variador adelanta el avance a la inyección del orden de 8 grados al máximo régimen del motor.

1.10.3.4. Circuito de combustible de una bomba inyectora en línea

Las bombas de inyección en línea, como se sabe tienen el mismo número de elementos de bombeo, como cilindros tiene el motor. En la figura 1.4, está representado el esquema sobre un motor de seis cilindros, con los diferentes circuitos que recorre el combustible desde el depósito hasta que penetra en el interior de los cilindros del motor por medio de los inyectores.

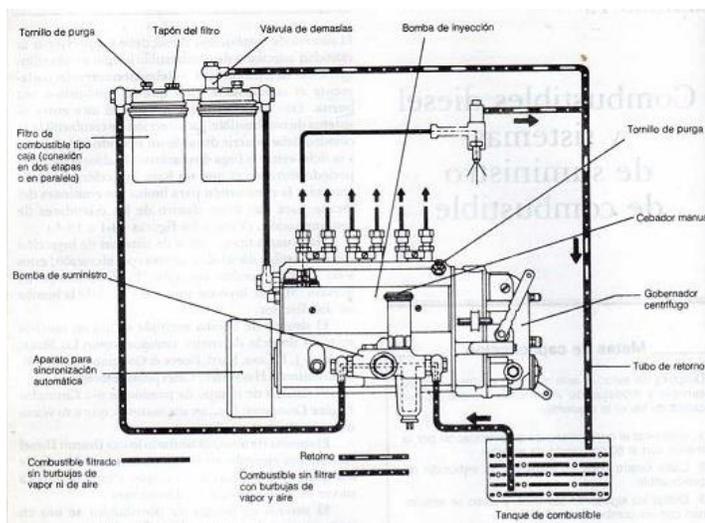


Figura 1.4 Esquema del circuito de combustible de una bomba inyectora de seis elementos (Odyssey, 2010, pág. 1)

1.10.3.5. Circuito de baja

Lo compone la bomba de alimentación que va adosada sobre un costado de la bomba inyectora, y accionada por el árbol de levas de esta, para que aspire el combustible del depósito por medio de una manguera y lo envíe a los filtros que están instalados en serie para recolecten las impurezas del combustible, y así, el combustible llegue en óptimas condiciones a la cámara de carga de la bomba inyectora. Todo este proceso tiene como objeto ayudar a que el combustible que llega a los elementos de bombeo sufran el menor desgaste posible y evitar que pierdan el alto grado de ajuste existente. Es por esto, que en la bomba de alimentación lleva una segunda bomba que se acciona a mano, la misma que coopera para cebar el circuito de baja antes de arrancar el motor por vez primera, o por una posible entrada de aire en dicho circuito.

1.10.3.6. Circuito de alta

Una vez que el combustible existente en la cámara de carga de la bomba inyectora pasa a los elementos de bombeo a través de las lumbreras de los cilindros, y los émbolos dosificadores lo envían a las cañerías de inyección que están conectadas a los inyectores del motor; estos órganos

están ajustados o calibrados para que el combustible enviado por dichos émbolos alcancen una elevada presión de aproximadamente 200 atmósferas antes de penetrar en el motor, formándose así el circuito de alta presión de inyección.

1.11. SOBREALIMENTACIÓN DEL MOTOR DIÉSEL

La característica principal de un motor Diésel es su par o mejor conocido como torque, debido a que es variable según el régimen del motor. Se tiene que es muy pequeño en los regímenes bajos y a partir de ellos va aumentando hasta conseguir un cierto valor máximo a un determinado régimen de revoluciones, y desde este instante según va aumentando el régimen del motor se va obteniendo la máxima potencia, mientras que el par va disminuyendo, de forma que es inferior al par máximo.

Por consiguiente, en la gama de regímenes bajos, la potencia del motor crece más que la velocidad de rotación; pero una vez que se alcanza el régimen del máximo par, el aumento de potencia se hace con mayor dificultad e incluso llega un momento que disminuye.

También, es importante que la proporción aire-combustible para cada régimen de velocidad del motor debe ser constante, con el fin de que se produzca una perfecta combustión en los cilindros; por otra parte, la variación del par según el régimen es generalmente bastante pequeña en el caso del motor Diésel; dicho de otra forma, su curva de par más bien tiende a ser plana. Por ello, este tipo de motor tiene una gran desventaja con respecto al de gasolina, por tanto, el vehículo que se equipa con motor Diésel necesita una caja de velocidades con mayor número de ellas para compensar el pequeño aumento de par a régimen decreciente por su dificultad que este tiene.

Por otra parte, siempre se desea de un motor que tenga una elevadísima potencia con el mínimo volumen, por razones de tamaño y economía, con este fin a los motores Diésel generalmente de cuatro tiempos se les da una sobrealimentación por medio de un turbocompresor para satisfacer dichas exigencias. Con esta sobrealimentación se aumenta la potencia específica y por consiguiente la potencia al freno [absoluta], en proporciones considerables que pueden doblar hasta la potencia inicial, es decir, la potencia que tendría el motor sin la sobrealimentación.

Con la sobrealimentación no solo desplaza la curva del par hacia arriba, sino que permite en muchos casos modificar su forma y conseguir una relación para máximo par a potencia máxima elevada que la del mismo motor sin sobrealimentación. Dicho de otra forma, la sobrealimentación permite aumentar a la vez la potencia y la agilidad [rapidez] del motor a un menor precio; porque se recurre mejor a estos motores sobrealimentados en vez de hacerles de mayor tamaño y conseguir una idéntica potencia.

Resumiendo, la cantidad de aire disponible en cada ciclo de compresión determina la potencia de un motor Diésel de cilindrada constante, por tanto, en un motor que se le acopla un turbocompresor en el múltiple de admisión, permite aumentar el peso de aire-combustible disponible, y a consecuencia de este fenómeno, se obtiene un aumento de potencia proporcional.

1.12. MISIÓN DEL CORRECTOR DE HUMOS

Para evitar humos en los gases de escape de los motores sobrealimentados con turbocompresor, la bomba de inyección está equipada con un tope de carga máxima variable, por lo que, todo esto dependerá de la posición de dicho tope, y de la presión de aire que este entregando el turbocompresor en cada instante.

Este dispositivo que modifica el tope de máxima carga de la bomba inyectora, se le denomina comúnmente como corrector de humos, y consiste en realidad en un regulador que actúa en función de la presión existente en el múltiple de admisión del motor, impidiendo que la bomba mande un exceso de combustible, con el fin de evitar una mezcla demasiado rica a bajo régimen de revoluciones, o al realizar una rápida aceleración consiguiendo además que los gases de escape sean más puros.

El funcionamiento del corrector de humos depende en todo instante de la presión existente en el múltiple de admisión, por lo tanto, los correctores neumáticos que se instalan en las bombas inyectoras de los motores sobrealimentados, están conectados al múltiple de admisión mediante una tubería de cobre que pone en comunicación a dicho múltiple con la parte superior del

diafragma de los correctores, con lo que siempre existirá la misma presión en esta parte del diafragma que en el colector de admisión del motor.

El corrector que indica la figura 1.5, se monta sobre la tapa del cárter del regulador, mientras que el otro modelo de corrector que indica la figura 1.6, se instala sobre el lado anterior del cuerpo de la bomba inyectora, es decir, en el lado de accionamiento.

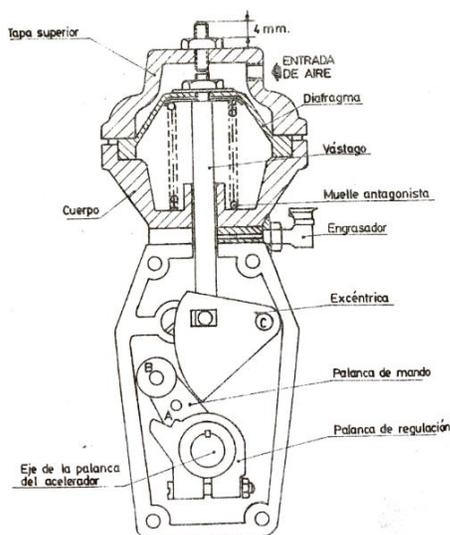


Figura 1.5 Partes principales de la bomba PE con variador de avance y corrector de humos instalado en el cárter regulador
(Williams, 1990, pág. 45)

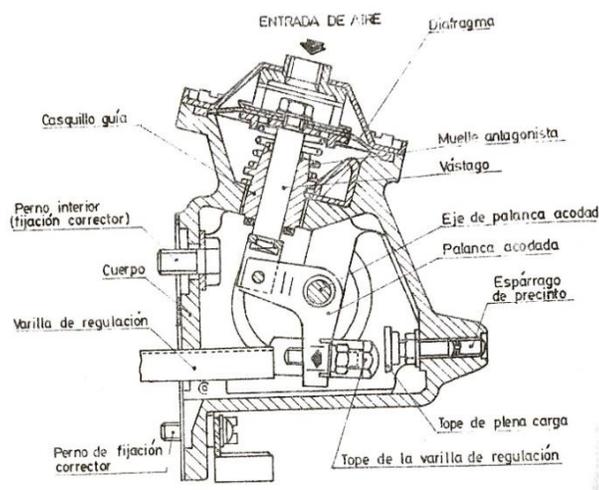


Figura 1.6 Partes principales de la bomba PE con volante y corrector de humos instalado sobre la parte anterior de la bomba
(Williams, 1990, pág. 45)

1.12.1. CONSTITUCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL CORRECTOR DE HUMOS, INSTALADO SOBRE REGULADOR

El corrector neumático que se monta sobre el cárter del regulador centrífugo de la bomba inyectora está formado por una serie de piezas principales, como se puede ver en la figura 1.5. El cuerpo principal se fija al cárter del regulador y en su parte inferior se encuentra la palanca de regulación, que a su vez se hace solidaria al eje de la palanca del acelerador a través de un perno con su tuerca y su respectiva chaveta, la palanca de mando y la excéntrica que conecta con el vástago del diafragma; todo ello se protege con una tapa lateral que se fija al propio cuerpo del corrector. Sobre la parte superior del cuerpo se instala el diafragma mencionado anteriormente que forma un conjunto con el vástago que está conectado a la excéntrica, así como un muelle antagonista; todo esto va protegido por una tapa superior que en su centro lleva un espárrago para regular el recorrido del diafragma en posición de reposo, con el fin de evitar que se deteriore por la presión que sobre ella ejerce el muelle antagonista, y a la vez se utiliza para darle una tensión inicial, que determina la cota de los 4 mm, según se observa en la misma figura.

1.12.2. CONSTITUCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL CORRECTOR DE HUMOS, INSTALADO EN LA PARTE ANTERIOR DE LA BOMBA

El corrector que se instala en la parte anterior de las bombas inyectoras lineales, actúa directamente sobre la varilla de regulación como se puede ver en la figura 1.6, no como el modelo anterior explicado en la figura 1.5, el mismo que lo hacía a través de un regulador centrífugo.

Este corrector está constituido por un cuerpo principal que se fija a la parte anterior de la bomba inyectora [lado de accionamiento] y en su interior se aloja la palanca acodada provista de un perno de regulación para el tope de la varilla de regulación, igualmente lleva en su interior el perno de regulación de plena carga. En la parte superior del cuerpo se instala el muelle y el casquillo guía del vástago de la membrana [diafragma] que esta roscado al propio cuerpo del corrector, que además sirve para regular la tensión del muelle; el vástago lleva en su parte superior el diafragma y por su extremo inferior está unido a la palanca acodada.

Cuando está montado el corrector de la bomba y el motor funciona a ralentí, la posición de los mandos del corrector será más o menos la que se indica en la propia figura 1.6. Ahora bien, si el motor trata de embalsarse por medio del acelerador, la varilla de regulación se desplazará hasta que haga contacto en el perno de regulación que tiene la palanca acodada, en cuya posición de equilibrio permanecerá hasta que la presión de aire existente en el múltiple de admisión y por consiguiente en la parte superior del diafragma sea superior a la tensión inicial del muelle, en cuyo instante el propio diafragma lanzará a su vástago hacia abajo, y por consiguiente hace girar a la palanca acodada sobre su eje, permitiendo a su vez que la varilla de regulación se desplace hasta la posición de plena carga regulada por el tope y, por tanto, la bomba inyectará el máximo caudal de combustible.

Por lo contrario, si el motor está funcionando en estas condiciones, es decir, a plena carga y por alguna causa la presión de aire en el múltiple de admisión desciende a un valor por debajo de la presión inicial que ejerce el muelle en el diafragma, hará que este le empuje hacia arriba con lo cual su vástago tirara de la palanca acodada, la cual girará sobre su eje y por medio del perno de regulación de que va provista, empuja hacia la posición de paro a la varilla de regulación,

reduciendo de esta forma el caudal de combustible entregado por la bomba, con lo cual se quedara limitado el recorrido de la varilla hasta que la presión del aire en el múltiple de admisión sea superior a la tensión del muelle del diagrama.

Resumiendo, estos órganos adicionales que se montan en las bombas inyectoras consiguen acomodar con mucha exactitud el combustible entregado por la propia bomba según las exigencias de los motores, con lo cual se consigue lo dicho anteriormente sobre el ahorro de combustible y que los gases del escape sean más puros.

1.13. CALIBRACIÓN DE UNA BOMBA DE INYECCIÓN DE ELEMENTOS EN LÍNEA

“A plena carga, el volumen de combustible a inyectar es sólo $1/20.000$ de la cilindrada del pistón; en ralentí, esto se reduce a $1/100.000$. Ello significa que cuando un motor pequeño [desplazamiento, unos 820 cm^3] funciona en ralentí, la bomba de inyección debe dosificar la diminuta cantidad de aceite pesado que representa una simple gota redonda cuyo diámetro es bastante inferior a 3 mm ” (Kates & Luck, 2003, pág. 273).

1.13.1. PUESTA EN FASE

“Para adquirir idea de la extrema precisión con que debe regularse la puesta en fase de la inyección, basta con saber que un motor funcionando a 1000 rpm necesita solo $1/300$ de segundo para completar el período de inyección [suponiendo que este período cubra 20 grados de revolución de cigüeñal). No debe permitirse que el comienzo de la inyección varíe más de un grado de rotación del cigüeñal, lo que significa que el mismo debe mantenerse entre unos límites del orden de $1/6.000$ segundos” (Kates & Luck, 2003, pág. 273).

1.13.2. PRESIONES DE INYECCIÓN

“Las pequeñas cantidades de combustible citadas más arriba deben inyectarse entre los límites de tiempo mencionados a presiones del orden de 175 a 210 Kgf/cm^2), y a veces más elevadas” (Kates & Luck, 2003, pág. 273).

1.14. BOMBAS DE INYECCIÓN ROTATIVAS

La bomba de inyección rotativa es una innovación que se caracteriza por su diseño para abastecer combustible a motores de baja cilindrada, estos motores poseen los vehículos de turismo y también los industriales, los mismos que necesitan un sistema de inyección de fácil manejo. Estas bombas son accionadas mediante sincronización con el árbol de levas, lo cual se lo hace mediante correas, piñones o cadenas, permitiendo que el movimiento active a la bomba, y esta a su vez, suministre el combustible necesario al motor (Urresta Revelo & Gunza Colcha, 2018, pág. 22).



Figura 1.7 Bomba rotativa de cuatro salidas
(Dani meganeboy, 2014, pág. 2)

La bomba rotativa realiza el trabajo de un regulador y el variador de avance de forma conjunta al poseer un grupo compacto y su tamaño es reducido, este sistema es capaz de presurizar el

combustible a través de un único elemento y logra suministrar combustible a los diferentes cilindros, para realizar este trabajo necesita de un distribuidor rotativo. La aplicación y el diseño de una bomba se lo determina por medio del número de revoluciones del motor, es por esto que, son muy usados en vehículos de baja cilindrada, que, por su construcción, a diferencia de las bombas lineales, esta cuenta con un solo elemento de bombeo, el mismo que distribuye el combustible hacia los inyectores (Urresta Revelo & Gunza Colcha, 2018, pág. 23).

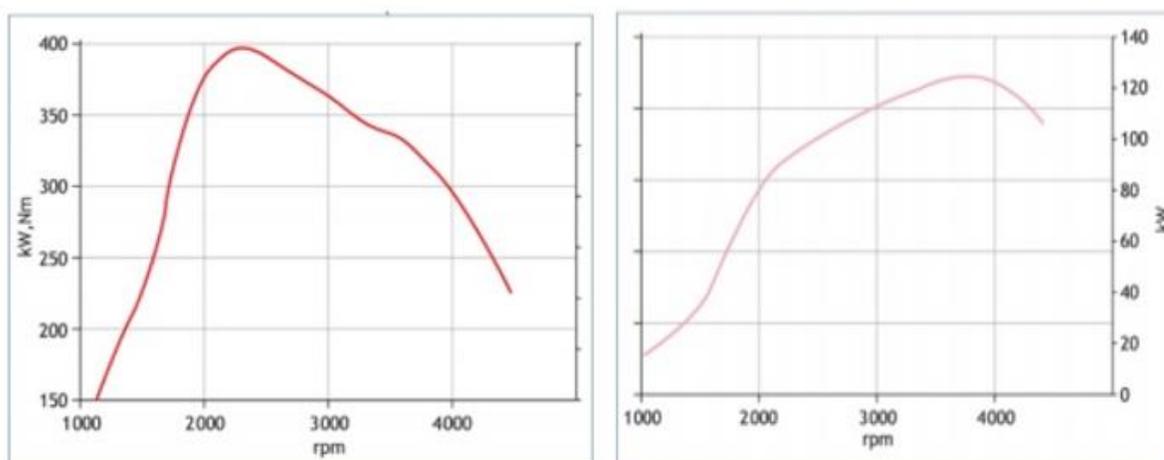


Figura 1.8 Curva de Torque y Potencia de un motor diésel con bomba de inyección rotativa (Urresta Revelo & Gunza Colcha, 2018, pág. 30)

1.14.1. FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA ROTATIVA

El combustible entra en la bomba por la válvula equilibrada de presión, procedente de la bomba de alimentación. La válvula equilibradora de presión está formada por una camisa flotante apoyada en un muelle que descansa en el fondo del cuerpo de la válvula. En el interior de la camisa se desplazan dos émbolos separados por un muelle (Martí Parera, 1996, pág. 60).

A diferencia de la bomba de inyección en línea, la bomba rotativa del tipo VE solo cuenta con un solo cilindro y un solo émbolo distribuidor, a pesar de que el motor sea de varios cilindros. La lumbrera de distribución asegura el reparto, entre las diferentes salidas correspondientes al número de cilindros del motor y del combustible alimentado por el émbolo de la bomba, debido

a que la distribución simétrica de estos se obtiene por el mecanizado del distribuidor de combustible (Mafla Yépez & Martínez Núñez, 2011, pág. 54).

Todo este conjunto permite que el combustible alimente a la bomba de transferencia del cabezal hidráulico, cuando la presión de la bomba de alimentación es mayor que la presión de la bomba de transferencia; pero cuando se invierten estos valores de presión en el combustible, los émbolos del interior de la camisa cortan la entrada de combustible y permiten que la bomba de transferencia se autoalimente, creando un circuito cerrado en su entrada, por lo que, la suministración de combustible es igual para cada uno de los cilindros, ya que la alimentación es suministrada a todos por un único elemento de bombeo (Martí Parera, 1996, pág. 60).

El accionamiento de estas bombas es forzado y, además se realiza de forma que el eje conductor de la bomba gire en perfecto sincronismo con el movimiento del pistón del motor. Todo este sincronismo se lo consigue por medio de una correa dentada, piñones o cadena, dependiendo de las disposiciones del diseño del fabricante del motor (Mafla Yépez & Martínez Núñez, 2011, pág. 57).

“La bomba de transferencia es una bomba de paletas formada por el rotor fijado al cabezal hidráulico y un anillo cuyo diámetro interior es excéntrico respecto al eje de la bomba, de manera que produce una disminución de volumen hacia la salida del combustible de la bomba y, en consecuencia, genera la presión de transferencia. La bomba manda el combustible a presión hacia el mecanismo de avance de la inyección, hacia la válvula dosificadora y a través de un conducto de paso calibrado hacia el interior del cuerpo de la bomba” (Martí Parera, 1996, pág. 60).

“Existen bombas rotativas de inyección para giro de derecha o izquierda. El orden de inyección depende, por tanto, del sentido de rotación, pero las salidas inyectan siempre el combustible según el orden geométrico de disposición. En el circuito de alimentación de los motores Diésel, el combustible es aspirado del depósito mediante la bomba de alimentación de aletas y transportado al interior de la bomba de inyección. Para obtener en el interior de la bomba una presión determinada en función del régimen del motor, se necesita una válvula reguladora de presión que permita ajustar una presión definida a un determinado régimen. La presión aumenta proporcionalmente al aumentar el régimen del motor, es decir, cuanto mayor sea el régimen,

mayor será la presión en el interior de la bomba. Una parte del caudal de combustible transportado retorna, a través de la válvula reguladora de presión a la entrada de la bomba de aletas. Además, para la refrigeración y auto purga de aire de la bomba de inyección, el combustible retorna al depósito de combustible a través del estrangulador de rebose dispuesto en la parte superior de la bomba” (Mafla Yépez & Martínez Núñez, 2011, pág. 58).

La válvula dosificadora varía el caudal de inyección en función de la posición en que se coloca la palanca del pedal acelerador; como ya se sabe, esta palanca no actúa directamente, sino que lo hace con interposición del regulador centrífugo que actúa como un filtro, según sea el tipo de regulador, en función del régimen del motor. Esta válvula está situada sobre la lumbrera de alimentación que, con el giro del cabezal hidráulico, se comunicará con un canal de carga del cabezal y el combustible pasará en mayor o menor cantidad. Los émbolos de presión, en el momento de carga son empujados dentro de su alojamiento, hacia la parte exterior del cabezal, por la presión que la bomba de transferencia imprime al combustible. (Martí Parera, 1996, pág. 60).

Este grupo de bombas de inyección rotativas están conformadas por tres tipos:

- **Bomba de inyección rotativa de émbolo axial:** Su principal funcionamiento es similar a una bomba de aletas, la cual aspira el combustible del depósito y lo introduce hasta el interior de la cámara de la bomba. Está conformada por un émbolo que realiza tantas carreras como cilindros tenga por abastecer al motor. Dispone de una corredera de regulación, la cual determina la carrera útil, y este a su vez, dosifica el caudal de inyección, el mismo que se lo realiza por medio de una electroválvula y señales procesadas desde una Unidad de Control Electrónico [UCE], las mismas que ordenan su control y regulación.
- **Bomba de inyección individual PF:** El sistema de este tipo de bomba no cuenta con un árbol de levas, a pesar de que su funcionamiento es muy similar a una bomba de inyección lineal de tipo PE. Por lo cual las encargadas del accionamiento son levas, las mismas que están ubicadas sobre el árbol de levas, el cual corresponde al control de válvulas del motor, y por tal razón, en este mecanismo no existe la posibilidad de variar el avance mediante un giro del árbol de levas.

- **Bomba rotativa de inyección VR de émbolos radiales:** Esta bomba se convirtió en la bomba de inyección más empleada en automóviles de turismo desde su introducción a los vehículos en el año 1964. Esta bomba fue desarrollada por Bosch apropiadamente para motores Diésel con inyección directa, y con una potencia de hasta 37 KW por cada cilindro. Su principal característica de esta bomba es porque cuenta con un mayor dinamismo en la regulación del caudal, y desde el comienzo de la inyección con presiones en el inyector de hasta 1600 bar (Bosh, Bombas rotativas de inyección de émbolos radiales, para motores diesel, 1999, pág. 8).

Para la instalación de estas bombas de inyección rotativas se cuenta con dos unidades de control para la regulación electrónica Diésel, una unidad de control para el motor y la otra para el control de la bomba. Esta división es necesaria para evitar un sobrecalentamiento de determinados componentes electrónicos y, por otra parte, para suprimir la influencia de señales parásitas que pueden producirse debido a las intensidades de corriente parcialmente muy elevadas, que pueden alcanzar hasta los 20 Amperios en la bomba de inyección (Bosh, Bombas rotativas de inyección de émbolos radiales, para motores diesel, 1999, pág. 29).

1.15. SISTEMA DE INYECCIÓN DE ACUMULACIÓN

El sistema de inyección de acumulación, prácticamente se refiere a los nuevos sistemas de inyección Diésel, los mismos que son denominados Common Rail. Uno de los sistemas de inyección más perfeccionados es el sistema de inyección por acumulador Common Rail [CR]. La ventaja principal del sistema Common Rail son las amplias posibilidades de variación en la configuración de la presión de inyección en los momentos de inyección. Esto se consigue mediante la separación de la generación de presión [bomba de alta presión] y la inyección [inyectores], para lo cual, se utiliza un conducto común como acumulador de presión (Bosh, Sistema de inyección Diesel por acumulador Common Rail, 2005, pág. 4).

1.15.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE INYECCIÓN

Los sistemas de inyección de combustible Diésel basados en un rail común usan un principio de funcionamiento muy sencillo, orientando siempre hacia la mejora de la pulverización y la atomización del combustible en la cámara de combustión, permitiendo la forma de la mezcla aire-combustible de una forma mucho más rápida y con una mejor homogeneización del combustible en cada ciclo de inyección en el motor. Esto permite que el aire se mezcle completamente con el combustible, ayudando a la disminución de las emisiones de gases contaminantes. La inclusión del rail en los motores modernos elimina la necesidad de que la bomba de inyección, distribuya el combustible a alta presión de forma individual a cada uno de los inyectores del motor, simplificando este proceso de una forma muy positiva y eficaz para los motores Diésel. En este caso, la bomba de combustible de alta presión hace llegar el combustible hasta el conducto de riel común, en el cual, la presión del combustible se mantiene constante en todo momento. Todo esto se encuentra monitorizado por la UCE a través de una serie de sensores de presión colocados en el conducto de riel común, los mismo que aseguran que los valores de presión en ningún momento sobrepasen los valores extremos estipulados, ya sea por exceso o por defecto (García del Río, 2015, pág. 202).

De esta forma, el sistema Common Rail contribuye a incrementar la potencia específica, reducir el consumo de combustible, la emisión de ruidos y la expulsión de sustancias nocivas de los motores Diésel. Por lo que, el Common Rail se ha convertido hoy en día en el sistema de inyección directa, el cual es el más utilizado en los motores Diésel modernos debido a sus elevadas prestaciones en cuanto a motores para turismos (Bosh, Sistema de inyección Diesel por acumulador Common Rail, 2005, pág. 5).

1.16. BIODIÉSEL

“La idea de utilizar combustibles provenientes de la biomasa en motores Diésel fue contemplada desde los mismos orígenes de la tecnología de fabricación de estos motores. Es muy prominente

la referencia histórica sobre la presentación de un motor Diésel funcionando con aceite de cacahuete [maní] en la feria de Paría del año 1900. Tal demostración fue llevada a cabo con el patrocinio del gobierno francés, que estaba interesado en que sus colonias africanas fueran autosuficientes en el consumo de combustibles” (Benjumea Hernández, Agudelo Santamaría, & Ríos, 2009, pág. 1).

“Las mezclas de biodiésel con diésel fósil brindan muchos beneficios hacia el medio ambiente, tales como: la reducción de emisiones, menor desgaste del motor, menor consumo de aceite de motor y una eficiencia térmica comparada con el combustible Diésel” (Tamilselvan, Nallusamy, & Rajkumar, 2017, pág. 1134).

1.16.1. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL BIODIÉSEL

“Los aceites y las grasas constituyen las materias primas esenciales para la producción de biodiésel. En esta sección inicialmente se estudia su naturaleza química, describiendo los componentes mayoritarios y minoritarios. Luego, se presenta una clasificación utilizando como criterio fundamental su origen animal o vegetal y, por último, se contrasta la composición química de los aceites y las grasas más relevantes para la industria del biodiésel” (Benjumea Hernández, Agudelo Santamaría, & Ríos, 2009, pág. 2).

La producción global de biocombustibles ha tenido un crecimiento de 16 billones de litros entre el año 2000, a más de 100 billones de litros en 2010, consagrando a Brasil y Estados Unidos como los mayores productores de bioetanol, y permitiendo que China, India y Tailandia emerjan como productores de biodiésel (Aguilera Peña, 2014, pág. 9).

1.16.2. PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE BIODIÉSEL

La materia prima utilizada para el proceso de fabricación del biodiésel es muy variada, debido a que existen distintos tipos de aceites vegetales, grasas animales, aceites reciclados, entre otros, haciendo que el resultado de la reacción química correspondiente sea una multiplicidad de ésteres de ácidos grasos distintos, en proporciones muy variables, todos ellos denominados

biodiésel. La reacción química que mejores resultados ha demostrado tener para obtener este biocombustible es la transesterificación. Este consiste en la reacción entre un triglicérido, que es el compuesto por una molécula de glicerol esterificada por tres moléculas de ácidos grasos, contenido en el aceite vegetal o grasa animal y un alcohol ligero [metanol o etanol], obteniéndose como productos finales glicerina y ésteres derivados de los tres ácidos grasos de partida, los mismos que componen a la creación de este combustible alternativo. En general se suele usar metanol como alcohol de sustitución, en cuyo caso el biodiésel estará compuesto por ésteres metílicos (Ganduglia, y otros, 2009, pág. 1).

1.16.3. PROPIEDADES DEL BIODIÉSEL

El biodiésel es definido por la norma ASTM D-6751 [American International for Testing and Materiales por sus siglas en inglés] como “ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivados de aceites vegetales o grasas animales denominado como B100”. Mientras que la mezcla de biodiésel es definida como una combinación de este biocombustible con el diésel derivado del petróleo y es denominado BXX, en la que XX equivale al porcentaje del volumen del biodiésel en la totalidad de la mezcla. Así, por ejemplo, B5 indica una mezcla con un porcentaje del 5% de biodiésel y 95% de diésel convencional. Las principales características del biodiésel son: características deseables y características no tan deseables. Las características deseables incluyen impactos positivos del uso del biodiésel a nivel ambiental, económico, técnico y de abastecimiento energético. Desde el punto de vista ambiental, el biodiésel es una fuente de energía renovable que contribuye al cuidado y perseverancia del medio ambiente gracias a los atributos que posee. El biodiésel se degrada cuatro veces más rápido que el diésel convencional, tardando aproximadamente 28 días en desintegrarse; no es considerado una sustancia toxica, razón por la cual no produce ningún riesgo en caso de derramamiento accidental en aguas oceánicas, la combustión del biodiésel reduce significativamente las emisiones de monóxido de carbono [CO] y otros Gases Efecto Invernadero. Adicionalmente, el biodiésel, al ser un combustible vegetal no contiene sustancias aromáticas cancerígenas a diferencia de los hidrocarburos (Lombana Coy, Vega Jurado, Britton Acevedo, & Herrera Velásquez, 2015, pág. 4).

1.16.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL BIODIÉSEL

Ante toda la problemática de contaminación, hizo que, la búsqueda de fuentes de combustibles alternativos de origen orgánico, su adaptación y promoción surgieran como una de las principales e importantes áreas de enfoque en todo el mundo, debido a que podría tener un efecto positivo en la reducción de los precios de los combustibles fósiles y en la solución de los problemas ambientales (Felneris & Raslavicius, 2016, pág. 109).

Las ventajas y desventajas que se tiene al usar biodiésel son según (Espín Ramos, 2016, pág. 24):

- El biodiésel al usarlo mezclado con el Diésel fósil mejora las condiciones del Diésel.
- Al provenir de fuentes de energía renovable y limpia no contiene azufre.
- Reduce el arranque en frío del motor hasta un 30%.
- Dependiendo del proceso de su elaboración y del porcentaje de mezcla con el Diésel puro puede reducir hasta un 44% los gases contaminantes del motor.
- Prolonga la vida útil de los motores.
- Es menos peligroso para su almacenamiento y su transporte.
- El consumo de combustible aumenta ya que el biodiésel contiene menos poder calorífico.
- Dependiendo de la mezcla empleada se puede encontrar residuos de glicerina en inyectores, cilindro, pistones y asientos de válvulas.
- Cuando se utiliza 100% biodiésel, el aceite lubricante se contamina, debido a la menor viscosidad del biodiésel.

1.17. INYECTORES

La misión del inyector es introducir el combustible alimentado a alta presión por la bomba de inyección a la cámara de combustión del motor. El inyector consta de cuerpo y aguja. Ambos están ensamblados con una precisión de ajuste del orden de 2 a 4 micrómetros y solo deben utilizarse como unidad completa. El conjunto inyector/porta inyector va montado en la culata

del motor. El porta inyector sirve para fijar el inyector en la culata, y para estanqueizarlo frente a la cámara de combustión. El tubo de alimentación desemboca en el porta inyector. Este tiene, además, una conexión para la fuga de combustible (Mafla Yépez & Martínez Núñez, 2011, pág. 66).

1.17.1. FINALIDAD DE LOS INYECTORES

El rendimiento óptimo del motor Diésel depende en gran parte del perfecto funcionamiento y sincronizado de su sistema de inyección. Para conseguir este máximo rendimiento es esencial, no solo abastecer de combustible al motor en cantidades dosificadas con exactitud y proporcionadas a la potencia que deba realizar, sino también que reciba las cargas de combustible en un estado tal que pueda producirse una perfecta combustión para evitar que se formen humos en el escape, es decir, que se quemé todo el combustible que es inyectado en los cilindros.



Figura 1.9 Elementos de un inyector de inyección directa
(Dani meganeboy, 2014, pág. 4)

En síntesis, la función realizada por el inyector es la de introducir el combustible enviado por la bomba inyectora en forma pulverizada a la cámara de combustión, y distribuirla por toda ella, con el fin de conseguir una perfecta y rápida combustión exenta totalmente de humos.

1.17.2. CONSTITUCIÓN DE LOS INYECTORES

Los inyectores utilizados en los motores Diésel, aunque difieren un poco la forma de sus componentes según el tipo, todos ellos desempeñan la misma o similar función, para lo cual en la figura 1.10 se puede observar todo el ciclo que cumple el inyector durante la carga de combustible y posterior inyección del mismo hacia la cámara de combustión.

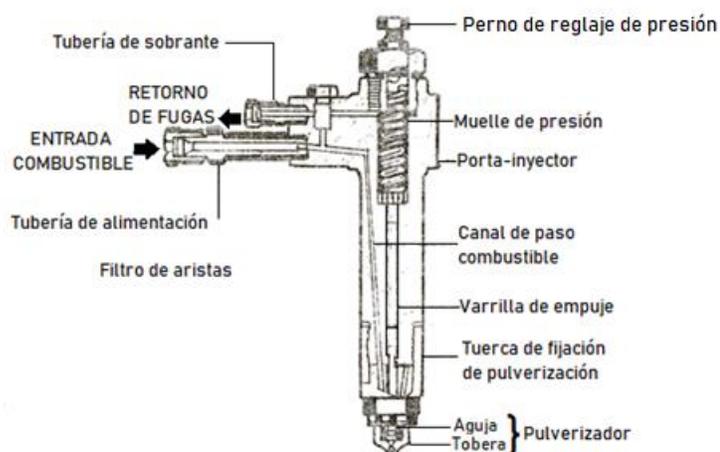


Figura 1.10 Sección de un inyector con tubería para conexión a tubo de alta presión
(Gil, 2002, pág. 12)

1.17.3. CUERPO O PORTA-INYECTOR

El porta-inyector lleva un dispositivo para regular la presión de apertura de la aguja de la tobera [presión de inyección], y además lleva las correspondientes conexiones para unir la cañería de inyección y el tubo sobrante. Por otra parte, tenemos que el cuerpo o porta-inyector se encuentra

en una posición determinada en la culata del motor para que la pulverización de la tobera quede orientada según la forma de la cámara de combustión.

Sobre el interior del porta-inyector, se monta el conjunto pulverizador que, a su vez, está compuesto por una tobera y aguja; formando entre estas dos piezas un conjunto de familia, es decir, que están ajustadas hasta tal punto en su fabricación, que no admiten ser sustituidas por separado en caso de dañarse una de ellas, debido a que el juego existente entre tobera y aguja, es aproximadamente de 4 a 6 micras.

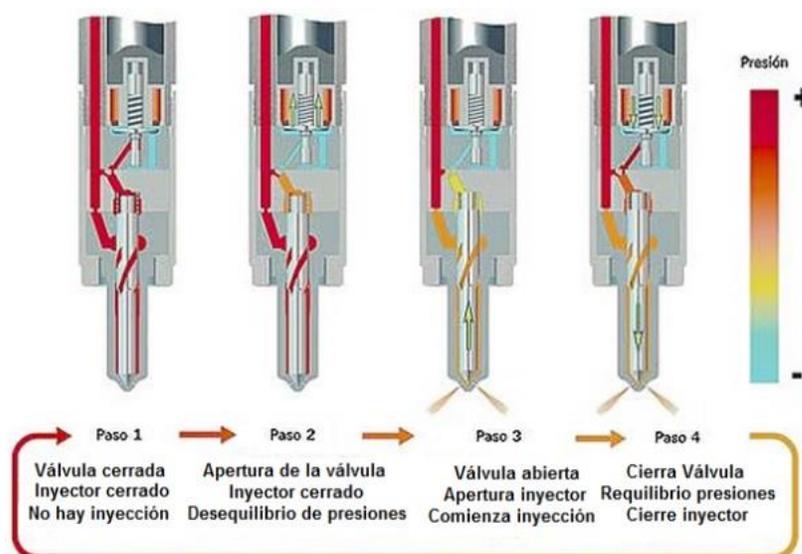


Figura 1.11 Principio de funcionamiento de un inyector
(Buitrago, 2008, pág. 1)

1.17.4. PULVERIZADOR [TOBERA-AGUJA]

En la figura 1.12, tenemos representado un conjunto pulverizador montado y por separado. La aguja tiene el extremo cónico que sirve de asiento para el cierre, y la tobera tiene unos orificios de pulverización para inyectar el combustible a la cámara de compresión del motor. Estos orificios suelen ser cuatro con un diámetro aproximado de 0,38 mm [el diámetro varía según el número de orificios y potencia del motor], aumentando de 1/100 en 1/100 mm, hasta el diámetro

de 55/100 mm, para diámetros superiores a 55/100 mm, los intervalos de aumento son de 5/100 en 5/100 mm.

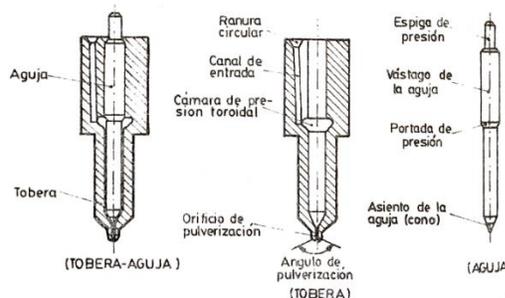


Figura 1.12 Componentes de un pulverizador (tobera-aguja)
(Vera Sotillo, 2013, pág. 10)

Los orificios de pulverización en las toberas se hacen de tal forma que una vez montados los inyectores en el motor queden orientados para obtener la mejor distribución posible del combustible dentro de la cámara de compresión, formado el llamado “ángulo de pulverización” que se puede observar en la figura 1.12. Este ángulo varía de una tobera a otra, debido principalmente a la forma de la cámara de combustión y a la relación de compresión del motor.

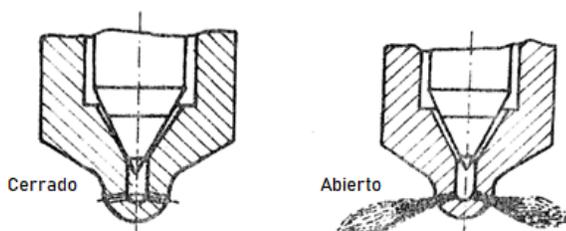


Figura 1.13 Tobera con aguja (cerrado-abierto)
(Vera Sotillo, 2013, pág. 13)

Con el fin de ver mejor el cierre hermético que efectúa la aguja sobre la tobera para cortar el combustible por medio de su cono, y como sale del mismo pulverizado por los orificios cuando la aguja esta levantada de su asiento; se expone en la figura 1.13, donde se puede observar las dos posiciones mencionas, es decir, cuando el cono de la aguja está en contacto sobre el de la tobera [cerrado], y saliendo el combustible pulverizado por los orificios de esta [abierto].

1.17.5. TIPOS DE TOBERAS DE INYECCIÓN

En la figura 1.14, están representadas las secciones de varios tipos de pulverizadores o toberas de tetones. Pulverizador de espiga o tetón, usado en motores de inyección indirecta, de pre cámara, de cámara de combustión, etc [DN], Pulverizador de orificios, tobera corta; usado en motores de inyección directa [DL] y Pulverizador de orificios, tobera larga; usado en motores de inyección directa [DLL]. La tobera DN tiene un taladro central cuyo diámetro varía de 1 a 3 mm, y su aguja tiene un tetón de diámetro ligeramente inferior con forma cilíndrica o cónica. La forma de dicho tetón determina el ángulo del chorro de pulverización, como se puede observar en la propia representación esquemática de la figura 1.14. Las toberas DL y DLL, como se puede ver en las secciones restantes de dicha figura, tienen uno o varios orificios; el diámetro de ellos y su orientación varia como se dijo según el número de orificios y potencia del motor.



Figura 1.14 Tipos de toberas
(Castro, 1987, pág. 18)

1.17.6. FUNCIONAMIENTO DEL INYECTOR

Cuando la fuerza del combustible es mayor que la tensión del muelle de presión del portainyector, la aguja de la tobera es levantada instantáneamente por la acción del combustible que actúa sobre la superficie de su cono de ataque a través de los orificios de pulverización de la propia tobera abierta, la misma que se puede observar en la figura 1.12.

La presión de apertura de la aguja del pulverizador está determinada por la tensión previa calibración del muelle de presión del porta-inyector, y su carrera está limitada por la construcción del propio porta-inyector, por lo tanto, tiene una alzada constante en su funcionamiento.

Después que el combustible ha sido introducido en la cámara de combustión, la fuerza del muelle de presión del porta-inyector se lo transmite a la pieza tope de la espiga de la aguja, haciendo que el cono de esta vuelva aplicarse contra su asiento en la tobera, por lo tanto, el pulverizador deja instantáneamente de inyectar combustible hasta la próxima carrera efectiva del correspondiente elemento de bombeo de la bomba de inyección.

1.17.7. CONTROL DE PULVERIZACIÓN [CHORROS] DE LA TOBERA

Durante este ensayo se aislará el manómetro de la máquina para que no se dañe durante el manejo rápido de la palanca de accionamiento. Una vez cerrada la válvula, si el inyector que está instalado en la máquina tiene la tobera de espiga, se accionará la palanca una vez por segundo más o menos, y deberá pulverizar de forma homogénea y simpátrica un chorro compacto sin gotear; además, el eje geométrico de dicho chorro tiene que estar en prolongación con el eje de la aguja de la tobera, figura 1.15. Pero accionado constantemente a la palanca de la máquina, el inyector al trabajar deberá de emitir un “crujido” agudo metálico característico; si el chorro resultante inclinado hacia un lado, figura 1.15, o aun siendo derecho, pero con bigotes o penachitos, la tobera tiene que ser sustituida.

Cuando se trata de una tobera de tipo estrangular, la palanca se deberá accionar un poco menos de dos golpes por segundo. La tobera se considera de un buen funcionamiento si el chorro resulta como el de la tobera de espiga normal. Además, el chorro de pulverización de las toberas estranguladas deberá tener un núcleo central de combustible no pulverizado, como se puede ver en la figura 1.15.

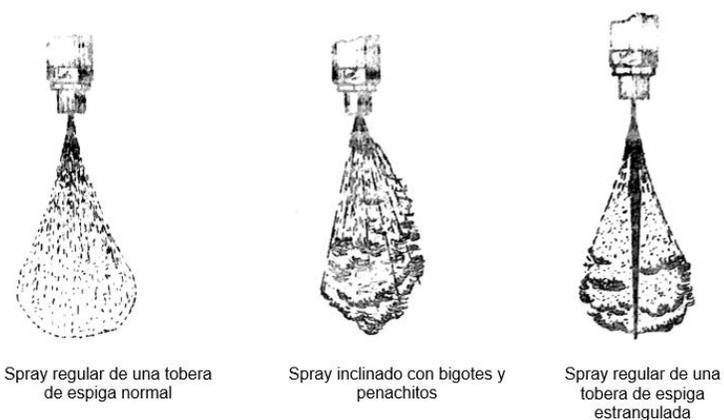


Figura 1.15 Diferentes tipos de spray según el tipo de tobera
(Castro, 1987, pág. 19)

Por último, si se trata de un pulverizador de orificios, la palanca se accionará con una velocidad aproximada de un golpe por cada dos segundos. En estas condiciones todos los orificios de la tobera han de producir una pulverización muy fina, según los ángulos que están previsto en la propia tobera, los mismos que se pueden observar en la figura 1.16.

Ahora bien, si todos los orificios de la tobera están correctamente limpios, el spray de pulverización es comúnmente satisfactorio porque son de idénticas características, como se puede observar en la figura 1.16. Pero si el spray resulta de forma irregular y poco pulverizado, todo esto es debido a que las superficies internas de los orificios de las toberas están corroídas o contienen impurezas, como se puede observar en la misma figura. En este caso, normalmente es necesario sustituir la tobera por otra nueva.

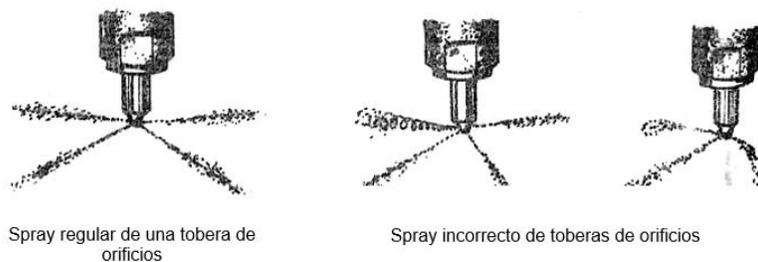


Figura 1.16 Comparación entre una tobera de orificios
(Williams, 1990, pág. 243)

1.18. COMBUSTIÓN EN MOTORES DIÉSEL

“El sistema de inyección es el responsable de suministrar el combustible al motor. Se compone de una etapa de baja presión y otra de alta, en la que se encuentra la bomba inyectora; ésta genera la presión de inyección requerida y suministra el combustible al circuito de alta presión. A su vez, la bomba inyectora es alimentada a través del circuito de baja presión, encargado de transportar el combustible desde el depósito y filtrarlo para garantizar que entre en el circuito de alta presión libre de impurezas y humedad” (Castillejo Calle, 2014, pág. 26).

La inyección del combustible en el interior de la cámara de combustión en los motores Diésel con sistema de inyección de bombas mecánicas, se debe realizar a elevadas presiones de 250 a 400 Kg/cm^2 [3555,84 a 5689,34 lb/in^2] por dos razones: primera, es necesario superar la elevada presión que tiene el aire aspirado al final de la carrera de compresión para conseguir introducir el combustible; segunda, para conseguir que el combustible salga del inyector finamente pulverizado y, de esta forma, disminuir el tiempo de retardo de la combustión. Por ello, la inyección del combustible se realiza por medio de una bomba de inyección de alta presión, la misma que puede ser de tipo lineal o rotativa, teniendo esta la misión de enviar a cada cilindro del motor la misma cantidad de combustible según las necesidades del motor, y a una elevada presión en el instante preciso en el que el aire comprimido en el cilindro llega a su máxima temperatura (Martí Parera, 1996, pág. 60).

1.18.1. ALIMENTACIÓN DEL COMBUSTIBLE

La función del sistema de suministro de combustible [también denominado sistema de alimentación] es de almacenar y filtrar el combustible requerido, y abastecer de éste al sistema de inyección a la presión de operación requerida. Además, se encarga del retorno del combustible sobrante al depósito de combustible y, en algunos casos, la refrigeración de éste antes de devolverlo al depósito (Castillejo Calle, 2014, pág. 26).

Los componentes esenciales del sistema de alimentación de combustible en motores Diésel, son los siguientes:

1.18.2. DEPÓSITO DE COMBUSTIBLE

“El depósito de combustible debe ser resistente a la corrosión, además de a prueba de fugas para presiones superiores al doble de la de operación y de al menos 0.3 bar de sobrepresión, y disponer de válvulas de seguridad para el escape de los gases en caso de que haya sobrepresión. El diseño debe tener en cuenta de que no se produzcan fugas cuando el vehículo, en su caso, se incline y en caso de sacudidas y de impactos. Por último, debe ir separado del motor, en un lugar en el que se prevenga la ignición del combustible en caso de accidente” (Castillejo Calle, 2014, pág. 27).

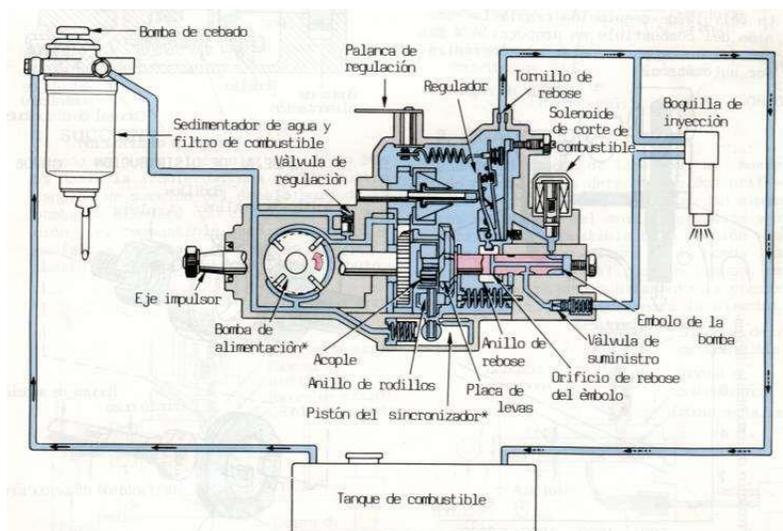


Figura 1.17 Esquema del circuito de alimentación de un motor Diésel con bomba de inyección rotativa

(Parreño Ibáñez, 2012, pág. 14)

1.18.3. LÍNEAS DE TRANSPORTE

Están compuestas por tubos de metal, flexibles e ignífugos. Así mismo tienen que estar preparados para no sufrir daños ante movimientos de torsión del bastidor, movimientos del motor o similares. Todos los elementos del sistema de transporte de combustible deben estar previstos para evitar daños en operación provocados por incrementos de temperatura (Castillejo Calle, 2014, pág. 27).

1.18.4. FILTRO DE COMBUSTIBLE

Los filtros de combustible tienen la misión de retener las impurezas existentes en el combustible. Los elementos filtrantes suelen ser de fieltro y de papel, con un tamaño de sus poros de 0,015 mm por término medio. Los filtros suelen llevar un dispositivo para señalar la presencia de agua, y para realizar la purga cuando esto corresponda (Parreño Ibáñez, 2012, pág. 15).

Según (Castillejo Calle, 2014, pág. 28), el sistema completo de filtrado se compone de:

- **Filtro preliminar:** Situado en el interior del depósito, filtra el combustible antes de su entrada en la bomba de alimentación previa. Está formado por una malla capaz de filtrar partículas de hasta 300 μm .
- **Filtro principal:** Las pequeñas partículas sólidas presentes en el combustible quedan atrapadas en el filtro, por eso tiene un elemento fácilmente extraíble que debe ser sustituido periódicamente.
- **Separador de humedad:** Este dispositivo, normalmente integrado en el filtro principal, evita que el agua, libre o emulsionada con el combustible, entre en el equipo de inyección. El agua reduce la lubricidad del combustible, causando desgaste o atascamiento de piezas con poca tolerancia.
- **Bomba manual:** La bomba manual ayuda a llenar y purgar el aire contenido en el sistema de inyección después de cambiar el filtro o de cualquier otra operación de mantenimiento. Suele ir integrado en la cubierta del filtro.

1.18.5. SISTEMAS DECANTADORES DE COMBUSTIBLE

“Los sistemas de alimentación Diésel llevan incorporado en la parte inferior de los filtros un sistema de decantación de agua que, debido a su mayor densidad, queda acumulada en la parte baja. Para realizar el purgado del agua, el sistema lleva incorporado un tornillo roscado en la parte más baja, que se ha de abrir cuando se quiera realizar la evacuación del agua” (Parreño Ibáñez, 2012, pág. 14).

1.19. FUNCIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE BOMBEO

“El émbolo o pistón realiza un movimiento de sube y baja en el interior del cilindro. El movimiento de descenso se produce debido a la acción del muelle cuando el saliente de la leva, en su giro, deja de actuar sobre el empujador. La subida del pistón se produce cuando la leva actúa sobre el empujador, venciendo el empuje del muelle. Cuando el pistón desciende crea una depresión en el interior del cilindro que permite la entrada de combustible cuando el pistón ha destapado las lumbreras de admisión. Debido a la presión del combustible en el conducto de alimentación, provocada por la bomba de alimentación, el cilindro se llena completamente. Al comienzo de esta subida, las lumbreras no están tapadas y por ello, parte del combustible es devuelto al conducto de alimentación” (Castillejo Calle, 2014, pág. 44).

“En el interior de la bomba, el combustible llega a la lumbrera de carga de la camisa del elemento de impulsión de la bomba de inyección procedente de la bomba de alimentación, con una presión de 3 a 7 Kg/cm^2 . Cuando el émbolo inicia su carrera de impulsión empujado por la leva del árbol de mando, cubre con su superficie lateral las dos lumbreras y empuja el combustible generando el caudal de inyección. Este caudal abre la válvula de aspiración - situada a la salida de la camisa, y cuando el caudal de inyección llega al inyector, abre la válvula de aguja del inyector. De esta manera se introduce el combustible dentro de la cámara de combustión” (Martí Parera, 1996, pág. 66).

1.20. CONSEJOS PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN

A continuación, se detallan unos consejos a tomar en cuenta para impedir que el funcionamiento de un vehículo sea perjudicado por el Diésel contaminado.

1. Mantener el tanque lleno durante la noche.
2. Hacer el drenaje diariamente, antes de la primera utilización del vehículo.
3. Algunos tanques de combustible poseen separador de agua, que debe ser limpiado una vez por mes.
4. Realizar la evaluación técnica dentro del periodo especificado.
5. Limpiar el tanque de combustible a cada año, cambiándolo a cada tres años.
6. Reemplazar el tanque este oxidado.
7. En los sistemas en que hay recipiente de sedimentación, este debe ser retirado periódicamente para limpieza y análisis del combustible.
8. Los filtros Diésel deben ser cambiados, por recomendación de Bosch, a cada 10.000 km.

Nota: En vehículos que transitan por rutas de tierra se deberá cambiar los filtros con mayor frecuencia. Observar siempre la indicación del fabricante del vehículo.

9. En el caso de cambiar de filtro, utilizar solamente productos de calidad, pues son los únicos con la capacidad de filtración exigida por el fabricante.

Nota: Los filtros deben ser cambiados, y no lavados y reutilizados.

10. Los combustibles con aditivos deben venir solamente de las refinerías. En caso de combustibles mezclados o combinados, estos deberán ser usados solamente según las normas de cada país.
11. La mezcla de biodiésel requiere los mismos cuidados con contaminación que el Diésel.
Nota: El aceite vegetal no es especificado como biodiésel para uso en vehículos en Latinoamérica y, por lo tanto, no es reconocido.
12. Completar el tanque solamente en estaciones de servicio registradas, que tengan filtros.
13. En el abastecimiento, sellar correctamente la boca del tanque y el encaje de marcador de nivel.

14. Durante el almacenamiento en los depósitos de Diésel, drenar el tanque diariamente para evitar acumulación de agua.
15. En tanques de almacenamiento, dejar una pequeña inclinación en la dirección contraria al abastecimiento para que el agua condensada sea drenada.
Nota: Eliminar el agua evita también la formación de microorganismos.
16. En tanques de almacenamiento, no utilizar aleaciones metálicas que contengan cobre, como latón y bronce, pues ellas aceleran la formación de impurezas.
17. El tanque de almacenamiento debe estar bien sellado para impedir la entrada de agua y partículas.
18. No almacenar el Diésel por mucho tiempo, pues eso favorece su envejecimiento. La oxidación natural puede formar sedimentos que obstruyen los filtros.
19. No exponer el Diésel almacenado a temperaturas muy altas, pues eso facilita su envejecimiento y sedimentación.
20. La limpieza del tanque de almacenamiento se lo debe realizar cada dos años, como máximo.

CAPÍTULO II

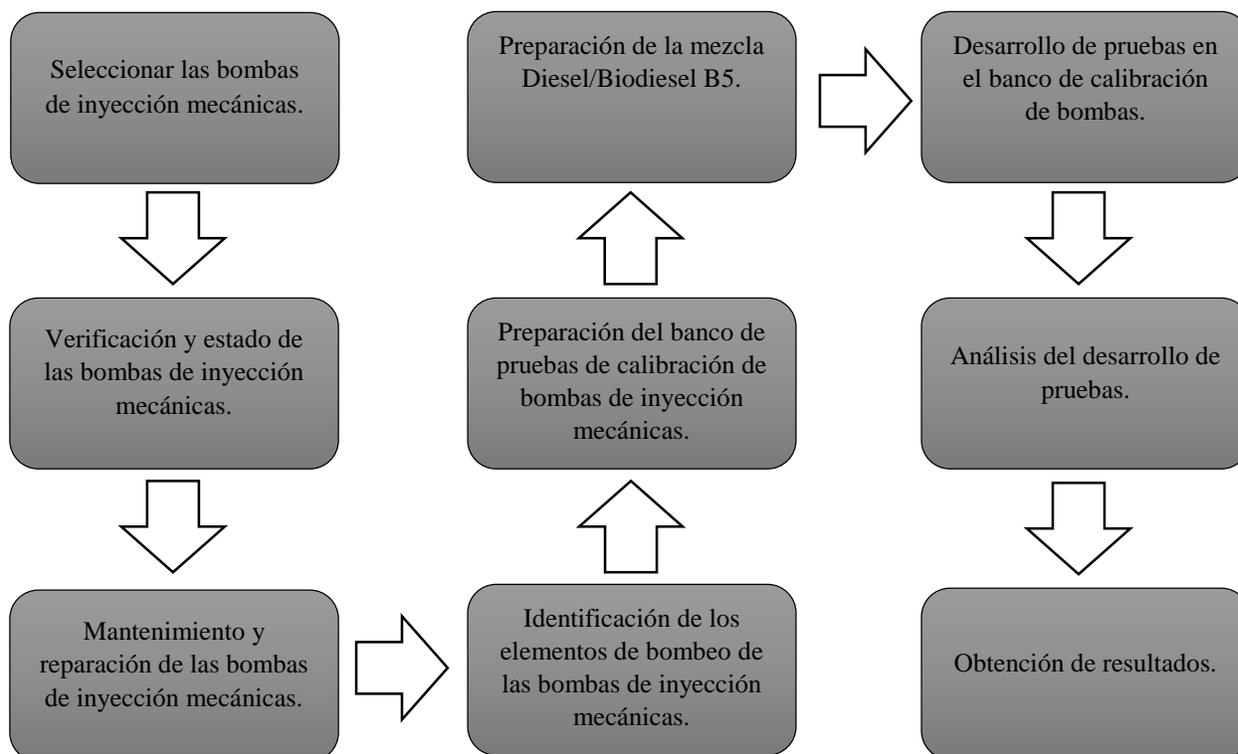
2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

El siguiente trabajo de titulación consta de un proceso de analizar el desgaste que se produce en los elementos de bombeo en bombas de inyección mecánicas mediante la utilización de un biocombustible, en este caso biodiésel.

Por consiguiente, para ilustrar el proceso de desarrollo de la propuesta, se lo realizó mediante la elaboración de un flujograma, en el cual se puede observar el orden estratégico en el que se realizará el proceso de investigación.

El proceso de selección de estas bombas, se lo realizó debido a que estas son bombas de inyección de motores diésel de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, las mismas que ya han tenido un período de tiempo de trabajo prolongado con el uso de biodiésel.



2.2. MATERIALES

Se detalla los principales materiales y equipos utilizados para el desarrollo de la presente investigación, los mismos que permitieron la obtención de los datos en esta investigación.

2.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN

Las bombas de inyección mecánicas utilizadas para esta investigación fueron las siguientes: dos bombas de inyección de elementos en línea y una bomba de inyección rotativa, de las cuales se obtiene las siguientes caracterizaciones.

2.3.1. BOMBA DE INYECCIÓN LINEAL

Para la realización de esta investigación se utilizó una bomba de inyección mecánica del tipo lineal, la misma que permitió conocer cada uno de sus mecanismos y la forma correcta de su funcionamiento, la misma que ayudo a conseguir todos los datos necesarios para esta investigación.

La bomba de inyección utilizada en esta investigación fue de la marca ISUZU, del tipo lineal PE para un motor de 6 cilindros, para lo cual se muestra sus especificaciones técnicas en la siguiente tabla.

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas de una bomba de inyección lineal

DENOMINACIÓN	VELOCIDAD DE BOMBA (RPM)	CARACTERÍSTICAS
Presión de suministro de la bomba	-	1,5 <i>Kgf/cm²</i>
Rotación de la bomba	-	Sentido horario (R)
Temperatura del combustible	-	40 – 45 °C
Cantidad de inyección (Ignición)	275	8,6 ± 1,3 <i>mm³/st</i>
Cantidad de inyección (Ralentí)	950	76,2 ± 1,5 <i>mm³/st</i>
Entrega a plena carga	1.600	84,7 ± 1,6 <i>mm³/st</i>

2.3.2. BOMBA DE INYECCIÓN LINEAL

Esta bomba es similar a la bomba lineal antes mencionada, la misma que también ayudo para obtener y comparar diferentes parámetros de acuerdo a su funcionamiento.

Esta bomba también es de la marca ISUZU, del tipo lineal PE para un motor de 6 cilindros, para lo cual se muestra sus especificaciones técnicas en la siguiente tabla.

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas de una bomba de inyección lineal

DENOMINACIÓN	VELOCIDAD DE BOMBA (RPM)	CARACTERÍSTICAS
Presión de suministro de la bomba	-	1,5 <i>Kgf/cm²</i>
Rotación de la bomba	-	Sentido horario (R)
Temperatura del combustible	-	40 – 45 °C
Cantidad de inyección (Ignición)	275	9,4 ± 1,3 <i>mm³/st</i>
Cantidad de inyección (Ralentí)	900	72,4 ± 1 <i>mm³/st</i>
Entrega a plena carga	1.500	79,3 ± 1,6 <i>mm³/st</i>

2.3.3. BOMBA DE INYECCIÓN ROTATIVA

El uso de una bomba de inyección mecánica rotativa fue indispensable para la realización de esta investigación, la misma que permitió conocer sus elementos internos de la bomba y la manera correcta de su funcionamiento, permitiendo obtener resultados satisfactorios.

La bomba de inyección utilizada en esta investigación fue de la marca Hyundai, modelo H100 y del tipo rotativo, de la cual se muestra sus especificaciones técnicas en la siguiente tabla.

Tabla 2.3 Especificaciones técnicas de la bomba de inyección rotativa

DENOMINACIÓN	VELOCIDAD DE BOMBA (RPM)	CARACTERÍSTICAS
Presión de suministro de la bomba	-	0,2 <i>Kgf/cm²</i>
Rotación de la bomba	-	Sentido horario
Temperatura del combustible	-	45 – 50 °C
Presión de transferencia de la bomba	1.100	4,7 ± 0,3 <i>Kgf/cm²</i>
Entrega a plena carga	1.100	53,2 ± 1,0 <i>cc/1000st</i>
Recorrido del dispositivo de sincronización	1.100	3,2 ± 0,2 mm
Regulación de velocidad ideal	425	11,0 ± 1,5 <i>cc/1000st</i>

2.3.4. BANCO DE PRUEBAS

La utilización del banco de pruebas es indispensable para realizar las pruebas y calibración necesaria que cada fabricante emite para cada bomba de inyección, lo que permite mantener a las bombas en un rango ideal de trabajo. Este banco de pruebas permite realizar el ajuste previo de combustible a plena carga, el ajuste de la presión interna de la bomba, el ajuste del combustible a plena carga, el ajuste de la palanca a régimen máximo, la verificación de la entrega de combustible y el ajuste de la palanca a bajo régimen.

El banco de pruebas es una herramienta ideal utilizada para la calibración y pruebas de bombas

de inyección, tanto lineales como rotativas con control mecánico o electrónico, las mismas que se ajustan a las condiciones de ejercicio de los reguladores de las bombas, variaciones avanzadas y bombas de alimentación. Este banco cuenta con probetas graduadas, las cuales permiten visualizar el caudal entregado por cada elemento de bombeo en los diferentes ensayos que se realizan.

Esta herramienta se encuentra equipada de un panel de control, cepling universal, soporte universal, bases para bombas, manómetros, acople cónico, brida de sujeción, probetas graduadas, juego de cañerías e inyectores de alta presión, cañerías de sistema de alimentación de combustible [entrada y salida], fluido para pruebas y una base que sostiene a todos estos elementos del banco de pruebas.

Los bancos universales han sido utilizados comúnmente por bombas de control mecánico, pero hoy en día se los acondicionan para bombas de inyección con control electrónico, agregando dispositivos electrónicos que permiten la simulación de las distintas señales de los sensores del motor, por lo que son indispensables para el control y funcionamiento del banco de pruebas.

Las especificaciones técnicas principales del banco de pruebas se detallan en la tabla 2.4:

Tabla 2.4 Especificaciones técnicas del banco de pruebas

Especificaciones Artículos	Modelos		
	5.5 KW 7.50 HP	7.5 KW 10 HP	11 KW 15 HP
Rango de velocidad de rotación del eje de accionamiento	0 – 3000 r/min		
Dirección giratoria del eje motor	Sentido horario y anti-horario		
Cantidad de cilindro comprobable	Máximo 12		
Número de conteos de tiempos de aceite	0 - 9999		
Volumen de cilindro volumétrico	Uno grande: 150 ml, uno pequeño: 45 ml		
Presión del suministro de aceite en el sistema de prueba de aceite.	Presión alta: 0 – 4 MPa Presión baja: 0 – 0.4 MPa		
Volumen máximo de suministro de aceite de prueba	≥ 6 L/min	≥ 10 L/min	
Distancia entre el eje del eje impulsor y la superficie de la mesa	125 mm		
Engranajes de velocidad rotativos seleccionados del eje de transmisión	9		
Repita la precisión del diseño de la velocidad rotativa	150 – 800 r/min ± 1 > 800 r/min ± 1.5		
Modelos de motor de accionamiento	Y132S - 4 5.5 KW	Y132M - 4 7.5 KW	Y160M - 4 11 KW
Dispositivo de visualización equipado	3 F-800 controlador		
Modelo de boquilla estándar	ZS12sjl		
Presión inicial de la boquilla estándar	17.5 ± 0.2 MPa		
Prueba de temperatura del aceite	40 ± 2 °C Control Automático		
Salida de potencia máxima	4.95 KW	6.75 KW	9.9 KW
Dimensión general (L × W × H)	1.75 × 1.35 × 1.5 (m)		
Peso neto	800 kg		

2.4. MÉTODOS

2.4.1. FUNDAMENTACIÓN TÉCNICA

El propósito de esta investigación fue analizar y comparar el desgaste producido en los elementos de bombeo de bombas de inyección mecánicas mediante el uso de combustible diésel fósil y de una mezcla de biodiésel B5, donde se verificará el comportamiento de las bombas de inyección mecánicas, tanto de elementos en línea como rotativas. El análisis de este estudio se lo realizó en el Laboratorio Diésel de la carrera de Ingeniería en mantenimiento Automotriz perteneciente a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte, en donde se obtendrá resultados acerca del desgaste producido por el combustible, tales como: corrosión, desgaste abrasivo, decoloración de los materiales, entre otros; para lo cual se empleó una serie de etapas en base a los objetivos.

2.5. IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS DE BOMBEO QUE TIENDEN A DESGASTARSE

La primera etapa consistió en la obtención de las bombas de inyección mecánicas, tanto de elementos en línea como rotativas para verificar su estado actual. Al presentar daños excesivos y un desgaste bastante avanzado, en la segunda etapa se pudo conocer todos los elementos internos de cada bomba, en la cual se pudo observar el desgaste que causa el combustible diésel a estas bombas de inyección, y esto a su vez permitió conocer los puntos más críticos en donde los elementos de bombeo pueden sufrir mayor desgaste. Como tercera y última etapa se logró obtener resultados de cada desgaste producido en los elementos de bombeo de dichas bombas, para lo cual se pudo realizar una comparación entre los desgastes producidos mediante la utilización de combustible Diésel fósil y biodiésel.

En la figura 2.1, se puede observar el tipo de bombas de inyección mecánicas utilizadas para esta investigación, con lo que es importante recalcar que son de diferentes tipos. Dos bombas

de inyección son de elementos en línea y una bomba de inyección rotativa, esto permitió conocer los puntos críticos de desgaste que existen en cada mecanismo de bombeo de cada bomba de inyección.



Figura 2.1 Bombas de inyección mecánicas lineales y rotativa

2.5.1. OBTENCIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS DE BOMBEO

2.5.1.1. Bombas de inyección de elementos en línea

En la presente investigación las bombas de inyección mecánicas constan de elementos de bombeo, los mismos que son los encargados de producir la alta presión del combustible para que este sea enviado hacia los inyectores, y este a su vez los pulverice en el interior de los cilindros, produciendo el trabajo necesario y por consiguiente la combustión de la mezcla aire-combustible.

Para realizar esta investigación se tomará en cuenta únicamente el cilindro y émbolo de bombeo, debido a que son los elementos en donde se concentra el mayor desgaste posible por el trabajo que realizan al momento de bombear el combustible Diésel hacia los inyectores. Es por esto que, estos elementos al mantenerse en constante frecuencia con el combustible, y al realizar un trabajo de sube y baja [PMS a PMI] por medio del émbolo, se produce un desgaste de fricción o decoloración en sus zonas de mayor rozamiento entre la camisa y émbolo de bombeo.

El elemento de bombeo consta de cilindro y émbolo, los cuales son de acero templado rectificado y a la vez están lapeados entre sí, con un acabado de alto grado de precisión [juego

de 0,002 a 0,003 mm, entre si, a fin de permitir el funcionamiento a elevadas velocidades y presiones, por esto, cada elemento de bombeo debe ser considerado como inseparable por formar familia, y siempre debe sustituirse en conjunto.

Los elementos de bombeo con los que cuentan las bombas de inyección mecánicas, son los mismos que están encargados de generar la alta presión hacia los inyectores, por lo que, se realizó las respectivas mediciones entre el cilindro y émbolo de bombeo, obteniendo resultados comparativos satisfactorios.

Para realizar estas mediciones se consiguió elementos de bombeo en perfectas condiciones de cada tipo de bombas de inyección, tanto de bombas de inyección de elementos en línea como de bombas de inyección rotativas, para lo cual se los obtuvo en el Laboratorio de Sistemas de Inyección Diésel [S.I.D].

Para la obtención de las dimensiones de los elementos de bombeo, se realizará la toma de medidas en cada parte los mismos, lo que permitirá conocer las medidas específicas con las que se encuentra diseñado cada elemento de bombeo. Esto permitirá realizar una comparativa entre elementos de bombeo totalmente nuevos y elementos usados que ya han realizado su correcto funcionamiento.

2.5.2. CILINDRO DE BOMBA DE INYECCIÓN

El cilindro es el encargado de servir como mecanismo de corredera al émbolo, el mismo que está conectado con la tubería de admisión por medio de lumbreras, y estas a su vez permiten el ingreso del combustible hacia su cámara de compresión, haciendo que el émbolo se cargue de combustible mediante su ranura realizada en la parte superior de su cabeza.

En la figura 2.2, se puede observar un cilindro de una bomba de inyección de elementos en línea, el mismo que permitió obtener las dimensiones que conforman en todo el elemento, y conocer las zonas en la cual se produce el mayor desgaste, cuando se mantiene el émbolo realizando su trabajo de bombeo del combustible.



Figura 2.2 Cilindro de bomba de inyección lineal

2.5.3. PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS MEDIDAS DE UN CILINDRO DE BOMBA

Para realizar la tarea de obtención de las mediciones de un cilindro de bomba, es necesario la utilización de instrumentos de medida ideales para esta obtener todos los datos necesarios, por lo que en este caso se lo realizo con la ayuda de un calibrador pie de rey.

En la figura 2.3, se puede observar el método utilizado para la obtención de las dimensiones, tanto externas como internas de un cilindro de bomba de inyección de elementos en línea, por lo que, todo esto se realizó con la ayuda de un calibrador pie de rey, y a su vez permitió conocer las áreas en donde existe la mayor probabilidad de desgaste.



Figura 2.3 Medición del cilindro de una bomba de inyección en línea

2.5.4. DIMENSIONES DE UN CILINDRO DE BOMBA DE INYECCIÓN

Para obtener las dimensiones de un cilindro de bomba, se procedió con la verificación del mismo y obtener los puntos estratégicos en donde se realizarán las mediciones, para lo cual mediante la ayuda de un calibrador pie de rey, se realizó a la toma de mediciones en las diferentes partes que conforman un cilindro de bomba.

En la Tabla 2.1, se pueden observar las dimensiones obtenidas en el cilindro de bomba, el mismo que, por medio de la ayuda de un calibrador pie de rey se logró obtener resultados satisfactorios, y conocer los datos establecidos por el fabricante.

Tabla 2.5 Dimensiones de un cilindro de una bomba de inyección lineal

Partes	Dimensiones [mm]	Dimensiones de elementos de bombeo usados [mm]
Cabeza de cilindro	22	
Cuerpo de cilindro	10	
Pie de cilindro	71	
Longitud de carrera	48	
Interior de cilindro	10	

2.5.5. ÉMBOLO

El émbolo es el encargado de generar el movimiento de sube y baja para producir la alta presión del combustible dentro del cilindro, y este a su vez ser enviado hacia las toberas de los inyectores, las mismas que harán que el combustible se inyecte dentro de los cilindros del motor.

En la figura 2.4, se puede observar un émbolo de una bomba de inyección de elementos en línea, el mismo que permitió conocer las zonas de mayor desgaste, debido a que este elemento es el encargado de realizar el trabajo de subir y bajar, por lo que mediante este movimiento produce la compresión del combustible, y por ende lo envía hacia los tubos roscados de salida, los mismos que van conectados a los inyectores por medio de cañerías de alta presión.



Figura 2.4 Émbolo de inyección de una bomba de elementos en línea

2.5.6. PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS MEDIDAS DE UN ÉMBOLO DE BOMBA

Para obtener las mediciones necesarias de un émbolo de bomba, fue imprescindible la utilización de un calibrador pie de rey, el mismo que es un instrumento de medida ideal para obtener todos los datos necesarios de cada parte de un émbolo.

En la figura 2.5, se puede observar el método utilizado para la obtención de las medidas de cada elemento de bombeo, todo este proceso se lo realizo mediante la ayuda de un calibrador Pie de rey, para lo cual fue indispensable conocer y verificar cada área a realizar la medición.



Figura 2.5 Medición de un émbolo de bombeo

2.5.7. DIMENSIONES DE UN ÉMBOLO DE BOMBA

La dimensión de un émbolo dependerá de las características de la bomba de inyección de elementos en línea, la fabricación, tamaño y requerimientos de cada motor, por lo que estos datos son preestablecidos por el fabricante de esta bomba de inyección. Por lo que, para este estudio se tomó todas las medidas posibles de un émbolo de una bomba de inyección de elementos en línea, las mismas que se encuentran detalladas en la siguiente tabla.

En la tabla 2.2, se puede observar que, para la toma de mediciones de un émbolo de elementos en línea, se realizó en diferentes zonas del mecanismo, lo que permitió conocer cada dimensión de la cual se encuentra diseñado un émbolo de bomba.

Tabla 2.6 Dimensiones de un émbolo de una bomba de inyección lineal

Partes	Dimensiones de elementos de bombeo nuevos [mm]	Dimensiones de elementos de bombeo usados [mm]
Émbolo	66	
Ancho Émbolo	10	
Dedo de mando	7	
Ranura vertical	6	
Profundidad cabeza de émbolo	4,1	
Cuerpo cilíndrico	41	
Ancho pie de émbolo 1	6,5	
Ancho pie de émbolo 2	4,1	
Pie de émbolo	7	

En los motores diésel, especialmente en las bombas de inyección mecánicas, se producen daños excesivos en sus elementos principalmente por la calidad del combustible. El combustible diésel es un derivado del petróleo, el mismo que cuenta con un índice importante de contenido de azufre, por lo que la existencia de este elemento químico, provoca una intensa corrosión en los metales del sistema de alimentación de combustible, todo esto también en presencia de la humedad del mismo.

2.6. BOMBA DE INYECCIÓN ROTATIVA

2.6.1. CILINDRO DE LA BOMBA DE INYECCIÓN

El cilindro de una bomba de inyección rotativa o más conocido como cabezal hidráulico, es donde en su interior el émbolo se desplaza, cargándose y comprimiendo el combustible para enviarlo a alta presión a los inyectores. Este cabezal hidráulico tiene en su interior una serie de orificios, de los cuales uno es para la entra de combustible, y los otros para la salida a presión del mismo, por lo que existirá tantos orificios de salida de combustible como cilindros tenga el motor.

En la figura 2.6, se puede observar el dispositivo encargado de generar la alta presión en las bombas de inyección rotativas, por lo que se puede observar el cabezal hidráulico, el mismo que es el encargado de distribuir el combustible hacia los inyectores, y un émbolo que comprime y genera la alta presión del combustible.



Figura 2.6 Cilindro o cabezal hidráulico con su respectivo émbolo

2.6.2. PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS MEDIDAS DE UN CILINDRO DE BOMBA

Para obtener datos satisfactorios de un cilindro o cabezal hidráulico de la bomba, se necesitó de la ayuda de un calibrador pie de rey, el mismo que permitió obtener las dimensiones internas en donde el émbolo realiza su trabajo y genera la alta presión del combustible.

En la figura 2.7, se puede observar la toma de las dimensiones internas de un cilindro o cabezal hidráulico de una bomba rotativa, para lo cual se lo efectuó con la ayuda de un calibrador pie de rey, y a su vez permitió conocer las áreas en donde existe la mayor probabilidad de desgaste en dicho mecanismo.



Figura 2.7 Medición del cilindro o cabezal hidráulico de una bomba rotativa

2.6.3. DIMENSIONES DE UN CILINDRO O CABEZAL HIDRÁULICO DE BOMBA

Con la ayuda de un calibrador pie de rey, se procedió a obtener las dimensiones de un cilindro o cabezal hidráulico de bomba, el mismo que se lo realizó en el interior donde el émbolo realiza

su carrera de trabajo, para lo cual se verifico sus puntos estratégicos en donde se realizara las medidas.

En la Tabla 2.3, se pueden observar las dimensiones obtenidas en el cilindro o cabezal hidráulico de la bomba rotativa, el mismo que, mediante la ayuda de un calibrador pie de rey se logró conseguir las dimensiones internas establecidas por el fabricante y así obtener resultados satisfactorios.

Tabla 2.7 Dimensiones de un cilindro o cabezal hidráulico de una bomba rotativa

Partes	Dimensiones [mm]	Dimensiones de elementos de bombeo usados [mm]
Cilindro	10	
Carrera	40	

2.6.4. ÉMBOLO

El conjunto de bombeo toma el movimiento del árbol de mando, el cual sirve para dar al elemento de bombeo un movimiento alternativo, durante el cual se comprime el combustible, y un movimiento giratorio en el cual se distribuye el combustible hacia los inyectores. El combustible en el conjunto de bombeo, es comprimido a una presión aproximada de 800 bar y se distribuye a cada inyector secuencialmente. En el caso de un motor de 4 cilindros, el émbolo realiza un cuarto de vuelta entre las posiciones del PMI y el PMS; y un sexto de vuelta si se trata de un motor de 6 cilindros.

En la figura 2.8, se puede observar un émbolo de bombeo, el mismo que es el encargado de producir y enviar la alta presión hacia los inyectores, para lo cual el émbolo está unido a un disco denominado plato excéntrico que produce un movimiento de tipo vaivén generando la alta presión de combustible, y un movimiento rotativo que distribuye el combustible a cada salida de los inyectores en el orden de combustión de los cilindros.



Figura 2.8 Émbolo de bombeo de una bomba de inyección rotativa

2.6.5. PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS MEDIDAS DE UN ÉMBOLO DE BOMBA

Mediante la ayuda del instrumento de medida, en este caso de un calibrador pie de rey, se pudo realizar de manera satisfactoria la toma de mediciones de todo el conjunto de émbolo, el cual permitió conocer las zonas de mayor contacto y desgaste, adquiriendo conocimiento de toda su estructura física y funcionamiento del mismo.

En la figura 2.9, se puede observar el método utilizado para obtener las diferentes medidas que un émbolo de bomba de inyección rotativa tiene preestablecido por su fabricante, por lo que, para realizar las diferentes tomas de las medidas del mismo, se lo realizo mediante la ayuda de un calibrador pie de rey.



Figura 2.9 Obtención de medidas de un émbolo de bomba rotativa

2.6.6. DIMENSIONES DE UN ÉMBOLO DE BOMBA DE INYECCIÓN

La dimensión de un émbolo dependerá de las características de bomba de inyección rotativa, debido a que un émbolo realiza un movimiento rotativo y de vaivén, comprimiendo y distribuyendo el combustible por medio del mecanizado del cabezal hidráulico, para que este se envíe hacia los inyectores. Para lo cual, se tomó todas las medidas necesarias del émbolo de bomba, las mismas que se detallan en la siguiente tabla.

En la tabla 2.4 se pueden visualizar los datos obtenidos de la toma de mediciones de un émbolo de bomba de inyección rotativa, las mismas que se obtuvieron de diferentes zonas del mecanismo, lo que permitió conocer cada detalle del cual se encuentra diseñado un émbolo de bomba rotativa.

Tabla 2.8 Dimensiones de un émbolo de una bomba de inyección rotativa

Partes	Dimensiones [mm]	Dimensiones de elementos de bombeo usados [mm]
Émbolo	74,9	
Ancho Émbolo	10	
Ranura vertical 1	8,1	
Ranura vertical 2	9,1	
Profundidad cabeza de émbolo	7,1	
Cuerpo cilíndrico	12	
Ranura vertical 3	10	
Ancho pie de émbolo	14,1	
Pie de émbolo	21	

Además del combustible, el agua también es un factor de alto efecto contaminante en los metales de las bombas de inyección mecánicas, debido a que, al presentar un exceso de agua o humedad

en el sistema de alimentación provoca corrosión en los metales. Es por esto que, para reducir el deterioro por corrosión provocada por los combustibles fósiles, se logra mediante el uso de aleaciones, recubrimientos anticorrosivos, y a su vez, agregando aditivos a los aceites lubricantes para que ayuden de manera sustancial a neutralizar la acción agresiva del azufre en los metales.

2.7. CARACTERÍSTICAS DE CABEZALES Y ÉMBOLOS BOSCH Y ZEXEL

La característica del cabezal hidráulico y del émbolo del cual se obtuvo las dimensiones de cada uno de estos, se lo realizo de un cabezal de bomba de inyección rotativa de marca Bosch utilizado en vehículos Mitsubishi/Hyundai, la misma que es de tipo mecánico, apta para motores de hasta 4 cilindros y con un sentido de giro del tipo horario.

Básicamente un conjunto de bombeo está constituido por un cilindro y un pistón, los mismos que están fabricados con extrema precisión de alrededor de 0,2 micrones, sellando completamente sin necesidad de empaquetaduras adicionales. La tolerancia finísima de diámetro como ya se menciona es de 0,2 μm [0,002 mm], que aproximadamente se asemeja al diámetro de un cabello de humano.

En la tabla 2.5, se puede observar las ventajas y beneficios que brinda un elemento de bombeo de alta calidad hacia las bombas de inyección rotativas, permitiendo obtener el desempeño preciso y una presión de inyección ideal para generar un mayor rendimiento de la bomba, y por ende del motor.

Tabla 2.9 Características de elementos de bombeo

Características	Ventajas	Beneficios
Medidas precisas entre cilindro y pistón,	Mayor presión de inyección.	Mayor rendimiento del motor.
Control de mecanización por computadoras.	Seguridad de funcionamiento perfecto.	Mayor vida útil.
Utilizado en primer equipo.	Aprobado por las ensambladoras.	Garantía de alta calidad.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DETERMINACIÓN DEL DESGASTE GENERADO EN LOS ELEMENTOS DE BOMBEO

3.1.1. BOMBAS DE INYECCIÓN DE ELEMENTOS EN LÍNEA

El análisis del desgaste de los elementos internos de las bombas de inyección, permite realizar el análisis de los resultados, los mismos que se obtuvieron luego de una comparación entre elementos de bombeo nuevos y elementos funcionales de las bombas de inyección mecánicas.

3.1.2. CILINDRO

El desgaste producido por los principales contaminantes del combustible, permiten que, en zonas de mayor contacto, estos metales produzcan ralladuras en sus elementos, más aún cuando las zonas de mayor contacto son entre el cilindro y el émbolo de bomba.

En la figura 3.1, se puede observar un cilindro desgastado producto del funcionamiento en una bomba de inyección de elementos en línea, por lo que, este cilindro permitió obtener las medidas necesarias para la comparación entre un elemento nuevo y otro completamente usado luego de haber cumplido su ciclo de funcionamiento.



Figura 3.1 Cilindro desgastado de bomba de inyección en línea

3.1.3. DESGASTE PRODUCIDO EN EL CILINDRO DE BOMBA

Para realizar las debidas medidas necesarias para este estudio, se procedió a extraer un cilindro de bomba, permitiendo verificar su estado, el tipo de desgaste producido y las zonas de mayor contacto que este tiene al realizar su trabajo en conjunto con el émbolo.

En la figura 3.2, se puede observar las diferentes formas por la cual se obtuvo las dimensiones del cilindro, y mediante la ayuda de un calibrador pie de rey, en donde en el interior del cilindro presenta una altura de 48 mm, y se pudo conseguir las tolerancias de desgaste que existe en el interior del cilindro, debido a que en su interior es la zona en donde se produce de forma excesiva el desgaste, siendo esta zona el lugar en donde se produce el movimiento alternativo del émbolo, consiguiendo así la compresión y distribución del combustible a alta presión hacia sus inyectores.



Figura 3.2 Obtención de las dimensiones de un cilindro de bomba

3.1.4. DIMENSIÓN DEL DESGASTE EN EL CILINDRO DE BOMBA

Durante la inspección realizada al cilindro de bomba de inyección de elementos en línea, se pudo constatar que el mayor desgaste producido se lo encuentra en su interior, debido a que es en donde trabaja en conjunto con el émbolo, y a su vez se tomó en cuenta las mediciones en las dimensiones físicas del interior del mismo. Por tal motivo, se pudo observar la pérdida significativa del material, la disminución de sus dimensiones y, por consiguiente, la pérdida en de sus tolerancias.

En la tabla 3.1, se puede observar la comparación existente entre las dimensiones de un cilindro nuevo y un cilindro usado, en la cual se verificó que el nivel de desgaste es sumamente menor, haciendo que el desgaste del material se encuentre entre el límite máximo permisible.

Tabla 3.1 Dimensiones del desgaste en el cilindro de bomba lineal

Partes	Dimensiones de elementos de bombeo nuevos [mm]	Dimensiones de elementos de bombeo usados [mm]
Cuerpo de cilindro	10	9,729

Durante la obtención de datos, se pudo verificar que el cilindro presentaba ralladuras en su interior, esto debido a la fricción producida entre el elemento de bombeo [cilindro-émbolo], debido a que, al ser fabricados con gran precisión, permiten sellarse completamente sin la necesidad de adicionar ningún tipo de empaques. Es por esto, que el valor de desgaste es muy significativo, el cual describe un desgaste de 9,729 mm, lo que equivale a 2,70 % de desgaste producido en su interior, por lo que, la tolerancia máxima permisible de desgaste no debe superar los 0,2 micrones debido a la precisión existente entre cilindro y émbolo.

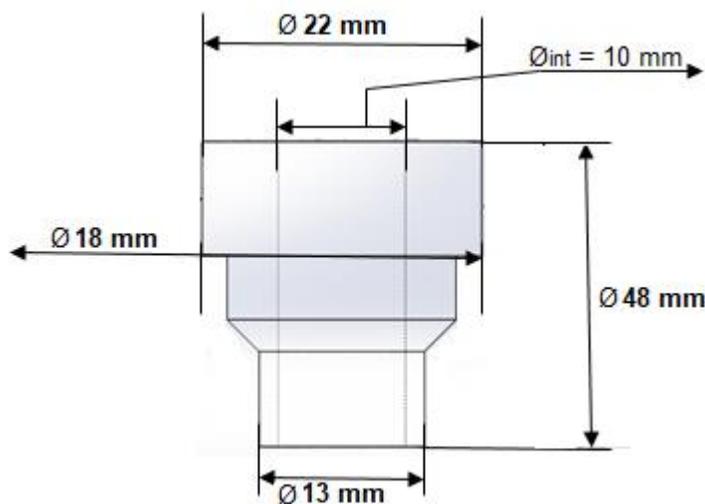


Figura 3.3 Dimensiones obtenidas de un cilindro usado de bomba lineal

3.1.5. ÉMBOLO

El émbolo es el elemento en donde se produce una cantidad excesiva de desgaste, debido a que, al momento de realizar su trabajo, este realiza un movimiento alternativo ascendente y descendente que es en el cual se aspira y se comprime el combustible, y otro movimiento giratorio en el cual se permite el ingreso del combustible hacia el elemento de bombeo, el mismo que es controlado por la varilla de regulación del caudal.

En la figura 3.3, se puede observar un émbolo desgastado de una bomba de inyección de elementos en línea, el mismo que fue extraído de la misma, y el cual permitió realizar las debidas comparaciones entre un elemento nuevo y un usado.



Figura 3.4 Émbolo desgastado de bomba de inyección en línea

3.1.6. DESGASTE PRODUCIDO EN EL ÉMBOLO DE BOMBA

El nivel de desgaste que presenta un elemento de bombeo en las bombas de inyección de elementos en línea es muy considerable, debido a las tolerancias que estos presentan luego de haber realizado su trabajo específico. Por tal motivo, el mayor desgaste que existe entre un cilindro-émbolo se encuentra en las paredes del cilindro y el cuerpo del émbolo, debido a que es la zona de mayor contacto entre estos elementos.

En la figura 3.4, se puede observar el tratamiento establecido para la obtención de las dimensiones del émbolo de bomba, para lo cual, se desmontó el émbolo de la bomba y se procedió a realizar las mediciones correspondientes en dicho elemento. La toma de las dimensiones se las realizó mediante la ayuda de un micrómetro, el cual permitió obtener resultados del desgaste en milésimas de milímetro.



Figura 3.5 Medición del émbolo desgastado de una bomba de inyección en línea

3.1.7. DIMENSIONES DEL DESGASTE EN EL ÉMBOLO DE BOMBA

Al conseguir las dimensiones correspondientes del émbolo, se procedió a realizar una comparación entre las dimensiones de un émbolo de fábrica y el émbolo extraído de la bomba de inyección lineal, para lo cual se verificó su estado y el desgaste producido en el émbolo de bomba.

En la tabla 3.2, se puede verificar la cantidad de desgaste producido en un émbolo de bombeo, con el fin de realizar un análisis y una comparación de este elemento, al momento que este haya cumplido su tiempo de trabajo.

Tabla 3.2 Dimensiones de un émbolo desgastado de una bomba de inyección lineal

Partes	Dimensiones de elementos de bombeo nuevos [mm]	Dimensiones de elementos de bombeo usados [mm]
Ancho Émbolo	10	9,479

Como se puede apreciar, el efecto elevado de contenido de azufre en el combustible y la corrosión por el ingreso de partículas de agua, son los principales contaminantes para que el émbolo obtenga un grado mayor de desgaste, consiguiendo un valor de desgaste en su cuerpo de 9,479 mm con respecto a los 10 mm que un émbolo de fábrica posee, todo esto debido a que es la zona de mayor contacto con el cilindro. Este desgaste excesivo hace que el émbolo ya no se encuentre apto para realizar su trabajo de funcionamiento en la bomba, ya que esto produciría que no se consiga sus niveles ideales de ajuste y tolerancia en todo el conjunto de bombeo.

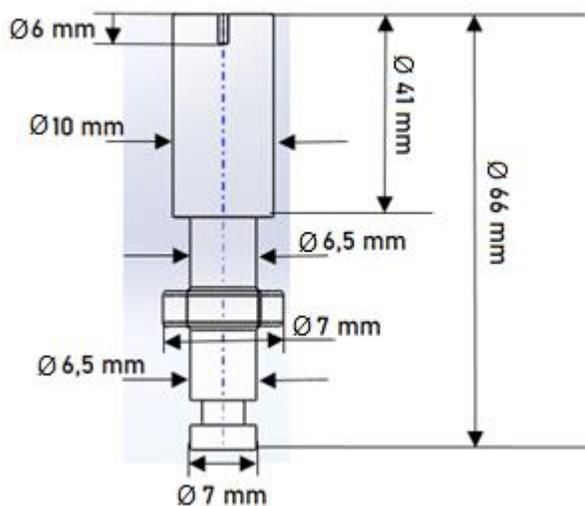


Figura 3.6 Dimensiones obtenidas de un émbolo de bomba lineal

3.2. BOMBAS DE INYECCIÓN ROTATIVA

A diferencia de las bombas de inyección de elementos en línea, las bombas de inyección rotativas solo cuentan con un elemento de bombeo [émbolo], el mismo que será el principal elemento a verificar su desgaste, al igual que el cilindro o cabezal hidráulico.

3.2.1. CILINDRO O CABEZAL HIDRÁULICO

El desgaste suscitado de este elemento, se debe a la alta presión generada del combustible en su interior, todo esto producto de la compresión del mismo con la ayuda de un émbolo, produciendo un trabajo y enviando el combustible hacia los inyectores.

En la figura 3.5, se puede observar el elemento de bombeo, en este caso un cilindro o cabezal hidráulico conectado a su respectivo émbolo. Este conjunto cilindro-émbolo es el encargado de generar la alta presión del combustible y distribuir hacia los inyectores, para que por consiguiente se pulverice en los cilindros del motor. Es por esto que, al momento de su desmontaje, es ideal realizar una inspección general del conjunto para observar si existe desgaste, descoloramiento de sus materiales o algún otro tipo de desgaste que este mecanismo pueda presentar.



Figura 3.7 Cabezal hidráulico de una bomba de inyección rotativa

3.2.2. DEGASTE PRODUCIDO EN EL CILINDRO O CABEZAL HIDRÁULICO DE BOMBA

El desgaste que producen las micro partículas existentes en el sistema de alimentación de combustible, son las causantes principales del excesivo desgaste que se presenta en el cabezal hidráulico. Estas micro partículas, son impurezas que se generan debido al mal estado del combustible o al mal estado de los elementos filtrantes del mismo, causando obstrucción y contaminación a los elementos internos de la bomba de inyección rotativa.

En la figura 3.6, se puede apreciar un conjunto de bombeo completamente desgastado, el mismo que está compuesto por el cabezal hidráulico y su correspondiente émbolo. Además, se puede observar que el exterior del cabezal se encuentra completamente deteriorado, debido a la corrosión que producen las partículas de agua en su material.

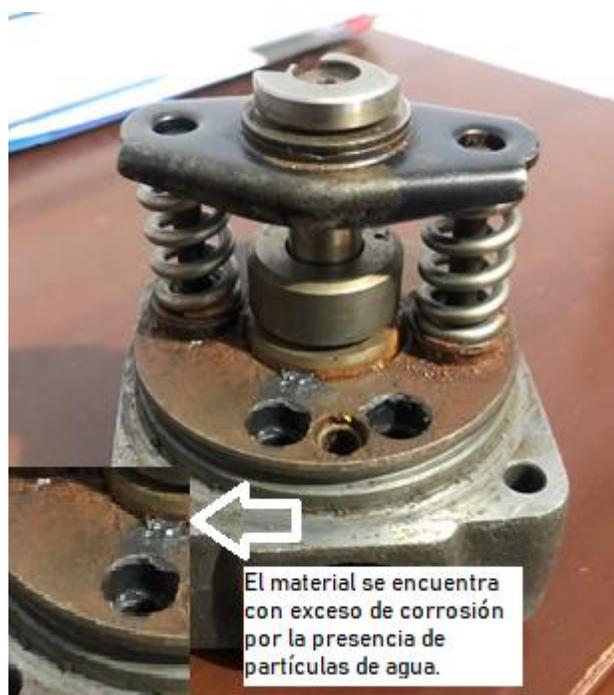


Figura 3.8 Cabezal hidráulico desgastado

3.2.3. DIMENSIÓN DEL DESGASTE DEL CILINDRO O CABEZAL HIDRÁULICO DE BOMBA

Al obtener los datos correspondientes se pudo analizar la cantidad de desgaste que produce el émbolo en su interior, debido a la fricción que estos producen, y al ser analizados se pudo encontrar que en su interior presentaba un alto índice de desgaste, y que además existía un descoloramiento de su material, tanto del cilindro como del émbolo.

En la tabla 3.3, se puede observar una comparativa entre las dimensiones obtenidas entre un cabezal hidráulico nuevo y otro con presencia de desgaste, el mismo que, debido al trabajo realizado en el interior de una bomba de inyección rotativa se produce un desgaste por las propiedades fisicoquímicas del combustible.

Tabla 3.3 Dimensiones de un cabezal hidráulico desgastado

Partes	Dimensiones de elementos de bombeo nuevos [mm]	Dimensiones de elementos de bombeo usados [mm]
Interior Cilindro	10	9,676

El nivel de desgaste producido en este cabezal hidráulico es de 9,676 mm con respecto a los 10 mm que un cilindro de fábrica posee, por lo que se puede observar que el valor de desgaste en su interior es totalmente significativo y difícil de comprobar con la vista humana, para eso, es necesario de herramienta especializada para la obtención de mediciones internas de un cilindro.

3.2.4. ÉMBOLO

La influencia del azufre en el combustible, producen un efecto directo en los elementos móviles de bombeo, esto debido a que estas piezas se encuentran en contacto directo, consiguiendo que las tolerancias varíen debido a la alta fricción que estos tienen.

En la figura 3.7, se puede observar un émbolo extraído de una bomba de inyección rotativa luego de haber cumplido su ciclo de trabajo, para lo cual, permitirá obtener todas las dimensiones necesarias y compararlas con los datos obtenidos de un émbolo completamente nuevo de fábrica.



Figura 3.9 Émbolo desgastado de una bomba de inyección rotativa

3.2.5. DESGASTE PRODUCIDO EN UN ÉMBOLO DE BOMBA

El émbolo de bombeo es uno de los principales elementos que sufren un mayor desgaste debido a la calidad del combustible Diésel, ya que estos pueden sobrepasar el límite máximo permisible, debido a la fricción que este mantiene con la camisa de la bomba inyectora.

En la figura 3.8, se puede observar la magnitud del desgaste que se ha producido en un émbolo de bombeo, por lo que se obtuvo las medidas mediante la utilización de un micrómetro y se verificó que el desgaste existente es menor que el desgaste limite permisible, obteniendo datos del desgaste de aproximadamente unas milésimas de milímetro con respecto a un émbolo nuevo.



Figura 3.10 Dimensiones de un émbolo completamente usado

3.2.6. DIMENSIÓN DEL DESGASTE PRODUCIDO EN EL ÉMBOLO DE BOMBA

Considerando que el análisis se realizó con una mezcla de combustible Diésel fósil y que el mayor causante de desgaste de los mismo es el mismo combustible, se obtuvo diferentes valores entre la medición de elementos de bombeo de bombas de inyección lineales y rotativas, para lo cual se obtuvo los siguientes datos comparativos mostrados en la siguiente tabla.

En la Tabla 3.4, se puede observar la cantidad de desgaste que se produce en un émbolo de bomba de inyección rotativa, para lo cual se obtuvo un valor de 9,979 mm, todo esto con el fin de analizar y comparar sus dimensiones entre un émbolo completamente nuevo de fábrica y un émbolo extraído de una bomba de inyección que ya ha cumplido su ciclo de trabajo.

Tabla 3.4 Dimensiones comparativas entre un émbolo nuevo y un émbolo desgastado

Partes	Dimensiones de elementos de bombeo nuevos [mm]	Dimensiones de elementos de bombeo usados [mm]
Ancho Émbolo	10	9,979

Todo este desgaste producido en los elementos móviles de bombeo, en este caso, con la presencia de un valor de desgaste en su cuerpo de 9,979 mm con respecto a los 10 mm que un émbolo de fábrica posee, son efectos de los contaminantes que se presentan en el sistema de alimentación. Los principales contaminantes son: el agua, las micropartículas y el combustible.

El agua causa la contaminación en la condensación que se produce debido a la variación de la temperatura, y puede ocurrir en el almacenamiento y en la utilización de combustibles de calidad no reconocida que presenten las partículas de agua.

Las micropartículas causan contaminación en el sistema de alimentación cuando ingresan al sistema a través de tapas mal selladas o respiraderos que permanecen siempre abiertos, o por filtros deteriorados o caducados, que ya no impiden más la entrada de micropartículas abrasivas.

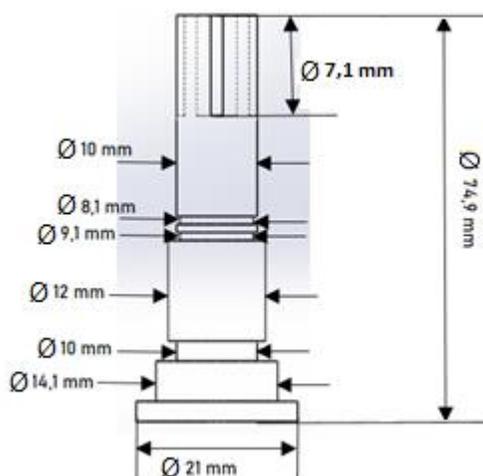


Figura 3.11 Dimensiones obtenidas de un émbolo de bomba rotativa

3.2.7. DIMENSIONES GENERALES ENTRE ELEMENTOS DE BOMBEO NUEVOS Y USADOS EN BOMBAS DE INYECCIÓN LINEALES Y ROTATIVAS

Los parámetros obtenidos de los elementos de bombeo, se logró gracias a la ayuda de un calibrador pie de rey y un micrómetro, los mismos que permitieron obtener los valores precisos de medida de estos elementos, para posterior realizar una comparación entre elementos de

bombeo totalmente nuevos y elementos que ya han presentado desgaste debido a su funcionamiento.

En la tabla 3.5, se puede observar una comparativa de los valores obtenidos al medir los elementos de bombeo de sistemas de inyección de bombas lineales y rotativas, esta comparativa se la puede interpretar desde los valores de medida estándar y las medidas obtenidas luego de que los elementos de bombeo han cumplido su vida útil de trabajo. De acuerdo a estos valores obtenidos y según su tolerancia máxima permisible, se podrá comprobar si los elementos desgastados pueden volver a ser montado en las bombas de inyección o procederse a su completa sustitución.

Tabla 3.5 Parámetros obtenidos entre elementos de bombeo nuevos y usados

BOMBA LINEAL				
Elementos de Bombeo	Medida Original [Nuevo] [mm]	Tolerancia [mm]	Medida de Usado [mm]	Porcentaje de desgaste [%]
Cilindro	10	$\pm 0,005$	9,729	2,7
Émbolo	10	$\pm 0,005$	9,479	5,2
BOMBA ROTATIVA				
Cabezal Hidráulico	10	$\pm 0,005$	9,676	3,25
Émbolo	10	$\pm 0,005$	9,979	0,2

3.3. DETERMINACIÓN DEL BIODIÉSEL

El biodiésel es un combustible creado a partir de un producto de biomasa, es decir, al obtenerlos ya sea de plantas o sus derivados, los cuales pueden ser: plantas, aceites o grasas animales, aceites reciclados, etc; que son materias primas, las cuales pasan por un proceso de transesterificación, con el objeto de que estos sean aptos para utilizarse como combustibles en motores Diésel, constituyéndolo como un biocombustible renovable.

En la tabla 3.5, se puede observar una comparativa de las propiedades químicas que presenta un Diésel fósil y un biodiésel, para lo cual es importante establecer estas propiedades mediante una normativa, en este caso se las comparo por medio de la normativa ASTM las mismas que están establecidas para obtener una calidad uniforme de los combustibles.

Tabla 3.6 Comparación de las propiedades del Diésel y el Biodiésel

PROPIEDADES	DIÉSEL	BIODIÉSEL	BIODIÉSEL UTN
Norma	ASTMD975	ASTMD6751	
Composición	HC (C10-C21)	FAME (C12-C22)	
Viscosidad cinemática (mm^2/s) a 40 °C	1,3 – 4,1	1,6 – 6,0	4,21
Densidad (Kg/L) (60 °F)	0,85	0,88	34,0
Punto de ignición (°C)	60 - 80	100 - 170	72,1
Punto de ebullición (°C)	188 - 343	182 - 338	
Punto de fluidez (°K)	238 -258	258 - 289	
Agua (ppm peso)	161	0,05 % máx.	0,05
Carbón (% peso))	87	77	
Hidrógeno (% peso)	13	12	
Oxígeno (% peso)	0	11	
Azufre (% peso)	0,05 % máx.	0 – 0,0024	0,0148
Índice de cetanos	40 - 55	48 - 60	51
Relación de aire combustible	15	13,8	

Fuente: (Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad, pág. 239)

3.3.1. DESGASTE EN ELEMENTOS DE BOMBEO

Al utilizar un biocombustible se puede constatar un cambio en el funcionamiento del motor, como la disminución del ruido y un aumento significativo en su potencia, además de presentar una leve disminución de presencia de humo por el tubo de escape, debido a que, el biodiésel

prácticamente no tiene compuesto aromáticos ni azufre, haciendo que reduzcan sustancialmente las emisiones contaminantes del ambiente.

A diferencia del Diésel fósil, un biodiésel muestra grandes diferencias con respecto al Diésel convencional, por lo que prácticamente la comparación de desgaste en los elementos internos de las bombas de inyección mecánicas, van a ser completamente distintos. Por lo que, al verificar las propiedades entre un combustible Diésel y un biodiésel, se puede encontrar grandes diferencias, tanto en su composición, como sus propiedades físico-químicas.

Por sus excelentes propiedades biodegradables, una ventaja que tiene el biodiésel ante el Diésel convencional, es que presenta mejor lubricidad debido a la alta densidad que presenta, lo que ayuda a proteger los elementos móviles de las bombas, reduciendo su desgaste y evitando gastos excesivos de mantenimiento, favoreciendo el buen funcionamiento, tanto de la bomba de inyección, como del motor.

Al tener un porcentaje de agua menor, es decir del 0,05 %, prácticamente el nivel de desgaste y de oxidación disminuirá a diferencia de cuando se usa el Diésel fósil, debido a que este al contener mayor presencia de partículas de agua, sus elementos móviles presentan un mayor índice de desgaste y oxidación, lo que conlleva a la formación del fenómeno conocido como la cavitación, la misma que genera picaduras, ralladuras y excesivo desgaste en sus elementos, impidiendo que estos a su vez, no permita funcionar con normalidad y eficiencia a sus elementos. El exceso de agua puede ocasionar problemas de corrosión y propiciar el crecimiento de microorganismos

El biodiésel contiene un mayor porcentaje de oxígeno, lo que permite tener una adecuada combustión a una menor relación de la mezcla aire-combustible, y al tener un punto de ignición bastante alto, aproximadamente a los 100 – 170 °C, reduce el peligro de incendios durante su manejo y almacenamiento, además contiene un mayor número de cetanos, lo que hace que tenga una mejor facilidad de ignición y calidad del combustible, al mismo tiempo que genera menor ruido del motor y una aceleración más amortiguada.

“La altitud tiene efectos importantes: el desempeño y funcionamiento del motor, propiedades aire, presencia de oxígeno, presión atmosférica, temperatura, y por ende, un efecto en la formación de gases de escape, esto hace que se modifique la opacidad de estos, por lo que no es

necesario subir la altitud para poder percibir un incremento de la opacidad con respecto al porcentaje de oxígeno presente” (Godoy Jurado, 2018, pág. 77).

3.3.2. COMPARACIÓN ENTRE LA NORMATIVA DEL BIODIÉSEL COMÚN VS EL BIODIÉSEL FABRICADO EN LA UTN

Biodiésel es un combustible alternativo que puede ser usado en motores a diésel con pocas o ninguna modificación, también es una mezcla de diferentes alquílicos producidos de aceites vegetales, a través de un proceso llamado transesterificación (Echeverría Echeverría, 2018, pág. 58).

En la Tabla 3.5, se puede observar que un biodiésel común, que depende de la materia prima utilizada, tiene diferentes parámetros con respecto al biodiésel fabricado en la UTN [Universidad Técnica del Norte] a base de la planta de higuera.

La comparación principal que se puede observar, es que el índice de cetanos en el biodiésel fabricado en la UTN tiene un elevado valor con respecto al Diésel fósil y al biodiésel fabricado con diferentes materias primas.

En este caso, el valor obtenido del biodiésel que se ha fabricado en la UTN es de 51 cetanos, con respecto al Diésel fósil [40-55] y al biodiésel fabricado con diferentes materias primas [48-60]. Esto quiere decir, que mientras mayor sea el índice de cetanos, menor será el retraso de la ignición, y por consiguiente se conseguirá mejorar la calidad de ignición en el interior de los cilindros. Es por esto que, el biodiésel presenta mejor lubricidad al momento de circular por todo el sistema de alimentación, permitiendo una mayor y mejor vida útil de sus elementos móviles.

Además, su nivel de azufre es del 0,0148, por lo que hace que su combustión reduzca las emisiones contaminantes, aumentando el rendimiento del motor y evitando el humo y ruidos excesivos, que son los problemas más comunes que presentan los vehículos a Diésel. Y también, al poseer un índice de 0,05 % de partículas de agua, genera una menor corrosión en sus elementos móviles, evitando su excesivo desgaste y permitiendo que su vida útil se prolongue un tiempo más de lo preestablecido.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Al utilizar una mezcla de biodiésel B5, se logró verificar que el desgaste suscitado en el interior de los cilindros de una bomba de inyección lineal es de 9,729 mm, y se evidencia un desgaste del 2,70% con relación a un cilindro nuevo que tiene 10 mm de diámetro.
- Los émbolos de una bomba de inyección de elementos en línea presentan un desgaste de 9,479 mm; un indicador de excesivo deterioro que equivale al 5,20%, comparado con un émbolo de fábrica; por esta razón posee un nivel de desgaste que supera el límite permitido, esto impide seguir con su utilización en la bomba de inyección, debido a que la tolerancia máxima entre cilindro y émbolo no debe superar los $\pm 0,005$ mm [juego axial entre los elementos de bombeo].
- En las bombas de inyección rotativas, al cilindro se lo conoce como cabezal hidráulico, al comprobar sus dimensiones y verificar que la causa del desgaste es la falta de un buen mantenimiento en sus filtros, se evidencia también un desgaste interior de 9,676 mm equivalente a un porcentaje del 3,25%, esto es consecuencia de la fricción constante con el émbolo de bombeo.
- Un émbolo de bomba rotativa, al ser el único mecanismo de distribución hacia el cabezal hidráulico y a los cilindros del motor, presentó un desgaste de 9,979 mm, equivalente a un 0,20% con respecto a 10 mm que presenta un émbolo nuevo, esto causa un desgaste menor y una tolerancia aceptable para el funcionamiento continuo.

- Todo lo expuesto permite concluir que, al utilizar una mezcla biodiésel B5 se pudo observar que el desgaste en los elementos de bombeo se reduce en un 10% con respecto al uso del diesel convencional, debido a que el biodiésel mezclado en distintas proporciones tiene propiedades de lubricación gracias a su alto contenido de viscosidad y su bajo porcentaje de agua en el mismo, esto brinda una mayor eficiencia en la combustión y, por consiguiente, permite reducir las emisiones contaminantes del medio ambiente.

4.2. RECOMENDACIONES

- Verificar el desgaste que se produce en los elementos de bombeo, para así tener una mejor perspectiva del tipo de mantenimiento que debería realizarse para evitar daños correctivos, con el fin de prolongar la vida útil de las bombas de inyección mecánicas.
- Al momento de realizar la reparación de una bomba de inyección lineal, es imprescindible que se reemplacen todos los elementos para garantizar un adecuado funcionamiento del sistema de bombeo.
- Al momento de realizar el mantenimiento de una bomba de inyección rotativa, se debe reemplazar todos sus mecanismos [cabezal hidráulico-émbolo], para mejorar el funcionamiento de la bomba.
- Verificar constantemente el nivel de desgaste que pueda presentar el émbolo de bombeo, ya que, al ser un único elemento encargado de comprimir y distribuir el combustible a alta presión, puede llegar a presentar un desgaste muy fuerte que complicaría el funcionamiento general.
- Con el fin de alcanzar una correcta calibración de las bombas de inyección mecánicas, es necesario realizar un montaje seguro en el banco de pruebas, verificar que la bomba se encuentre completamente sujeta y posteriormente realizar la calibración tomando en cuenta las especificaciones e instrucciones técnicas del fabricante.

TRABAJOS FUTUROS

- Análisis de aceites y aditivos lubricantes apropiados para la ejecución adecuada del mantenimiento de bombas de inyección mecánicas.
- Plan de mantenimiento de los sistemas de filtrado de combustible diésel para la prevención de impurezas en el circuito de alimentación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilera Peña, J. (2014). *Sostenibilidad de los biocombustibles para autoconsumo en un entorno rural*. Madrid. Obtenido de http://oa.upm.es/32796/1/PFC_Ignacio_Aguilera_Pena.pdf
2. Benjumea Hernández, P. N., Agudelo Santamaría, J. R., & Ríos, L. A. (2009). *Biodiésel: Producción, calidad y caracterización*. Colombia: Universidad de Antioquia. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=yiaApKhNqRYC&printsec=frontcover&dq=biodiesel&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjgxnKFysPgAhUINd8KHe-fAVkQ6AEIKDAA#v=onepage&q=biodiesel&f=false>
3. Bosh, R. (1999). *Bombas rotativas de inyección de émbolos radiales, para motores diesel*. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=FBjN-FIM2cwC&printsec=frontcover&dq=motores+diesel&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj6o_GXz8DgAhVJjlkKHVBeAv8Q6AEINjAD#v=onepage&q=motores%20diesel&f=false
4. Bosh, R. (2005). *Manual de la técnica del automóvil 4ta Edición*. Alemania: Robert Bosh GMBH. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=lvDitKK1SAC&pg=PA868&dq=el+motor+diesel+en+automocion&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiq4o-EqMPgAhUOk1kKHS AEB5Y4ChDoAQhQMAc#v=onepage&q=el%20motor%20diesel%20en%20automocion&f=false>
5. Bosh, R. (2005). *Sistema de inyección Diesel por acumulador Common Rail*. España. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=3Jl1hs3QiMC&printsec=frontcover&dq=el+motor+diesel+en+automocion&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjlp6byp8PgAhXO1lkKHQOzC4MQ6AEIODAD#v=onepage&q=el%20motor%20diesel%20en%20automocion&f=false>

6. Buitrago, A. (12 de 08 de 2008). *albeirobuitrago.blogspot.com/*. Obtenido de *albeirobuitrago.blogspot.com/*:
http://albeirobuitrago.blogspot.com/2008/08/inyectores_12.html
7. Castillejo Calle, A. (2014). *Sistemas de Inyección en Motores Diesel*. Sevilla: Universidad de Sevilla. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90174/fichero/TFG.+Alejandro+Castillejo+Call e.pdf>
8. Castro, V. M. (1987). *El motor diesel en el automovil*. Barcelona: CEAC. Obtenido de <http://roa.ult.edu.cu/bitstream/123456789/87/1/Castro%20Vicente%20Manuel%20-%20Mecanica%20El%20Motor%20Diesel%20En%20El%20Automovil.pdf>
9. Crouse, W. (1993). *Mecánica del Automóvil 3ra Edición*. Barcelona: BOIXAREU EDITORES. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=xF7MukIeqFoC&pg=PA285&dq=a+que+temp eratura+trabaja+un+motor+diesel+y+un+motor+a+gasolina&hl=es&sa=X&ved=0ahU KEwjitL6i-9_1AhVHjlkKHQu-B0MQ6AEINzAC#v=onepage&q&f=false
10. Cummins Engine Company, I. (2015). *Manual de Operación y Mantenimiento Motores Signature e ISX*.
11. Dani meganeboy. (29 de 12 de 2014). *aficionadosalamecanica.net*. Obtenido de *aficionadosalamecanica.net*: <http://www.aficionadosalamecanica.net/curso-bomba-linea.htm>
12. Echeverría Echeverría, J. C. (2018). *Análisis de las propiedades fisicoquímicas del biodiésel a base de aceite de higuera B10*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8042>
13. Espín Ramos, P. R. (2016). *Estudio de factibilidad para la implementación de biodiésel en las estaciones de servicio de la ciudad de Ibarra*. Ibarra, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5543>

14. Falconí, F. (2013). Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. *Obtenido de Senplades*. Obtenido de <http://www.buenvivir.gob.ec/versiones-plan-nacional>
15. Felneris, M., & Raslavicius, L. (2016). Biodiesel de Algas en Lituania: de la promesa a la realidad. *Ingeniería de Procedia*, 109-113. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.046>
16. Ganduglia, F., León, J. G., Gasparini, R., Rodríguez, M. E., Huarte, G. J., Estrada, J., & Filgueiras, E. (2009). *Manual de Biocombustibles*. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=a2HH8c2IDUYC&pg=PA13&dq=propiedades+del+biodiesel&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj0IPWRjcvgAhVjiOAKHZmBCXsQ6AEILzAB#v=onepage&q&f=false>
17. García del Río, A. J. (2015). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo diesel*. España: ELEARNING S.L. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=o31XDwAAQBAJ&pg=PA208&dq=como+evoluciono+del+motor+diesel&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwivjPrf2crgAhXjzVkKHadbCRsQ6AEIKDAA#v=onepage&q=como%20evoluciono%20del%20motor%20diesel&f=false>
18. Gil, H. (2002). *Sistema de inyección diesel*. Barcelona: Ceac. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=0DWzFppOdiQC&printsec=frontcover&dq=inyectores+diesel&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiA3JnS_NnnAhWGo1kKHYfCDfk4ChDoAQgnMAA#v=onepage&q=inyectores%20diesel&f=false
19. Godoy Jurado, C. R. (Abril de 2018). *Análisis de emisiones de gases de escape en un motor con inyección UPS usando biodiesel B5 a base de aceite de higerilla*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8199>
20. Kates, E. J., & Luck, W. E. (2003). *Motores Diesel y de gas de alta compresión*. Barcelona: Reverté S.A. Obtenido de <https://books.google.co.ve/books?id=UjtKifjkrYC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

21. Lombana Coy, J., Vega Jurado, J., Britton Acevedo, E., & Herrera Velásquez, S. (2015). *Análisis del Sector Biodiésel en Colombia y su Cadena de Suministro*. Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=8bQ2CwAAQBAJ&pg=PA50&dq=propiedades+del+biodiesel&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj0lPWRjcvgAhVjiOAKHZmBCXsQ6AEIMzAC#v=onepage&q=propiedades%20del%20biodiesel&f=false>
22. Mafla Yépez, C. N., & Martínez Núñez, F. J. (2011). *Calibración, preparación y montaje de dos tipos de bombas de inyección, lineal y rotativa en el laboratorio a diesel existente en los talleres de la Universidad Técnica del Norte*. Ibarra. Obtenido de Aficionados a la mecánica: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1884/1/FECYT%201069%20CALIBRACI%c3%93N%2c%20PREPARACI%c3%93N%20Y%20MONTAJE%20DE%20DOS%20TIPOS%20DE%20%20BOMBAS%20D.pdf>
23. Manosalvas Andrade, J. R., & Nacimba Toapanta, C. O. (2013). *Estudio de los ajustes y tolerancias mecánicas de precisión en los procesos industriales*. Quito: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/3179>
24. Martí Parera, A. (1996). *Inyección electrónica en motores Diesel*. Barcelona: MARCOMBO, S.A. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=gn8cyPMWDSUC&pg=PA60&lpg=PA60&dq=El+combustible+entra+en+la+bomba+por+la+v%20C3%A1lvula+equilibradora+de+presi%20C3%B3n,+procedente+de+la+bomba+de+alimentaci%20C3%B3n.+La+v%20C3%A1lvula+equilibradora+de+presi%20C3%B3n+est%20C3%A1>
25. Odyssey. (09 de 03 de 2010). <http://odyssey-diagnosticossistemasdiesel.blogspot.com/>. Obtenido de <http://odyssey-diagnosticossistemasdiesel.blogspot.com/>: <http://odyssey-diagnosticossistemasdiesel.blogspot.com/2010/03/diagnostico-al-sistema-de-inyeccion.html>
26. Pancho Bredtmann, N. A. (2015). *Fundamento Teórico y Aplicación de la Bomba del Sistema Diesel*. Quito: Universidad Internacional SEK. Obtenido de <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/1570>

27. Parreño Ibáñez, S. (2012). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo diésel (MF0133_2)*. Málaga: IC Editorial. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/reader.action?docID=3211564&query=alimentacion%2Bdel%2Bcombustible%2Ben%2Bmotores%2Bdiesel>
28. Rincón Martínez, J., & Silva Lora, E. (2014). *Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad*. Bogotá: Charlie's Impresores Ltda. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=YpnxCAAAQBAJ&pg=PA241&dq=uso+del+biodiesel+para+disminuir+las+emisiones&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjvzNOBjZTfAhWsxFkKHf0FA2oQ6AEIJzAA#v=onepage&q=uso%20del%20biodiesel%20para%20disminuir%20las%20emisiones&f=false>
29. Salvador Rubio, F. J. (2007). *Influencia de la cavitación sobre el desarrollo del chorro diesel*. Barcelona: Reverté. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=liJD8dC3KfQC&printsec=frontcover&dq=Influencia+de+la+cavitaci%C3%B3n+sobre+el+desarrollo+del+chorro+diesel.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjTtZqeuJziAhVFjK0KHR5GBQsQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Influencia%20de%20la%20cavitaci%C3%B3n%20>
30. Tamilselvan, P., Nallusamy, N., & Rajkumar, S. (2017). Una revisión exhaustiva sobre el rendimiento, la combustión y las características de emisión de los motores diesel alimentados con biodiesel. *Revisiones de energía renovable y sostenible*, 1134-1159.
31. Urresta Revelo, D., & Gunza Colcha, C. (2018). *Estudio experimental de los parámetros de funcionamiento de un motor diésel con B10*. Imbabura, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8757/1/04%20MAUT%20075%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
32. Vera Sotillo, A. (2013). *Estudio del chorro Diesel producido por un inyector de actuación directa en condiciones no reactivas*. Barcelona: Universidad de Cataluña. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2099.1/22512>
33. Williams, T. I. (1990). *Historia de la Tecnología: Desde 1900 hasta 1950*. Madrid: España Editores S.A. Obtenido de

https://books.google.com.ec/books?id=Uex46HkyPacC&pg=PA244&dq=historia+motores+diesel&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjMksji88jgAhUs11kKHc_6DkQQ6AEIKDAA#v=onepage&q=historia%20motores%20diesel&f=false

ANEXOS

ANEXO I

OBTENCIÓN DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN MECÁNICAS

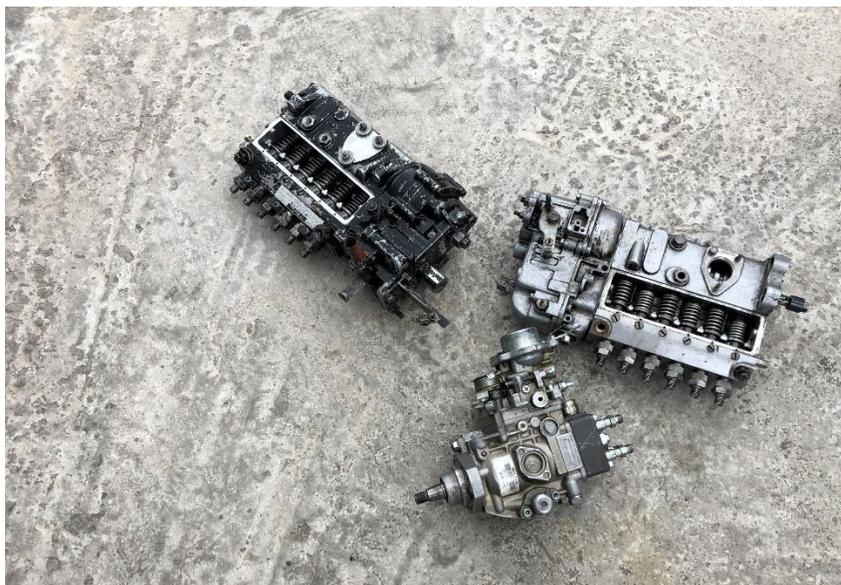


Figura A.I. 1 Obtención de las Bombas de inyección mecánicas [lineales y rotativa]

ANEXO II

PROCESO DE REPARACIÓN DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN MECÁNICAS

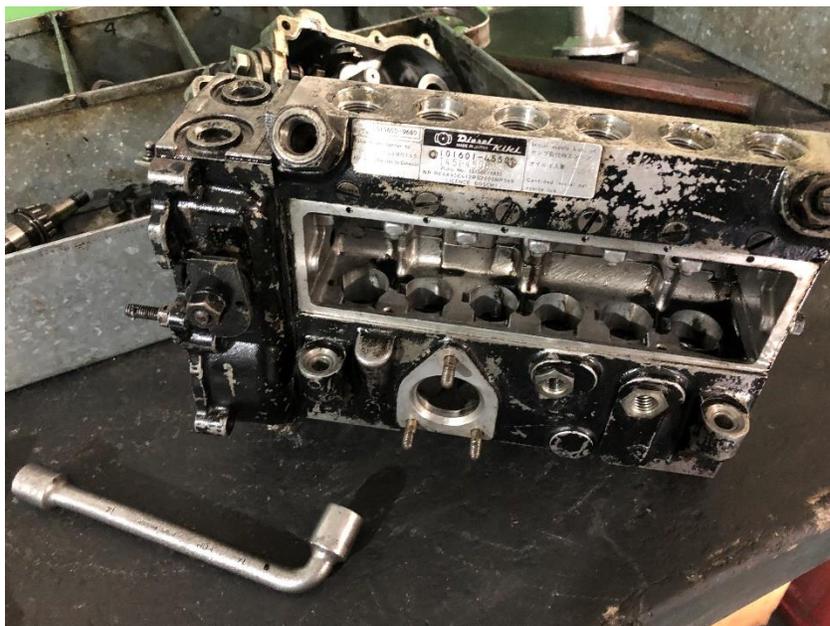


Figura A.II. 1 Reparación de una bomba de inyección lineal



Figura A.II. 2 Elementos internos de una bomba de inyección lineal



Figura A.II. 3 Montaje de una bomba de inyección rotativa



Figura A.II. 4 Ajuste de la bomba de inyección rotativa

ANEXO III

MONTAJE Y CALIBRACIÓN DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN MECÁNICAS EN EL BANCO DE PRUEBAS



Figura A.III. 1 Montaje y calibración de una bomba de inyección rotativa

조정 데이터		Ass'y No. : 104745-7540	
INJ. PUMP CALIBRATION DATA		ENG. Type : T-2 A11 M/T	
Drawing No. : 97-02-28-02		A kind of car : H 100	
General Ass'y No. : VP-VE4/10200002		Company : HUNDAI MOTORS	
Date : 1997. 02. 28			
Pump rotation : Clockwise / rev. from drive side			
1. Test Conditions			
1-1 Nozzle : 105780-9000(OP-ON2SD127)		1-4 Injection pipe : 2mm x 6mm x 60mm	
1-2 Nozzle holder : 105780-2060		1-5 Fuel oil temperature : 45 ± 5°C	
1-3 Nozzle opening pressure : 15015 Kgf/cm ²		1-6 Supply pump pressure : 0.2 Kgf/cm ²	
2. Setting			
	Pump speed (r/min)	Settings	Charge air pressure (mmHg)
2-1 Timing device travel (PASC) A	1,100	3.2 ± 0.2 mm	
2-2 Supply pump pressure (PASC) A	1,100	4.7 ± 0.3 Kgf/cm ²	
2-3 Full load delivery (FULL) PASC A	1,100	53.2 ± 1.0 cc/1000st	
2-4 Idle speed regulation (PASC) A	425	11.0 ± 1.5 cc/1000st	
2-5 Start (PASC) S	100	55.0-70.0 cc/1000st	
2-6 Full load speed regulation	2,475	14.0 ± 3.0 cc/1000st	
2-7 Load-timer Adjustment	1,100	35.0 ± 1.0 cc/1000st	
		T = 2.6 ± 0.2 mm	
3. Test Specifications			
		Charge air pressure (mmHg)	
3-1 Timing device	N = r/min	600 750 1,100 1,750 2,000	
	mm	1.0 ± 0.4 1.8 ± 0.4 3.2 ± 0.2 6.1 ± 0.4 7.1 ± 0.4	
3-2 Supply pump	N = r/min	600 1,100 2,000	
	Kgf/cm ²	3.0 ± 0.3 4.7 ± 0.3 7.1 ± 0.3	
3-3 Overflow delivery	N = r/min	1,100	cc/1000st 400 ± 130 BCS Pressure
3-4 Fuel injection quantities			
Speed control lever position	Pump speed (r/min)	Fuel delivery (cc/1000st)	Charge air pressure (mmHg)
Full - load speed	500	(47.0 ± 1.5)	K 3.3 ± 0.3
	900	48.5 ± 1.5	HF 5.0 ± 0.3
	1,100	53.2 ± 1.0	MS 1.4 ± 0.1
	1,750	(46.0 ± 1.5)	BCS
	2,000	(44.0 ± 1.5)	
			Control lever # 25
Switch OFF Magnet valve	100	N/V OFF Q = 0	A
Idling stop	600	Below 5.0	B (35)
			B
3-5 Solenoid valve	Max. cut-in voltage	8 V	
	Test voltage	12 - 14 V	

Figura A.III. 2 Tabla de calibración de una bomba de inyección