



*Ministerio de Educación Superior  
Instituto Superior Minero – Metalúrgico de Moa  
“ Dr. Antonio Núñez Jiménez ”  
Facultad Metalurgia – Electromecánica  
Especialidad Mecánica*

# TRABAJO DE DIPLOMA

*TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO*

*Título: Caracterización del desgaste en el sistema biela – manivela del  
automóvil Hyundai*

*Autor: Eulicer Tomacen Castillo.*

*Curso: 2009 – 2010*

*“Año del 52 de La Revolución”*



*Ministerio de Educación Superior  
Instituto Superior Minero – Metalúrgico de Moa  
“ Dr. Antonio Núñez Jiménez ”  
Facultad Metalurgia – Electromecánica  
Especialidad Mecánica*

# TRABAJO DE DIPLOMA

*TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO*

*Título: Caracterización del desgaste en el sistema biela – manivela del  
automóvil Hyundai*

*Autor: Eulicer Tomacen Castillo.*

*Tutor(es): MSc. Tomás Fernández Columbié*

*MSc. Isnel Rodríguez González.*

*Curso: 2009 – 2010*

*“Año del 52 de La Revolución”*



## **Agradecimientos**

***A todos mis profesores por los conocimientos transmitidos durante el desempeño de mi carrera.***

***A mis tutores por confiar en mí en la realización de este trabajo los, MSc Tomás Fernández Columbie e Isnel Rodríguez González.***

***A mis familiares que me apoyaron en los momentos de mi vida en que más lo necesitaba.***

***A mis amigos que siempre creyeron en mi.***

***A los que de una forma u otra me apoyaron y ayudaron en la realización de este trabajo.***

***A la revolucion, por darme la oportunidad de convertirme en profesional .***

***A todos***

***Muchas Gracias.***



## **Dedicatoria**

**Quiero dedicar este trabajo a mis familiares.**

**A mi madre: Bertha Castillo revé**

**A mis hijos: Yamiseis y Noel.**

**A mis hermanos: Ángel, Elvis, María, Doralis.**

**A mí querida y estimada esposa.**

**Tania Lamberts Blanco.**

**A mi amigo: Alayo**

**A nuestra revolución, por las posibilidades  
que me ofrece.**



## **Resumen**

En el trabajo se realiza el análisis de los componentes del motor del automóvil Hyundai, perteneciente a la empresa TRASVAL, dentro de los elementos del motor que se analiza están los relacionados con la transmisión (pistón, aro de aceite y de fuego, camisa). El análisis de los mismos está fundamentado por el desgaste que han sufrido, para ello se analizaron, muestras de cada uno de los elementos, considerando la magnitud de las muestras, que son pequeñas, para realizar el análisis metalográfico se encapsularon, empleando resina Epoxi ROYAPOX – 5050. En el análisis económico se analizan dos variantes, la reparación o compra de un motor nuevo, proponiendo la más económica. Se analiza la incidencia del proceso de transporte en el medio ambiente.

## **Abstract**

In the work he is carried out the analysis of the components of the engine of the automobile Hyundai, belonging to the company TRASVAL, inside the elements of the engine that it is analyzed is those related with the transmission (piston, hoop of oil and of fire, shirt). The analysis of the same ones is based by the waste that you/they have suffered, for they were analyzed it, you show of each one of the elements, whereas clause the magnitude of the samples that you/they are small, to carry out the analysis metallographic was encapsulated, using resin Epoxi ROYAPOX - 5050. In the economic analysis two variants, the repair or purchase of a new engine are analyzed, proposing the most economic. The incidence of the process of transport is analyzed in the environment.



## TABLA DE CONTENIDOS

<b>SINTESIS</b>	<b>Pág</b>
<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS</b>	
1.1 Introducción.	4
1.2. Generalidades acerca de los Motores de Combustión Interna.	4
1.2.1. Tipos de motores de combustión interna.	7
1.3. Arquitectura mecánica del automóvil.	9
1.3.1. Sistema de transmisión.	10
1.3.2. Tipos de transmisión.	11
1.4. Elementos del sistema de transmisión.	12
1.5. Vehículos para trabajos especiales.	12
1.6. Mecanismos de los automóviles.	13
1.7. Rendimiento termodinámico de un motor.	15
1.7.1. Comportamiento durante el ciclo.	16
1.7.2. Ciclo de un motor diesel.	17
1.7.3. Puesta a punto de motores diesel.	17
1.8. Comparación entre el motor Diesel y el de gasolina.	18
1.8.1. Economía de consumo.	18
1.9. El automóvil en la vida moderna.	19
1.10. Conclusiones del capítulo I.	20
<b>CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
2.1 Introducción.	21
2.2 Diagnóstico del motor Hyunday.	21
2.2.1 Deficiencias del motor.	22
2.3 Herramientas utilizadas en el despiece y ensamble del motor.	22
2.4. Caracterización química de los materiales.	23
2.4.1. Técnicas de caracterización, microscopio metalográfico.	24



2.4.2 Preparación metalográfica de la probeta.	24
2.4.3 Montaje de muestras.	26
2.4.5 Propiedades de la resina Epoxi ROYAPOX – 5050..	27
2.4.6 Campo de aplicación.	27
2.4.7 Preparación y colada.	28
2.5 Análisis dinámico.	28
2.5.1 Momento del motor.	29
2.5.2 Potencia en el embrague.	29
2.5.3 Momento del embrague.	29
2.5.4 Potencia en la barra de transmisión.	29
2.5.5 Momento en la barra de transmisión.	30
2.5.6 Potencia de salida del diferencial.	30
2.5.7 Momento que desarrolla el diferencial..	30
2.5.8 Potencia desarrollada por la rueda motriz.	30
2.5.9 Momento que desarrolla la rueda motriz.	31
2.6 Conclusiones del capítulo II.	31
<b>CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	
3.1. Introducción.	32
3.2 Análisis de los elementos desgastados.	32
3.3 Análisis de la composición química del pistón.	34
3.3.1 Análisis de la composición química de la camisa.	34
3.4 Análisis del encapsulado de probetas.	35
3.4.1 Análisis de las microestructuras de los aros del motor.	36
3.4.2 Análisis de la microestructura de la camisa.	37
3.4.3 Análisis de la microestructura del pistón.	39
3.5 Momento del motor..	40
3.5.1 Potencia en el embrague.	41
3.5.2 Análisis del Momento del embrague.	42
3.5.3 Potencia en la barra de transmisión.	42
3.5.4. Momento en la barra de transmisión.	42
3.5.5 Potencia en la salida del diferencial.	43



3.5.6. Momento que desarrolla el diferencial.	43
3.5.7 Análisis del rendimiento de la transmisión.	43
3.6 Valoración Económica.	44
3.6.1 Gastos de materiales, energía y salario para la reparación.	45
3.7 Valoración del impacto medio ambiental.	45
3.7.1 Fuentes móviles. Contaminación y control en la flota vehicular en Cuba.	48
3.7.2 Bases para la elaboración del sistema de regulación de las emisiones.	49
3.7.3 Determinación de las emisiones máximas admisibles según las características de transporte automotor.	50
3.8 Conclusiones del capítulo III.	52

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**ANEXOS**



## **INTRODUCCIÓN**

Un motor de combustión interna tiene como objetivo transformar la energía térmica (producida por detonaciones controladas en una cámara de combustión) en energía dinámica (a través del desplazamiento del pistón, que hace girar un cigüeñal a través de una Biela). El rendimiento de este tipo de motores se llama rendimiento termodinámico y se mide en caballos de fuerza (Horse Power en inglés o HP) el rendimiento termodinámico de un motor depende de muchos factores, principalmente en la relación de compresión, es decir el recorrido del pistón desde el punto muerto inferior hasta el punto muerto superior, que comprime determinada cantidad de volumen de mezcla de oxígeno y carburante, medido en centímetros cúbicos, o pulgadas cúbicas.

El segundo factor de importancia es la capacidad volumétrica, teóricamente a mayor cilindrada mayor debería ser la capacidad de generar potencia.

El tercer factor de relevancia es la cantidad de mezcla aire - combustible, que debe ser la adecuada, para lo cual se regula mediante carburadores o inyectores. A mayor caudal de carburante, mayor generación de calor y por ende mayor potencia emergente. Por eso la aparición de los sistemas de inducción de aire a presión en las modernas motos deportivas (RAM AIR).

El cuarto factor es la capacidad de giro del cigüeñal, medidos en revoluciones por minuto (rev/min) a igualdad de cilindrada, obtiene mayor potencia el motor que gira a más revoluciones.

La potencia se mide mediante bancos dinamométricos, y tiene dos parámetros, potencia de salida al cigüeñal, y potencia a la rueda, existe una diferencia importante entre ambas mediciones porque a la rueda, que es la definitiva, tiene pérdidas por arrastre del sistema de transmisión, caja de velocidad, cadena o cardan.

Para el estudio de los fallas de los Motores de Combustión Interna, se debe analizar las transformaciones de energía sus límites termodinámicos del presente y futuro campo de aplicación, los procesos de sobre alimentación y combustión los sistemas formadores de mezclas y los dispositivos encendido.



La **Situación Problemática** de la investigación la constituye: La empresa TRASVAL cuenta con un parque automotor de 16 vehículos los cuales se encuentran en la última tecnología del avance tecnológico, durante los ciclos de reparación y mantenimiento se ha detectado que el rendimiento termodinámico de algunos de estos equipos presenta problemas. Dentro de los vehículos antes mencionados, el que más se ha afectado es el automóvil del tipo HYUNDAI con marca de motor KMJVVH 7BT 4V 618972, el defecto que más ha incidido en estos fallos es el desgaste, el cual por el efecto negativo que ocasiona sobre el sistema tribológico lo retira de servicio afectando entre otras causas al medio ambiente por la emisión de gases tóxicos y derrame de grasa.

El **Problema** a investigar lo constituye: No existencia de la caracterización del desgaste de los componentes pertenecientes al motor del automóvil HYUNDAI.

Como **Objeto de la investigación** se establece: Motor de combustión interna del HYUNDAI.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis**: Si se les realiza el análisis microestructural de los componentes desgastados al motor (pistón, aro y camisa) de combustión interna del automóvil HYUNDAI, se podrá determinar las causas que provocan el fallo en el mismo.

A partir de la hipótesis planteada, se define como **Objetivo del trabajo**: Realizar análisis microestructural del mecanismo de compresión del automóvil HYUNDAI que provoca fallos en el sistema.

Y se definen los siguientes **Objetivos Específicos**.

1. Realizar el diagnóstico de los elementos desgastados que componen el sistema de compresión en el motor de combustión interna del automóvil HYUNDAI.
2. Caracterizar el funcionamiento de los elementos sustituidos y proponer el mantenimiento de los mismos.
3. Realizar análisis microestructural de los elementos desgastados.



Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto, se plantean las siguientes **tareas de trabajo:**

1. Establecimiento del estado del arte y sistematización de los conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
2. Observación de la ejecución experimental del proceso para evaluar el comportamiento del desgaste en el sistema biela de compresión del motor.
3. Análisis de los resultados, así como la incidencia en el medio ambiente del efecto negativo del desgaste de los componentes del motor.

## CAPITULO I. MARCO TEÓRICO. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

### 1.1 Introducción

En el año de 1892 la Oficina de Patentes de Berlín estampaba el número 67, 207 sobre una memoria para patente que había presentado el ingeniero alemán Rodolfo Diesel en donde, a lo largo del escrito, se decía textualmente después de su debida traducción: «...el émbolo comprime aire puro en un cilindro, de modo que la temperatura resultante de la compresión es mucho mayor que la temperatura de inflamación del combustible que se ha de emplear. Después de la compresión y a partir del punto muerto, se efectúa la introducción gradual del combustible. ...»

Tal como decía el texto de la patente, mientras en el motor de explosión, en el tiempo de admisión y al abrirse la válvula del mismo nombre, penetra en el interior del cilindro una mezcla de aire y gasolina debidamente mezclados, formando una niebla, en el motor Diesel, y en las mismas circunstancias el cilindro se llena exclusivamente de aire aspirado directamente de la atmósfera a través de un filtro. Posteriormente, en el tiempo de combustión que sigue según el ciclo, en el motor de gasolina se precisa de una chispa eléarica que inicie la combustión de la mezcla comprimida y en virtud de esta chispa la mezcla se quema a alta velocidad transformando su energía en calor de modo que se dilata con tal fuerza que obliga al émbolo o pistón a desplazarse violentamente a lo largo del cilindro hasta llegar al punto muerto inferior (P.M.I.) del mismo.

En el presente capítulo se establece como **objetivo**

Realizar un análisis de la bibliografía existente que permita definir el estado del arte en la temática abordada y sustentar los resultados alcanzados en la investigación.

### 1.2. Generalidades acerca de los Motores de Combustión Interna

El alza progresiva en el precio de la gasolina ha conseguido que los automóviles dotados de motor de explosión sean cada vez más caros el mantenimiento y su utilización para el transporte, tanto por ciudad como por carretera, sea cada vez más cuestionable desde el punto de vista económico.

Este incremento de unidades en el mercado hace que los mecánicos de automóviles que conocen a fondo el tradicional motor de explosión se vean visitados cada vez más por vehículos turismos equipados con motores Diesel. Estos motores no son iguales que los motores de explosión, pero tampoco son iguales que los motores de los autocamiones, de modo que no basta con el conocimiento de unos y de otros para hacer un trabajo de reparación perfecto. Hay singularidades que es preciso conocer.

Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que combustiona dentro de una cámara de combustión.

Casado (2002) plantea que un MCI es básicamente una máquina que mezcla oxígeno con combustible gasificado. Una vez mezclados íntimamente y confinados en un espacio denominado cámara de combustión, los gases son encendidos para quemarse (combustión). Debido a su diseño, el motor, utiliza el calor generado por la combustión, como energía para producir el movimiento giratorio que se conoce.

Entre los parámetros que caracterizan los Motores Combustión Interna, se encuentran los que caracterizan el ciclo real (parámetros indicados) y los que caracterizan el trabajo del motor (parámetros efectivos).

Las características indicadas se obtienen del diagrama indicado de los motores, mientras las efectivas son las mismas después de considerar todas las pérdidas mecánicas que ocurren en el trabajo de los motores.

Pálmer (2006) plantea que el desarrollo de los motores de combustión interna se inicia en los años 60 del siglo pasado (motor Lenoir, Francia, 1860; motor Otto y E. Langen Alemania, 1867; motor de cuatro tiempos Otto en 1876, construido según el ciclo de Beauc de Rochas en 1862, con compresión previa del fluido operante y combustión a volumen constante). A fines del siglo XIX, cuando fue organizada la refinación industrial del petróleo los motores de combustión interna que funcionaban con combustible líquido (gasolina, Kerosene de encendido por chispa o ignición por compresión) obtuvieron mayor difusión.

En el 1889 fue construido en Rusia el primer motor a gasolina (Motor Kostovich). En 1899 fue fabricado en San Petersburgo, por primera vez en el mundo, un motor económico y capaz de funcionar con encendido por compresión (Diesel).

Transcurrido un corto tiempo, la estructura del motor Diesel fue perfeccionada (motores Diesel sin compresión). En Rusia fueron construidos los motores Diesel sin compresión diseñados por G. V. Trinkler en 1901 y de estructura de Ya. V. Mamin en 1910.

Dante (2000) plantea que el exitoso empleo de los motores de combustión interna, el diseño estructural de motores estructurales y la elevación de sus índices de potencia y rendimiento fueron posibles en gran medida gracias a las investigaciones y a la elaboración de la teoría sobre el proceso de funcionamiento de los motores. En 1906 el profesor de la escuela Técnica Superior de Moscú V.I. Grinevetski propuso el primer método de cálculo térmico del motor. Este método fue desarrollado y completado por el miembro correspondiente de la A. C de la URSS, N. R. Briling, por el profesor E. K. Mazing y por el académico B. S. Stechkin.

En la URSS la producción de motores de combustión interna para las diferentes ramas de la economía – incluida la automovilística empezó rápidamente a desarrollarse después de la gran Revolución Socialista de Octubre.

Notable atención se prestó a la industria automotriz desde el principio de la industrialización del país. Se inició la producción en masa de automóviles. En primer lugar se organizó la fabricación de gran cantidad de camiones, indispensables para el desarrollo de la industria y de la agricultura del país. Últimamente se dedica especial atención al desarrollo de la industria automotriz. Paralelamente al continuo aumento de la producción de camiones creció bruscamente la fabricación de coches de turismo. A la par con el aumento de producción de automóviles modernizados y de sus motores en las fábricas existentes, ha entrado en funcionamiento un nuevo y enorme complejo industrial de producciones de coches de turismo.

La fabrica de Automóviles Volga. Los complejos Kamaz para fabricar camiones con elevada capacidad de carga, así como sus respectivos motores.

### 1.2.1. Tipos de motores de combustión interna

El motor cíclico Otto, cuyo nombre proviene del técnico alemán que lo inventó, Nikolaus August Otto, es el motor convencional de gasolina que se emplea en automoción y aeronáutica. (Cendrowska, 2002).

El motor Diesel (figura 1) llamado así en honor del ingeniero alemán Rudolf Diesel, funciona con un principio diferente y suele consumir petróleo. Se emplea en instalaciones generadoras de electricidad, en sistemas de propulsión naval, en camiones, autobuses y automóviles. Tanto los motores Otto como los diesel se fabrican en modelos de dos y cuatro tiempos.

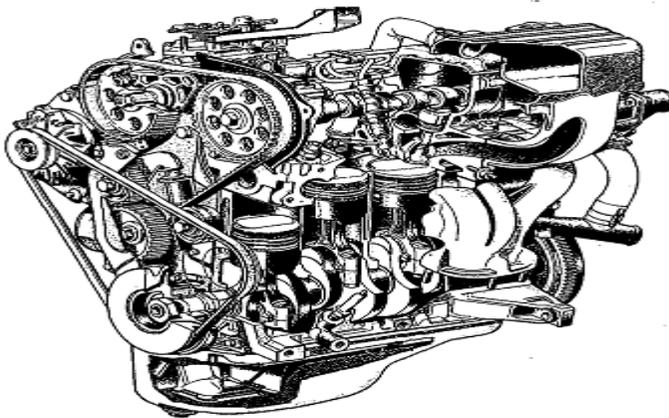


Figura 1. Motor de combustión interna. (Fuente Miguel de Castro, 1997)

Dentro de estos motores encontramos:

- ✓ El motor rotatorio.
- ✓ La turbina de combustión.

Desde el siglo XVII comenzaron las alternativas para la construcción de motores de combustión. El primer intento se realizó tratando de obtener trabajo útil de la inflamación de la pólvora dentro de un cilindro con un pistón.

En 1857, los italianos Barsanti y Matteuci construyeron un motor que funcionaba gracias a la inflamación del gas de alumbrado, producto de una chispa eléctrica. Debido a una serie de desventajas que presentaba no encontró aplicación. No es

hasta finales del siglo XVIII que se consigue, a partir de una máquina, trabajo mecánico en escala considerable. En la realidad era un motor de combustión externa, trabajaba mediante el vapor producido por la combustión del carbón; pero aceleró las investigaciones en busca de un motor de combustión interna.

En 1860 un mecánico francés, Lenoir, construyó un motor de gas (máquina de fuego), la cual funcionaba con gas de alumbrado sin compresión, produciendo una potencia de hasta 12 caballos de fuerza, con un rendimiento entre 4 y 5 % (efectivo). (Allen, 1965)

Es Beau de Rochas quien en 1862 por primera vez propuso un motor con compresión de la mezcla. La construcción racional del mismo fue realizada por Otto y Langen en 1867, consiguiéndose con éste un progreso importante en ciclo de trabajo. En él se realizaba el ciclo de trabajo en cuatro tiempos, lográndose rendimientos de hasta 10 - 12 % (efectivos).

Gómez (2001) plantea que al adoptar la compresión de la mezcla, quedaba ya perfilado, en lo fundamental, el ciclo de trabajo sobre el que se ha realizado todo el programa posterior en la construcción de los motores. Con la construcción del motor Diesel en 1899 se logra una reducción en el consumo de combustible, llegándose a obtener un rendimiento efectivo de hasta un 40 %. Posteriormente, en países desarrollados como: Inglaterra, Francia, la antigua URSS, Alemania, EE. UU, se sucedieron a ritmos violentos toda una serie de mejoras en los motor de combustión interna.

El diseño y la fabricación, ayudado en los últimos años por la computación, motorizó grandes cambios, siempre orientados a la obtención de mejores rendimientos. El avance más popularizado en los motores modernos es la inyección electrónica trabajando conjuntamente con dispositivos como la sonda Lambda y los catalizadores. (Jóvaj, 1987).

Según Widman (2008) el éxito de los motores Diesel se debió a la economía de consumo y a la creencia generalizada en su bajo nivel contaminante.

Se lograron aumentos de rendimientos volumétricos y mecánicos con la introducción del Turbo con intercooler y sistemas de inyección indirecta. Más

recientemente aparece la inyección directa comandada electrónicamente, las tapas de cilindros multiválvulas y los nuevos aceites lubricantes.

La constante investigación sobre el mejoramiento del rendimiento de estos dos motores (carburación y Diesel) fue llevándolos a aumentar la relación de compresión y a bajar el volumen y consumo. Todas estas características variaron en forma considerable, obteniendo mayor potencia por litro de combustible quemado.

Se han desarrollado coches eléctricos (en versión "pura" o en versión híbrida"), dotado de baterías recargables. Numerosas investigaciones se han llevado a cabo y aún continúan en este sentido, logrando avances significativos. Circulan hoy en día diversas flotas de vehículos nacidos de este concepto. No obstante, esta generación del coche eléctrico al cien por cien, especialmente apropiada para la lucha contra la polución en el medio urbano, tiene problemas en cuanto a los límites de su autonomía y las dificultades relacionadas con las operaciones de recarga. Por lo tanto, se da una mayor preferencia a los vehículos híbridos, que son interesantes en muchos aspectos pero que sólo pueden disminuir (y no suprimir) la dependencia para con los combustibles petroleros. (Vsórov, 1986).

Jiménez (2003) considera que con respecto a los acumuladores recargables, la pila de combustible se ha afianzado desde entonces como una alternativa muy atractiva. El hidrógeno, combinado con el oxígeno del aire ambiente, produce una corriente capaz de alimentar el motor de un vehículo. En lugar de los gases de escape del motor de combustión interna., el residuo es agua y un poco de calor. La tasa de emisión teórica de CO<sub>2</sub> y de otros contaminantes nocivos para el medio ambiente y la salud es cero. Estas pilas concilian otras dos ventajas apreciables: un alto rendimiento energético y la ausencia de nocividad sonora.

### **1.3. Arquitectura mecánica del automóvil**

El automóvil como vehículo de transporte, debe satisfacer las necesidades de su destino y las propias de su funcionamiento, de donde se deriva una diversidad de órganos especializados, cuyo conjunto constituye el rasgo característico de cada caso. Por lo que se refiere al modo de tracción, un automóvil puede pertenecer a

las siguientes categorías: tracción trasera (p. ej., Seat); delantera (Citroén); por cuatro ruedas (Land Rover); otras (hélice, reacción). En cuanto a propulsión, puede haberla: por ruedas; por orugas de goma; por orugas metálicas. Asimismo pueden distinguirse vehículos de dos ejes, con uno motor (p. ej., todos lo de turismo); de dos ejes, ambos motores (jeep); de tres ejes, uno motor y uno director (muchos camiones); de tres ejes, uno motor y dos directores; de tres ejes, dos motores y uno director; de cuatro y más ejes. Desde el punto de vista estructural, los automóviles pueden dividirse en: con chasis separado (elemento resistente) y carrocería (superestructura); monocasco (chasis y carrocería se confunden); mixto (elementos de chasis incorporados a la carrocería). (Chudakov, 1989).

### **1.3.1. Sistema de transmisión**

El conjunto de elementos que tiene la misión de hacer llegar el giro del motor hasta las ruedas motrices, se denomina sistema de transmisión. Con este sistema también se consigue variar la relación de transmisión entre el cigüeñal y las ruedas. Esta relación se varía en función de las circunstancias del momento (carga transportada y el trazado de la calzada). Según como intervenga la relación de transmisión, el eje de salida de la caja de velocidades (eje secundario), puede girar a las mismas revoluciones, a más o a menos que el cigüeñal.

Si el árbol de transmisión gira más despacio que el cigüeñal, se dice que se ha producido una desmultiplicación o reducción y en caso contrario una multiplicación o súper-marcha. Al desmultiplicar las revoluciones en el secundario, se produce un aumento proporcional del par de salida en el mismo secundario.

Si el cigüeñal gira a 1000 rev/min y el árbol de transmisión lo hace a 500 rev/min, se han desmultiplicado las revoluciones del secundario, pero hemos aumentado al doble el valor inicial del par de salida, es decir, se ha perdido velocidad pero se ha ganado fuerza. Se cumple la regla de la mecánica "lo que se pierde en velocidad se gana en fuerza y a la inversa". La disposición de los elementos del sistema de transmisión dependerá de la situación relativa que exista entre el motor y las ruedas motrices. [www.TheDieselPage.com](http://www.TheDieselPage.com), 2009

### 1.3.2. Tipos de transmisión

#### ❖ Motor delantero y tracción

Sus ruedas delanteras son motrices y directrices y no posee árbol de transmisión. Este sistema es muy empleado en turismos de pequeña y mediana potencia.

#### Motor delantero y propulsión

Las ruedas motrices son las traseras, y dispone de árbol de transmisión. Su disposición es algo más compleja, utilizándose en camiones y turismos de grandes potencias.

#### Motor trasero y propulsión

Sus ruedas motrices son las traseras y tampoco posee árbol de transmisión. Este sistema apenas se emplea en la actualidad por problemas de refrigeración del motor.

#### Propulsión doble

Utilizado en camiones de gran tonelaje, donde la mayor parte del peso está soportado por las ruedas traseras y mejor repartidas.

Este sistema consiste en colocar dos puentes traseros (A) y (B) motrices evitando así colocar un solo grupo cónico de grandes dimensiones. De esta manera el esfuerzo a transmitir por cada grupo cónico se reduce a la mitad, reduciéndose las dimensiones sobre todo las del par cónico.

#### ❖ Transmisión total

Los dos ejes del vehículo son motrices. Los dos puentes o ejes motrices llevan un diferencial cada uno. Con esta transmisión pueden, a voluntad del conductor, enviar el movimiento a los dos puentes o solamente al trasero. Este sistema se monta frecuentemente en vehículos todo terreno (4 WD) y en camiones de grandes tonelajes sobre todo los que se dedican a la construcción y obras públicas.

### 1.4. Elementos del sistema de transmisión

Para describir los elementos de transmisión, se considera un vehículo con motor delantero y propulsión ya que en este el montaje emplea todos los elementos del sistema de transmisión:

- Embrague: tiene como misión acoplar o desacoplar, a voluntad del conductor, el movimiento del motor al resto del sistema de transmisión.
- Caja de velocidades: es la encargada de aumentar, mantener o disminuir la relación de transmisión entre el cigüeñal y las ruedas, en función de las necesidades, con la finalidad de aprovechar al máximo la potencia del motor.
- Árbol de transmisión: transmite el movimiento de la caja de velocidades al conjunto par cónico-diferencial.
- Mecanismo par-cónico diferencial: mantiene constante la suma de las velocidades que llevan las ruedas motrices antes de tomar la curva. Desmultiplica constantemente las vueltas del árbol de transmisión en las ruedas motrices y convierte el giro longitudinal de éste, en giro transversal en las ruedas.
- Juntas de transmisión: las juntas se utilizan para unir elementos de transmisión y permitir variaciones de longitud y posiciones.
- Semi árboles de transmisión (palieres): son los encargados de transmitir el movimiento del grupo cónico-diferencial hasta las ruedas motrices, cuando el sistema carece de árbol de transmisión.

### **1.5. Vehículos para trabajos especiales**

Gurevich; Sorokin (1989) consideran que son aquellos que han sido ideados para misiones especiales y no pueden, o sólo parcialmente, prestarse al transporte: tractores para arrastre, de tipo industrial o agrícola; excavadoras; bulldozers, palas mecánicas; rodillos compresores y otra maquinaria de obras públicas; hormigoneras sobre chasis de camión; cisternas para transporte; motobombas y cisternas para riego o incendio.

Vehículos para usos militares. Existe una gran variedad de ellos y constantemente aparecen nuevos tipos: automóviles blindados; tanques; cañones motorizados.

## 1.6. Mecanismos de los automóviles

Todos los vehículos y los automóviles de turismo en particular, deben poseer unos mecanismos necesarios para el cumplimiento de su misión. (Águeda et al., 2002)

a) La dirección, que sirve para las maniobras y para cambio de trayectoria. El volante va unido al mecanismo de dirección por una columna rígida o telescópica para comprimirse en caso de accidente. Un dispositivo transforma el movimiento del giro del volante en desplazamiento lineal de la barra de mando que, mediante palancas (articuladas con rótulas), acciona las ruedas modificando su ángulo de ataque, lo que produce la desviación de la trayectoria del automóvil.

b) La suspensión elimina la mayor parte de las sacudidas producidas por las desigualdades del terreno. La parte elástica comprende: los neumáticos, que con su cubierta y cámara de aire se comprimen fácilmente; las ballestas o muelles, de aceros los tradicionales y óleoneumáticos los modernos; trapecios, triángulos o brazos que guían la rueda en sus desplazamientos (o ejes rígidos en los sistemas tradicionales); muelles o esponjas del tapizado de los asientos. El automóvil siendo una masa suspendida elásticamente, puede adquirir bajo las excitaciones del suelo un régimen de oscilaciones propio (resonancia). De impedirlo se encargan los amortiguadores, que mediante roces líquidos o de sólidos disipan parte de la energía cinética de oscilación.

c) El motor es un mecanismo de transformación de la energía química contenida en el carburante, en energía mecánica que asegura el mantenimiento o las variaciones positivas de la velocidad del automóvil.

d) La transmisión, conjunto de elementos que transmiten la fuerza propulsora del motor a las ruedas, se compone de: embrague, mecanismo que interrumpe o restablece suavemente la comunicación del motor con la caja de velocidades (los hay de monodisco, de discos múltiples, cónicos, centrífugos, hidráulicos); caja de velocidades, conjunto de engranajes fijos y desplazables, las hay del tipo clásica con marcha directa, más modernas sin directa pero con superdirecta, epicicloidales, Wilson, automáticas e hidráulicas); árbol de transmisión, que existe en ciertos modelos de automóviles y en otros no (barra tubular o maciza,

articulada en rodamientos y provista de cardanes); puente trasero (o delantero) con su grupo de engranajes de ángulo, compuesto por el piñón de ataque y la corona (destinados a reducir el número de vueltas), el mecanismo diferencial, destinado a repartir la propulsión entre las dos ruedas, dejando la libertad de girar más o menos a cada una de ellas (indispensable en las curvas, donde la rueda interior recorre menos distancia que la exterior) y los palieres o semiejes que unen el diferencial con las ruedas.

El motor es en realidad un transformador de la energía contenida en el combustible (10, 500 kcal/kg de carburante) en energía mecánica aprovechable para la propulsión del vehículo. La transformación se opera por explosión ó combustión de la mezcla carburante en un espacio cerrado (cilindro, culata) con una pared móvil (pistón) que transmite la presión del gas caliente al cigüeñal por mediación de la biela, sistema que permite transformar el movimiento rectilíneo del émbolo en movimiento giratorio del cigüeñal. Para poder desempeñar sus funciones, el motor precisa de numerosas instalaciones y mecanismos auxiliares que se relacionan a continuación. (Giacosa, 2000)

a) Alimentación, que debe suministrar el combustible y consta de: 1) un depósito con boca de carga y cierre; 2) instalación de tuberías que llevan el combustible al motor; 3) bomba de combustible con mando mecánico o eléctrico; 4) filtro o vaso decantador; 5) en algunos casos una nodriza neumática por depresión alimenta al carburador; 6) el carburador pulveriza y dosifica el combustible para producir con el aire una mezcla de proporciones exactas; lleva, además, una bomba de aceleración y un starter de arranque; 7) algunos motores de alto rendimiento son sobrealimentados mediante compresores (centrífugos, rotativos, axiales o de émbolo); 8) colector de alimentación, con o sin calefacción, que distribuye regularmente la mezcla a los cilindros.

b) Distribución, mediante la cual la mezcla es admitida en el interior de los cilindros por la apertura de las válvulas. Consta de: 1) las válvulas (caña y cabeza en forma de seta), que son de dos clases: de admisión y de escape, diferentes en forma y material; 2) el árbol de levas que gira a velocidad mitad de la del cigüeñal (por ser

el ciclo de cuatro tiempos igual a  $720^\circ$ ) impulsa las válvulas a través de los taquets, obligándolas a levantarse en el momento preciso, para franquear la entrada o salida a los gases.

d) Refrigeración, dispositivo para evacuar el exceso de calor producido por la combustión. En la refrigeración del aceite, la misma bomba del engrase impulsa el aceite caliente hacia el radiador, donde pasa por un sistema de intercambiadores de calor de aletas que el aire enfría; suele intercalarse un filtro en la circulación. Para la refrigeración del motor por aire, la culata y el cilindro están provistos de aletas destinadas a disipar el calor en el aire; un ventilador impulsa el aire (además de la presión dinámica producida por la velocidad del vehículo) para activar su circulación y unas mangas y carenas de chapa obligan al aire a pasar lamiendo mejor las aletas de refrigeración. Para la refrigeración del motor por líquido, los cilindros y culatas tienen dobles paredes, entre las que circula el líquido de refrigeración, impulsado por una bomba; un radiador dispersa el calor del líquido en el aire de refrigeración; un ventilador activa la circulación del aire.

### **1.7. Rendimiento termodinámico de un motor**

El rendimiento termodinámico de un motor depende de muchos factores principalmente en la relación de compresión, es decir el recorrido del pistón desde el punto muerto inferior hasta el punto muerto superior, que comprime determinada cantidad de volumen de mezcla de oxígeno y carburante, medido en centímetros cúbicos, o pulgadas cúbicas. (Alonso, 1999)

El segundo factor de importancia es la capacidad volumétrica, teóricamente a mayor cilindrada mayor debería ser la capacidad de generar potencia.

El tercer factor de relevancia es la cantidad de mezcla aire - combustible, que debe ser la adecuada, para lo cual se regula mediante carburadores o inyectores. A mayor caudal de carburante, mayor generación de calor y por ende mayor potencia emergente. Por eso la aparición de los sistemas de inducción de aire a presión en las modernas motos deportivas (RAM AIR).

El cuarto factor es la capacidad de giro del cigüeñal, medidos en revoluciones por minuto (rev/min) a igualdad de cilindrada, obtiene mayor potencia el motor que gira a más revoluciones.

La potencia se mide mediante bancos dinamométricos, y tiene dos parámetros, potencia de salida al cigüeñal, y potencia a la rueda, existe una diferencia importante entre ambas mediciones porque a la rueda, que es la definitiva, tiene pérdidas por arrastre del sistema de transmisión, caja de velocidad, cadena o cardan. No hay que confundir potencia real, con par motor, que es la capacidad o fuerza de empuje de un vehículo, y se relaciona directamente con la inercia que genera el cigüeñal y la compresión de un motor.

Un banco dinamométrico es una especie de bandeja sobre la cual se asegura la moto en su tren delantero, y la rueda trasera se asienta sobre rodillos con una resistencia dinámica, que manda datos a una computadora, y que mide su fuerza a determinados regímenes de giro del motor.

#### **1.7.1. Comportamiento durante el ciclo**

El motor Diesel (De Castro, 1997) puede construirse de modo que funcione por el ciclo de cuatro tiempos o por el de dos tiempos, al igual que ocurre con el motor de explosión. Lo que sucede es que los motores Diesel que funcionan bajo el ciclo de dos tiempos son motores extraordinariamente grandes, propios para la propulsión de grandes motonaves, mediante los cuales se obtienen unas elevadas potencias que han llegado hasta los 50, 000 CV (poco más de 37,000 kW), pero con unas velocidades de giro que oscilan entre las 100 a las 150 rev/min. Por el contrario, y como ya es conocido, resulta curioso consignar como en los motores de explosión el ciclo de dos tiempos se reserva para motores de pequeñas cilindradas en la gran mayoría de los casos, tales como para ser planta motriz de velomotores y motocicletas pequeñas de hasta 250 cm<sup>3</sup>. Así pues, el ciclo de dos tiempos parece designado a utilizarse para los más grandes y los más pequeños motores, pero no para los de la zona intermedia.

En la práctica, se utiliza exclusivamente el ciclo de cuatro tiempos para los motores Diesel que son diseñados y fabricados con el objetivo de propulsar automóviles, del mismo modo que ocurre con los motores de explosión.

### 1.7.2. Ciclo de un motor diesel

Bernard; Baranescu (2000) la evacuación de los gases de combustión (figura 2) tiene lugar por la válvula de escape, mandada por el árbol de levas; el colector de escape une los escapes de cada cilindro en una corriente única; en el tubo de escape, más o menos largo, se enfrían los gases y pierden volumen y velocidad; el silenciador es un dispositivo destinado a apagar las ondas sonoras provocadas por la expansión brusca de los gases de escape.

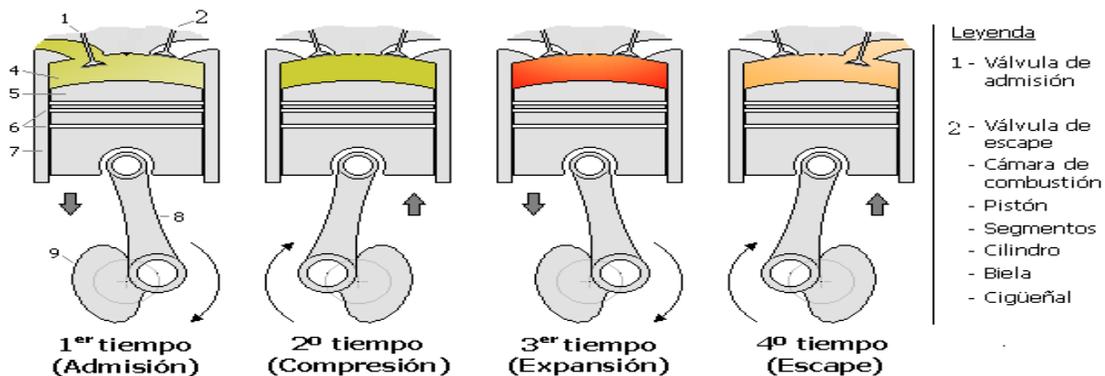


Figura 2. ciclo de un motor diesel.

### 1.7.3. Puesta a punto de motores diesel

Por puesta a punto de motores se entiende encontrar el punto de sincronización de los diversos dispositivos fundamentales gracias a los cuales el motor puede funcionar. En el motor de explosión hay tres zonas en las que se tiene que actuar para la correcta puesta a punto: De una parte, en la puesta a punto del encendido, es decir, conseguir que la chispa salte en el momento exacto necesario con relación a la carrera del émbolo. Otra puesta a punto ha de llevarse a cabo con la carburación para conseguir que la dosificación de la mezcla se corresponda con la cantidad de aire aspirado y las necesidades del motor. Por último, también hay que poner a punto la distribución, es decir, el momento en que las válvulas de admisión y de escape han de abrirse con relación a la posición del émbolo en su carrera. Coordinar todos estos movimientos es lo que se entiende por poner a punto un motor.

En el caso de los motores Diesel, la función del encendido y de la carburación está encomendada a un solo circuito, que en este caso es el de inyección, de modo que la puesta a punto debe entenderse solamente desde dos puntos de vista compuestos por las siguientes partes:

- Puesta a punto de la inyección
- Puesta a punto de la distribución

### **1.8. Comparación entre el motor Diesel y el de gasolina**

La comparación entre el motor Diesel y el de gasolina puede hacerse desde diversos ángulos. Lo más corriente, es hacer esta comparación desde el punto de vista técnico; fundamentalmente en cuanto a sus virtudes e inconvenientes para llevar a cabo la tracción de un automóvil.

#### **1.8.1. Economía de consumo**

Dada la circunstancia, del mejor aprovechamiento del ciclo térmico por parte del sistema utilizado en el motor Diesel es indiscutible que, a igualdad de potencia, el consumo de éste es inferior. Se dice a igualdad de potencia y no a igualdad de cilindrada, en cuyo caso las diferencias son muy notables a favor del Diesel.

En la actualidad existen ya muchos fabricantes que equipan idénticos modelos de gran venta con la opción Diesel o gasolina. Y aunque no en todos, existen algunos que incluso ofertan estos motores de diferentes cilindradas, pero de unas potencias máximas iguales. Tal es el caso, por ejemplo, de TALBOT que en uno de sus modelos ofrece

Motor de explosión. — Cúbica  $1\,442\text{ cm}^3$  y da 65 CV a 5 200 rev/min.

Motor Diesel.- Cúbica  $1\,905\text{ cm}^3$  y da 65 CV a 4 600 rev/min.

La comparación de ambos motores en cuanto al consumo arrastrando carrocerías prácticamente del mismo peso puede dar una orientación verdaderamente afinada de la diferencia entre ellos en lo que respecta a la cota del consumo.

Se tiene que el motor de gasolina gasta un 19 % más en ciudad y un 26 % más en carretera que el motor Diesel, pero, además, en este caso concreto y por razones técnicas, por la fuerza (gracias a las desmultiplicaciones) el motor Diesel puede

conseguir una velocidad punta de 156 km/h mientras el modelo de gasolina no sobrepasa los 146 km/h.

Al factor del menor consumo se unen otros factores que acentúan su economía. En primer lugar hay que destacar la manera de conducir el motor Diesel requiere una forma de conducir diferente en cuanto al tratamiento del cambio de velocidades que por su propia naturaleza hace que el conductor se adapte insensiblemente a una conducción de tipo económico. Con el Diesel se utiliza menos el freno lo que quiere decir, ya de por sí, un mejor aprovechamiento de la energía mecánica obtenida en cada momento. Como quiera que las aceleraciones no puedan ser lo vigorosas que pueden resultar en los motores de explosión, el conductor renuncia a ellas, lo que si bien rebaja en unos minutos el resultado horario del viaje, lo recompensa con un consumo todavía más reducido.

### **1.9. El automóvil en la vida moderna**

La influencia del automóvil en la sociedad ha sido extraordinaria. Como medio de transporte de mercancías y de personas tiene sobre el ferrocarril la ventaja de su gran flexibilidad y sus menores exigencias en cuanto a infraestructuras. Por ello ha sustituido en gran parte a las demás formas de transporte colectivo de superficie en las ciudades. En el ámbito personal, familiar, profesional y de los servicios públicos y privados permite una movilidad que se traduce en ahorro de tiempo, comodidad, eficiencia en los servicios, posibilidades turísticas, mayor contacto entre los pueblos. Como contrapartida a estas ventajas, deben señalarse serios inconvenientes: número de víctimas que se producen, dificultades de circulación por ciudades y carreteras, contaminación atmosférica. (Nichols, 2000)



### **1.10. Conclusiones del capítulo I**

1. La bibliografía consultada, aporta información sobre los motores de combustión interna fabricados en diferentes años, pero todos se basan en el mismo principio de funcionamiento.
2. Los motores de combustión interna (MCI) en comparación con los motores de gasolina tienen ventajas en cuanto al consumo de combustible tanto en ciudad como en carretera.
3. El empleo de los motores de combustión interna (MCI) en Cuba se ha generalizado, su empleo en diferentes automóviles, obteniéndose buenos resultados.

## **CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Introducción**

Forman parte del motor de combustión interna (MCI) determinados elementos que por las condiciones especiales en que trabajan, requieren de características excepcionales, tales como: alta resistencia al desgaste, poder de lubricación, absorción de vibraciones, termoresistencia, soportar cargas de impacto. No siempre el acero está llamado a dar respuestas óptimas a todas estas exigencias y, en su lugar se acude al hierro gris como excelente material de ingeniería. Entre estos elementos se encuentran los aros o segmentos del pistón y los sombreretes de los cojinetes del cigüeñal.

A pesar de las reconocidas ventajas que tienen estas piezas, fabricadas de ese material, el problema radica en la difícil restauración de las mismas mediante el empleo de métodos tradicionales para su acondicionamiento, por lo que se acude a diferentes métodos para recuperar los elementos que se pierden producto de la fricción.

Dado por las críticas condiciones económicas que atraviesa el país, es evidente la necesidad de estudiar determinados métodos que tengan utilidad práctica en la recuperación de piezas con esas características.

#### **En este capítulo se plantea como objetivo**

1. Fundamentar las propiedades a investigar y explicar los métodos, procedimientos y condiciones en la que se realizarán los experimentos.

### **2.2 Diagnóstico del motor Hyundai**

El diagnóstico se realiza para detectar posibles fallas antes que se desarrolle y conviertan en averías, el objetivo es ver, oír, sentir y el objetivo es la medición de vibraciones. Este tiene como objetivo:

1. Impedir la interrupción o limitación del funcionamiento de las máquinas durante su operación.
2. Detectar la avería en fase incipiente, antes de convertirse en catastrófica, así como la identificación o diagnóstico de las causas que lo originan.

3. Reducir cuando se alcanzará la condición de límite peligroso y fijar una fecha adecuada para la operación del mantenimiento.

Para el establecimiento de un adecuado plan para la recuperación del motor que permitiera la selección y clasificación adecuada de las piezas, componentes y sistemas que determinan el mal estado técnico del mismo, primeramente se realizó un estudio y defectado encontrándose como problemas principales: la caída de potencia y desarreglos en el motor.

### **2.2.1 Deficiencias del motor**

En el anexos 1 aparece el motor del Hyunday, objeto de la investigación y del cual se hizo el siguiente defectado.

- ✓ El motor funciona inestablemente a pequeñas revoluciones de relanti,
- ✓ El motor deja de funcionar cuando abre bruscamente la válvula de dosificación de la bomba.
- ✓ El motor no desarrolla la potencia total.
- ✓ Reducida compresión de los cilindros.
- ✓ El motor se calienta.
- ✓ Elevada penetración de gases en el cárter del motor.
- ✓ Elevado consumo de combustible.
- ✓ Disminución de la presión del aceite.
- ✓ Elevado consumo de aceite por el motor.
- ✓ Golpeteo en el motor.
- ✓ Golpe detonantes en el motor,

### **2.3 Herramientas utilizadas en el despiece y ensamble del motor**

Una reparación técnicamente bien realizada dará años de servicio al motor sin problemas, una reparación efectuada sin tomar en cuenta los aspectos técnicos básicos expresados y tratando de ahorrar gastos necesarios ocasionará pérdidas económicas y de tiempo. La selección adecuada de las herramientas evitará pérdidas de tiempo durante el arme y desarme del motor, es necesario plantear que la selección inadecuada o manejo incorrecto de las herramientas ocasionan de forma general pérdida en la geometría de las piezas que han de ajustarse o

desarmarse. En la tabla 2.1 se relacionan las herramientas que han de emplearse durante el arme y desarme del motor.

Tabla 2.1. Herramientas a emplear en el desarme y arme del motor.

No	Número	Nombre	Uso
1	MD998051	Llave para pernos de la culata de cilindros	Aflojar y ajustar los pernos de la culata de cilindros
2	MD998115	Instalador de guía de válvula	Desmontaje e Instalación de guía de válvula
3	MD998148	Photo para cortado de asiento de válvula	Corrección del asiento de válvula
4	MD998158	Cortador de asiento de válvula de 45°	Corrección del asiento de válvula
5	MD998165	Cortador de asiento de válvula de 65°	Corrección del asiento de válvula
5	MD998175	Cortador de asiento de válvula de 30°	Corrección del asiento de válvula
6	MD998250	Instalador del cojinete del eje silencioso	Instalación del cojinete trasero del eje silencioso
7	MD998251	Extractor del cojinete del eje silencioso	Desmontaje del cojinete trasero del eje silencioso
8	MD998376	Instalador del sello de aceite trasero del cigüeñal	Instalación del sello de aceite trasero del cigüeñal
9	MD998380	Tope del instalador de cojinete	Guía para desmontaje e Instalación del cojinete trasero derecho del eje silencioso.
10	MD998381	Instalador del sello de aceite del árbol de levas	Instalación del sello de aceite del árbol de levas
11	MD998382	Guía del sello de aceite delantero del cigüeñal	Guía para la instalación del sello de aceite delantero del cigüeñal
12	MD998383	Instalador del sello de aceite delantero del cigüeñal.	Instalación del sello de aceite delantero del cigüeñal.
13	MD998385	Guía del sello de aceite del engranaje de impulsión del eje silencioso	Instalación del sello de aceite del engranaje de impulsión del eje silencioso

#### **2.4. Caracterización química de los materiales**

El análisis químico se realizó empleando un Espectrómetro de Masa ESPECTROLAB 230 con electrodo de carbón bajo arco sumergido en atmósfera de argón en el Laboratorio del Taller de Fundición de la Empresa Mecánica del Níquel, Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche", Moa. La composición química del pistón y de la camisa aparecen en las tablas 2.2 y 2.3.

Tabla. 2.2. Composición química del pistón.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Ti
11,095	1,051	0,754	0,015	1,125	0,030	0,048	0,025
Pb	V	Co	Sn	Al			
0,000	0,027	0,013	0,082	84,70			

Tabla. 2.3. Composición química de la camisa.

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo
4,897	1,17	0,52	0,019	0,000	0,59	0,16	0,01
Ni	V	Ti	Nb	Co	W		
0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00		

#### 2.4.1. Técnicas de caracterización, microscopio metalográfico

El microscopio ha sido la herramienta más potente en el estudio de la ciencia, ha llevado al hombre hacia una nueva dimensión permitiendo un sin fin de descubrimientos y ayudando en la evolución de los seres humanos.

Para la observación de las probetas se empleó un microscopio óptico binocular marca NOVEL modelo NIM -100 (Figura 2.1) ubicado en el laboratorio de Ciencia de los Materiales del ISMM de Moa, éste está dotado de una cámara instalada mediante el hardware IMI.VIDEOCAPTURE.exe que refleja la fotografía en el computador. Para colocar las probetas en el microscopio se montan en un dispositivo con plastilina que permite una nivelación adecuada de estas.



Figura 2.1. Microscopio Óptico NOVEL modelo NIM - 100.

#### 2.4.2. Preparación metalográfica de la probeta

Las superficies de las muestras a investigar deben ser previamente pulidas para poder realizar la observación microscópica, por lo que se propone la realización de

un conjunto de operaciones que permitan lograr la calidad superficial deseada. Las operaciones se resumen en el siguiente orden, según la norma NC 10 – 56:86 y ASTM E3 – 95.

- Corte, desbaste, pulido, desengrasado y lavado.

### **Corte**

Las muestras para la observación metalográfica con longitud de 15 mm y espesor de 3 mm se prepararon según norma ASTM E 3 – 95.

Se realizó con una sierra manual considerando que el material es dúctil y se puede aserrar por procedimiento manual.

### **Desbaste y pulido**

El desbaste que a grandes rasgos, consiste en obtener primeramente una superficie plana y semipulida, mediante el empleo de máquinas herramienta y papeles abrasivos. El pulido con los papeles abrasivos se realiza variando la granulometría del mismo al ser aplicadas a la pieza de trabajo, desde la más gruesa a la más fina. Al concluir de pasar el papel abrasivo más fino se realiza la operación conocida como pulido fino, en el que se emplea la pasta abrasiva conocida comercialmente como "Pasta GOI", añadida sobre discos provistos de paños o motas. Después de esta operación se obtiene una superficie pulida.

En el pulido se emplearon lijas del tipo No 180, 400 y 600, o sea que estas lijas poseen 180, 400 y 600 granos de partículas abrasivas por  $\text{mm}^2$  según (ISO 9001), respectivamente.

Este pulido se llevó a cabo con la lija montada sobre una placa de vidrio, cambiando el sentido del lijado  $90^\circ$  al pasar de un pliegue a otro de manera que se elimine la capa de metal distorsionado y deslizado dejado por el anterior. Para lograr una superficie lisa y pulida libre de impregnación de impurezas o ralladuras, por último las muestras se pasaron en una pulidora metalográfica marca MONTASUPAL (ubicada en el laboratorio de Ciencia de los Materiales del ISMM), para lograr el acabado final, en ella se utilizó un paño de fieltro grueso usando como sustancia abrasiva el óxido de cromo.

### **Características de la máquina**

Voltaje.	250 V
Corriente.	2,5 Amp
Número de revoluciones.	300 a 1 000 rev/min
Potencia del motor.	5 HP

Para eliminar los residuos de partículas, grasas y suciedades se limpió la superficie con agua.

### **Lavado y desengrasado**

Una vez pulida las probetas se lavan con agua destilada, se secan con papel de filtro y finalmente se vuelven a lavar con tetracloruro de carbono para evitar cualquier vestigio de grasa y pastas de pulir.

### **Ataque químico**

Se realizó con el objetivo de resaltar la estructura obtenida después de realizado el pulido hasta alcanzar el brillo de espejo, para observar la estructura metalográfica formada después de la deformación del material (ASTM E – 262 – Practice A) Para este ataque químico se utilizó:

Pistón:

100 ml de ácido clorhídrico.

100 ml agua.

Camisa y aro

Nital 4%

### **2.4.3 Montaje de muestras**

Cuando las muestras son pequeñas o de difícil manejo en las operaciones de desbaste y pulido, es necesario montarlas en un material adecuado para hacer posible la preparación. Éstas pueden montarse de tres formas distintas montaje en frío, impregnación al vacío y montaje en caliente.

### **2.4.4. Montaje en frío**

Consiste en una reacción química, la muestra se coloca en un molde y luego se agrega esta reacción hasta cubrir completamente el volumen entre la muestra y el molde. Es utilizada preferentemente en el montaje de muestras sensibles al calor

o a la presión. Hay tres tipos de resinas para montaje en frío, epoxi (menor contracción, excelente adherencia y tiempo largo de solidificación), acrílicas (menor tiempo y buena adherencia y son termoplásticos), de poliéster (idéntica a la anterior pero duroplásticas).

#### **2.4.5 Propiedades de la resina Epoxi ROYAPOX – 5050**

ROYAPOX 5050 es una resina Epoxi, que se presenta en forma de dos componentes y una vez polimerizada a temperatura ambiente, forma una masa incolora, dura y algo flexible. Presenta buenas cualidades de resistencia a la humedad y buenas propiedades mecánicas y dieléctricas. La resina ROYAPOX 5050 conserva sus propiedades a temperaturas comprendidas entre  $-30^{\circ}\text{C}$  y  $125^{\circ}\text{C}$ .

#### **2.4.6 Campo de aplicación**

La resina ROYAPOX 5050 puede utilizarse en la impregnación ó relleno de pequeños componentes electrónicos, que requieran una protección contra la humedad y los cambios de temperatura.

La resina se suministra en dos componentes separados y predosificados: ROYAPOX 5050 y ENDURECEDOR 5050. La relación de mezcla en peso (Resina/Endurecedor) es de 100/40. Los recipientes estancos y precintados, deben ser almacenados a temperatura ambiente ( $15 - 25^{\circ}\text{C}$ ), de esta forma tendrán más de 1 año de tiempo de vida. En la tabla 2.4 se relacionan las características de la resina Epoxi ROYAPOX – 5050.

Tabla 2.4. Características de la resina Epoxi ROYAPOX – 5050.

Características	ROYAPOX 5050	Endurecedor 5050	Mezcla 100/40
Viscosidad a 25°C (mPa.s)	4000 +- 1000	30 +-10	1000 +- 200
Densidad a 20°C (grs/cm <sup>3</sup> )	1.15 +- 0.01	0.99+-0.02	1.0 +- 0.01
Pot Life a 25°C (min)	50		
Polimerización total	3h. a 100°C		
Dureza Shore D	85		
Resistencia a la tracción [MPa]	70		
Alargamiento a la rotura (%)	7		
Absorción agua 24h, 20°C (% peso)	0.2		
Rigidez dieléctrica, 50Hz, 20°C (kV/mm)	20		
Resistencia superficial (Ohm)	5 .10 <sup>12</sup>		
Resistencia específica (Ohm.cm)	1.3 .10 <sup>15</sup>		
Factor de disipación tg, 50Hz, 20°C	0.0094		
Constante dieléctrica, 50Hz, 20°C	3.9		
Resis. defor térmica pto. Martens °C	60		
Conductividad térmica (W/mK)	0.15		

#### 2.4.7 Preparación y colada

La resina ROYAPOX 5050 se puede mezclar con su endurecedor a temperatura ambiente, según la dosificación 100/40. Pero para conseguir una mejor calidad en el acabado de la aplicación, se recomienda precalentar la resina a 50 °C aprox. El empleo de máquinas mezcladoras - dosificadoras automáticas, favorece la manipulación de este producto. Si se desea desencapsular la resina polimerizada, se deberá aplicar el agente desmoldeante en el molde. Para piezas encapsuladas que deban presentar máximas características eléctricas se recomienda realizar la colada bajo vacío.

#### 2.5 Análisis dinámico

Se tiene en cuenta para determinar la potencia y el momento torsor que surge desde el motor hasta la rueda motriz. Al analizar la dinámica de las ruedas del automóvil encontramos diferentes casos, atendiendo a las condiciones de rigidez de la rueda y el camino. Teniendo en cuenta que los automóviles, independientemente de su destino, se mueven por vía generalmente pavimentadas, es decir, por caminos relativamente rígidos en comparación con las ruedas de los mismos.

### 2.5.1 Momento del motor

Es momento necesario que necesita el motor para su puesta en funcionamiento, el momento del motor ve a estar dado en capacidad del torque que entrega a la caja a la salida del movimiento, así como a todos los demás elementos de la transmisión.

$$M_m = \frac{N_m}{W_m} \quad (2.1)$$

**Donde:**

$M_m$  = Momento del motor, N/m

$N_m$  = Potencia del motor; W

### 2.5.2 Potencia en el embrague

Se tiene en cuenta las pérdidas que existe en el embrague y determinar su resistencia a los cambios de velocidades.

$$N_{emb} = N_m \cdot \eta_{emb} \quad (2.2)$$

**Donde:**

$N_{emb}$  = Potencia del embrague; W

$\eta$  = Rendimiento.

### 2.5.3 Momento del embrague

Permite determinar el momento torsor que realiza el embrague, éste aprovecha la potencia del motor, se debe tener en cuenta que en todos los sistemas de transmisión siempre existen pérdidas.

$$M_{emb} = \frac{N_{emb}}{W_{emb}} \quad (2.3)$$

**Donde:**

$M_{emb}$  = Momento del embrague.

### 2.5.4 Potencia en la barra de transmisión

Es aquella potencia que se genera desde el motor y que se distribuye a través de la caja de velocidad y de ésta a su vez a la barra de transmisión, de donde se genera el momento motriz hacia las ruedas del automóvil.

$$N_{bt} = N_{cc} \cdot \eta_{bt} \quad (2.4)$$

**Donde:**

$N_{bt}$  = Potencia de la barra de transmisión.

$N_{cc}$  = Potencia de la caja de cambio

$\eta_{bt}$  = Rendimiento de la barra de transmisión.

**2.5.5 Momento en la barra de transmisión**

Relación de fuerza que presenta la barra en relación a la salida de movimiento a los otros órganos que generan el movimiento en la transmisión.

$$M_{bt} = \frac{N_{bt}}{W_{bt}} \quad (2.5)$$

**Donde:**

$M_{bt}$  = Momento en la barra de transmisión.

**2.5.6 Potencia de salida del diferencial**

Fuerza entregada por el diferencial a través de los ejes a la rueda motriz, la capacidad de tracción de los automóviles se mide por la cantidad de diferenciales que este tenga.

$$N_d = N_{bt} \cdot \eta_d \quad (2.6)$$

**Donde:**

$N_d$  = Potencia del diferencial.

$\eta_d$  = Rendimiento del diferencial.

**2.5.7 Momento que desarrolla el diferencial**

Potencia necesaria que debe desarrollar el diferencial para entregar movimiento de fuerza a los órganos motrices.

$$M_d = \frac{N_d}{W_d} \quad (2.7)$$

$M_d$  = Momento del diferencial.

**2.5.8 Potencia desarrollada por la rueda motriz**

El torque surgido en la rueda motriz hace surgir en su periferia una fuerza tangencial denominada fuerza tractiva. Actúa sobre el camino provocando en el

una reacción dirigida de acuerdo a la dirección del movimiento de la rueda. Esta reacción es necesaria para provocar el movimiento de la rueda.

$$N_r = N_d \cdot \eta_r \quad (2.8)$$

$N_r$  = Potencia de la rueda.

$\eta_r$  = Rendimiento de la rueda.

### 2.5.9 Momento que desarrolla la rueda motriz

Es el momento de la rueda según se manifiesta la topografía del terreno.

$$M_r = \frac{N_r}{W_r} \quad (2.9)$$

$$W_r = \frac{W_m}{i_t} \quad (2.10)$$

Esta relación se varía en función de las circunstancias del momento (carga transportada y el trazado de la calzada). Según como intervenga la relación de transmisión, el eje de salida de la caja de velocidades (eje secundario), puede girar a las mismas revoluciones, a más o a menos que el cigüeñal.

## 2.6 Conclusiones del capítulo II

1. Al realizar el diagnóstico de la caja del automóvil HYUNDAI, se pudo comprobar que las piezas que componen el mecanismo del mismo están desgastadas y que las causas detectadas invalidan el funcionamiento del mismo.
2. Para realizar la observación de la microscopía óptica, teniendo en cuenta que las muestras son pequeñas, hubo que encapsular las muestras con resina de autocril.
3. En el epígrafe 2.6, se establece el cálculo cinemático y dinámico de la transmisión en la caja de velocidad, lo cual permite determinar las condiciones normales de tracción del automóvil HYUNDAI.

## CAPÍTULO III. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

### 3.1. Introducción

Las aleaciones de Aluminio vaciado, constituyen en términos de tonelaje, el segundo grupo más grande de consumo de metales después de las aleaciones de hierro vaciado (Quintero, 1991) y en particular, las tipo Al-Si son ampliamente utilizadas en la industria automotriz, estructuras aeroespaciales y aplicaciones militares, debido a sus buenas propiedades mecánicas, bajo peso, buena soldabilidad, buena conductibilidad térmica,relativamente alta resistencia a alta temperatura, excelente resistencia a la corrosión, así como excelente fluidez al vaciado (Gruzleski y Closset, 1990).

#### El objetivo del capítulo es

1. Realizar la valoración de los resultados y explicar los fundamentos que dan solución al problema planteado.

### 3.2 Análisis de los elementos desgastados

El motor de combustión interna es la parte más importante para la industria, siendo los más afectadas por los daños por abrasión, debido a que el tribosistema que se genera dentro de éstos, es muy agresivo, debido a los residuos de la combustión y contaminantes como son el polvo, además, de encontrarse en un medio hostil a elevadas temperaturas, así como los inadecuados programas de mantenimiento en filtros de aceite y aire. En la figura 3.1, se ilustra los resultados del desgaste abrasivo en dichas circunstancias.

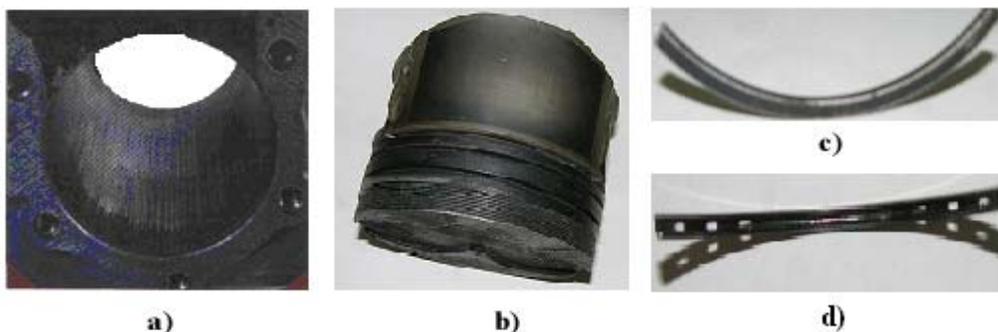


Figura 3.1. Componentes del motor desgastado. a) Camisa desgastada por abrasión; b) pistón rayado por abrasión; c) aro de fuego desgastado; d) aro de aceite desgastado.

En la zona donde tiene lugar el contacto entre el bloque y el cilindro, el ataque es más severo producto de los procesos de desgaste, de cavidades y surcos como resultado de una adhesión profunda, las rayas y surcos producidos en estos elementos pueden estar dados por partículas abrasivas que contenga el combustible o el aceite.

Otros factores que afectan el desgaste abrasivo son la temperatura, las cargas que actúan sobre la superficie de trabajo, condiciones ambientales tales como la humedad y el grado de compactación de las partículas. Se considera que todo desgaste abrasivo del material es un agrietamiento por fragilidad, como resultado de actos de deformación plástica y endurecimiento que se repiten cíclicamente.

Los sombreretes de los cojinetes de los puntos de apoyo del cigüeñal, denominados ordinariamente tapetas (Arias-Paz, 1978), pueden ser recuperados por vía del tratamiento térmico (Martínez, 1995 a y 1996 b, Pero-Sanz, 2006). La función de los mismos es la de sostener el cigüeñal siendo las piezas del MCI que más cargan soportan y que determinan su fiabilidad y duración. Las tapetas o sombreretes se fabrican desmontables y se fijan al block mediante tornillos o espárragos. Para asegurar la rigidez que demandan estos elementos se fabrican con un volumen considerable de material, macizos y con nervaduras que permiten el reforzamiento de la pieza. Su ajuste con el block se logra, en muchos motores, mediante interferencia, lo cual es la causa fundamental de que una vez que se pierde material entre las superficies de ajuste éstos quedan fuera de uso. En estos casos, lo más práctico, recomendable, económico y fiable es acudir al tratamiento térmico como una de las vías para restituirles las dimensiones originales a las piezas desgastadas; siempre y cuando no rebasen los límites permisibles. En experimentos efectuados se ha podido comprobar que se obtienen niveles de crecimiento de hasta 1,0 mm, lo cual está en función del régimen de tratamiento térmico que se aplique. Aquí, como en el caso anterior, también se logra variar sus principales propiedades mecánicas, si así se desea, en función del control que se tenga de la temperatura, el tiempo de exposición y la velocidad de enfriamiento.

### 3.3 Análisis de la composición química del pistón

Aunque muchos elementos se pueden alea con el aluminio, comparativamente pocos tienen solubilidad en estado sólido suficiente como para servir como aleantes. Solamente el Zinc y el Magnesio tienen solubilidades superiores al 10% atómico, mientras que el Cobre y el Silicio tienen solubilidades significativas. Sin embargo, varios elementos con solubilidades inferiores al 1% atómico confieren mejoras importantes en las propiedades de las aleaciones de aluminio.

Estos son metales de transición como el Cromo, Manganeso y Zirconio, que se empleaban en principio, para la formación de compuestos que controlaban el tamaño de grano de la microestructura. Con la excepción del Hidrógeno, los gases elementales no tienen solubilidad apreciable, tanto en estado sólido como en líquido. Aparte del Estaño, que es poco soluble, la máxima solubilidad en aleaciones binarias acontece a temperaturas eutécticas y peritéticas.

El aluminio puro, en condiciones de deformación en caliente, tiene un límite elástico muy bajo (7 – 11 MPa). Cuando se desea emplear materiales deformados en caliente la única forma de incrementar la resistencia es por medio del endurecimiento por solución sólida. Para conseguirlo el soluto debe cumplir los siguientes requisitos:

- Tener una apreciable solubilidad a la temperatura de normalizado.
- Mantener dicha solubilidad después de un enfriamiento lento.
- No ser eliminado por medio de la reacción con otros elementos para formar fases insolubles.

#### 3.3.1 Análisis de la composición química de la camisa

Los elementos de aleación pueden provocar cambios en la velocidad de enfriamiento del hierro gris. El silicio contribuye a la formación de ferrita y austenita. Algunos autores (Krause, 1969, Janowak, 1982) plantean que el silicio disminuye la solubilidad del carbono en la austenita y favorece la difusión del carbono, por lo que favorece la formación de grafito a partir de la descomposición de los carburos primarios. Las cantidades de silicio deben ser calculadas teniendo en cuenta el carbono total, la velocidad de enfriamiento y el espesor de las piezas.

(Maurer, 1924) propuso un diagrama donde en función de los contenidos de carbono y silicio se obtienen diferentes estructuras.

Otros elementos tienen un efecto contrario al silicio, por ejemplo el cobre, el estaño, el antimonio y el arsénico se acumulan en la interfase austenita - grafito, creando una barrera a la emigración del carbono para formar grafito (de Sy, 1959). De esta forma inhiben la grafitización. Realmente este efecto ocurre durante la transformación eutectoide, pues en la transformación eutéctica (Krause, 1969), aumentan el potencial de grafitización, el cual se puede inferir a partir del cálculo de la constante de grafitización propuesta por (Guirshovich, 1986)

El manganeso y el níquel ensanchan el campo austenítico al rebajar las temperaturas  $\alpha_T$  y  $A_1$ . La velocidad de formación de ferrita disminuye a temperaturas más bajas porque disminuye la velocidad de difusión del carbono, al bajar la temperatura. Así se asegura un nivel superior de carbono en la austenita.

### 3.4 Análisis del encapsulado de probetas

Como las muestras son pequeñas y de difícil manejo en las operaciones de desbaste y pulido, se prepararon con resina es Epoxi ROYAPOX – 5050 como se observa en la figura 3.2, esto permitió la mejor observación metalográfica y mejor toma de las muestras.

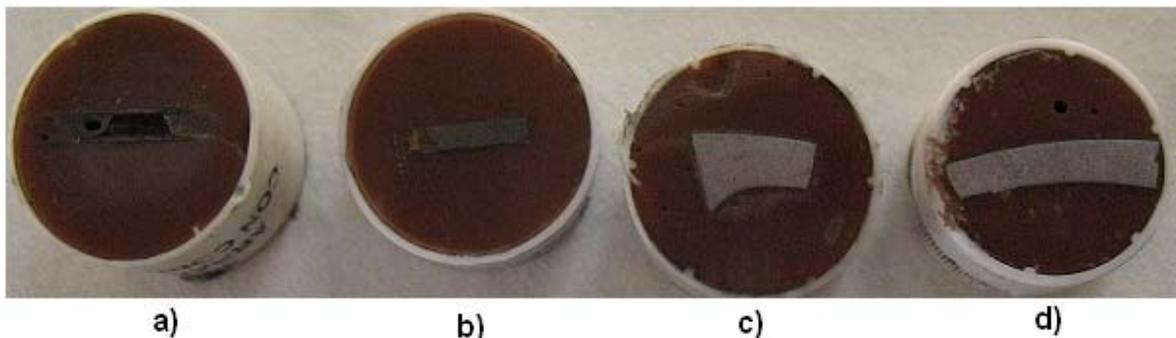


Figura 3.2. Montaje de la muestra empleando resina.

Las muestras se montaron en un recipiente plástico, las que luego se vertió la resina, la muestra (a) se corresponde con el aro de aceite, la (b) con el aro de fuego, la muestra (c) es la parte del pistón que no mantiene contacto con la camisa en el proceso de combustión y la (d) es la parte que se mantiene en contacto directo con la camisa.

### 3.4.1 Análisis de las microestructuras de los aros del motor

Se observaron las microestructuras, tomándose fundamentalmente aquellas áreas donde más incidencia se considera que tiene el desgaste, los bordes de las mismas. En la figura 3.3, se puede observar la microestructura del aro de aceite, la observación se realizó a 400 X

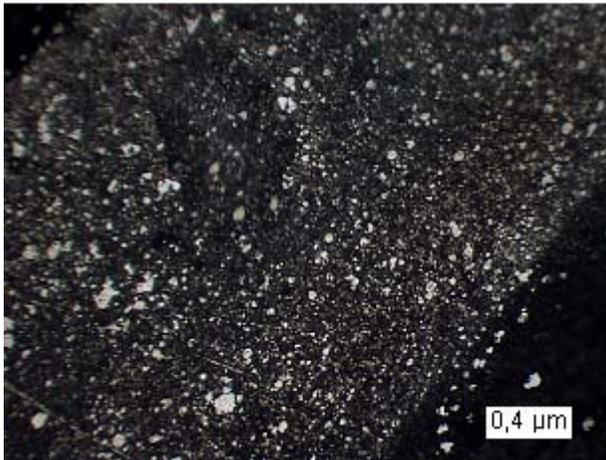


Figura 3.3. Microestructura del aro de aceite a 400 X

La muestra de la figura 3.3 se corresponde con una microestructura de Ferrita y perlita, la distorsión que presenta es causada por el intenso trabajo mecánico.

En la figura 3.4 se observa la microestructura del aro de fuego.

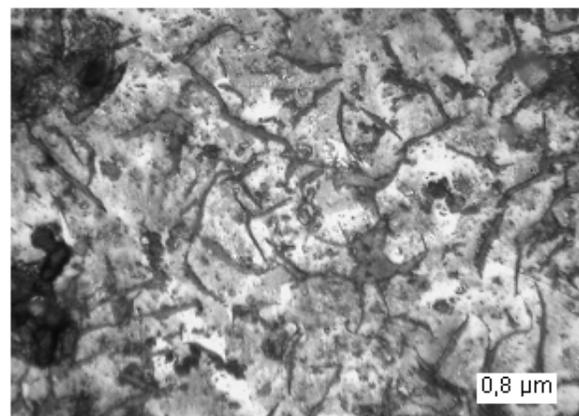
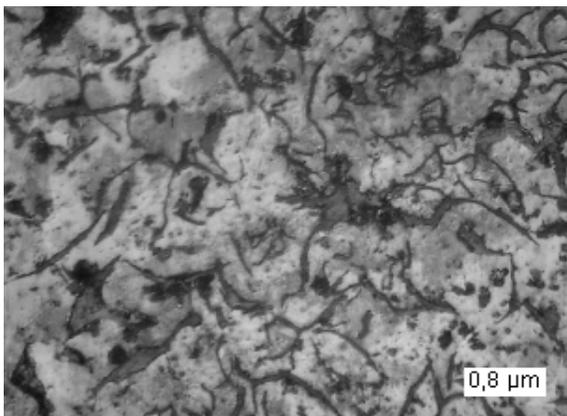


Figura 3.4. Microestructura del aro de fuego

Esta microestructura es típica de los aceros al carbono, es decir ferrita.

En las piezas normalizadas, en cuya estructura aparece perlita en algunas de sus formas (sorbita, troostita), el crecimiento ocurre como resultado del proceso de grafitización y producto de las diferencias del volumen específico de dichas

estructuras. De este modo el crecimiento tiene un doble origen: difusivo y no difusivo.

De acuerdo con la teoría de los procesos difusivos del carbono, la presencia de martensita en la estructura indica mayores crecimientos, ya que debido a la alta velocidad de enfriamiento, el tiempo necesario para que los átomos de carbono escapen de la red cristalina es insuficiente, produciéndose una deformación de los retículos y sumariamente, aparecerá un incremento del volumen del material.

Los aros son elementos metálicos que cumplen determinadas funciones, las cuales garantizan el funcionamiento eficiente del MCI estos son:

1. Hermetizado de la cámara de combustión (estanqueidad).
2. Evacuación de calor desde el pistón hacia las paredes del cilindro.
3. Regulación del consumo de aceite y engrase del sistema.

Estos sufren desgaste producto a las condiciones rigurosas en que trabajan. Como quiera que el desgaste actúe por todas las caras del aro, el espesor radial es el que sufre pérdidas importantes (CIME, 1993). La propia fuerza elástica del segmento lo hace ceder hacia las paredes del cilindro y en la medida que se pierde material en la superficie perimetral, esto se refleja en el ensanchamiento de la holgura térmica. Si la holgura supera los límites establecidos, entonces aparecen fugas normales de compresión y de gases de la combustión que se escapan hacia el cárter del motor.

### **3.4.2 Análisis de la microestructura de la camisa**

Cuando los esfuerzos de tracción son mínimos, como ocurre, por ejemplo, en la compresión, las propiedades de la fundición resultan ser suficientemente altas y prácticamente muy próximas a las del acero de la misma composición y estructura que la base metálica de la fundición. Por esto el límite de rotura por compresión y la dureza de la fundición dependen principalmente de la estructura de su base metálica y difieren poco de las propiedades correspondientes del acero.

Las muestras de las figuras 3.5 y 3.6 se corresponden con la microestructuras de la camisa. La figura 3.3 es una muestra sin atacar y la muestra 3.4 es una muestra atacada.

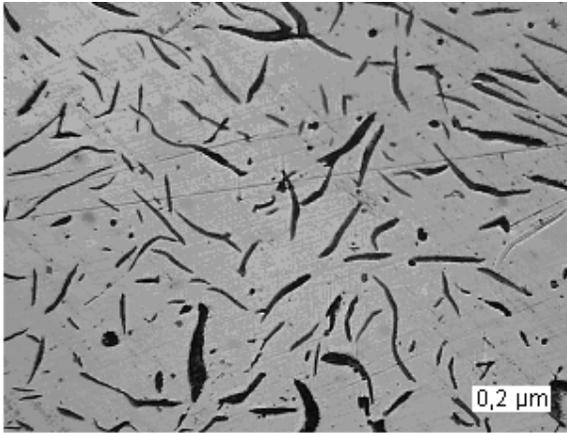


Figura 3.5. Grafito laminar

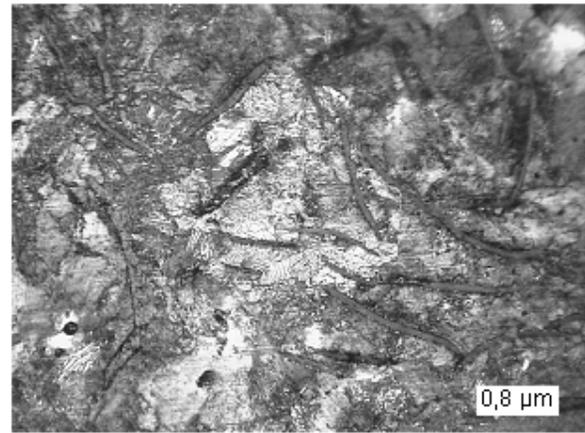


Figura 3.6. Perlita

En 3.5 grafito laminar, en este caso el grafito aparece tomando la forma de vetas pequeñas, semejando gusanillos. Esta forma del grafito se llama laminar y el tipo de fundición, en la práctica, se denomina fundición gris ordinaria.

En 3.6 se observa una estructura de nódulos y grafito laminar rodeado de ferrita con láminas intercelulares. Estructura ferrítico - perlítica. Esta fundición se llama de alta calidad y tiene estructura de perlita con pequeñas inclusiones laminares de grafito. En la microestructura de la fundición gris conviene distinguir la base metálica y las inclusiones de grafito.

Por la estructura de la base metálica, esta fundición gris se clasifica en:

Fundición gris ferrito - perlítica. La estructura de la base metálica de esta fundición está formada por ferrita + perlita e inclusiones de grafito. En esta fundición la cantidad de carbono ligado es menor que el 0,8% de C;

Las inclusiones de grafito finamente desmenuzadas le dan a la fundición buenas cualidades mecánicas: tiene a la vez la gran dureza y resistencia al desgaste debido a la estructura perlítica de la matriz metálica.

El grafito, en comparación con el acero, tiene propiedades mecánicas bajas, por lo que las inclusiones de grafito pueden considerarse en primera aproximación como simples huecos o grietas. De aquí se deduce que la fundición puede conceptuarse como un acero lleno de una gran cantidad de huecos y grietas. Por las propiedades mecánicas, la fundición se caracteriza por tener una baja resistencia al desarrollo de las grietas.

Cuando la temperatura del proceso es relativamente baja (por debajo de la transformación eutectoide), se crean determinadas condiciones para que se produzca el crecimiento, pues a 500°-600°C se inicia el desgarramiento de la cementita. Si embargo, en algunos tipos de hierro gris aleado, la presencia de algunos elementos de aleación estabilizan la austenita a altas temperaturas, lo cual conlleva a que el crecimiento obtenido sea mínimo ya que esta es la de menor volumen específico. El tiempo de exposición actúa de forma diferente, según se aplique el temple (menor crecimiento) o normalizado (mayor crecimiento). Ello responde a que la descomposición de carburos es tanto mayor cuanto mayor sea el tiempo de permanencia a altas temperaturas y, por tanto, mayor tiempo estarán creadas las condiciones para que se rompa esa fase inestable; de ahí que se facilite el proceso de grafitización (Rodríguez Pérez, 1983) y también su crecimiento.

### **3.4.3 Análisis de la microestructura del pistón**

La Asociación de Aluminio ha adoptado un sistema de identificación de las aleaciones para fundición, que consta de cuatro dígitos donde el primer dígito indica el elemento aleante mayoritario, los siguientes dos dígitos identifican a la aleación de aluminio o indican el grado de pureza en ese elemento; y el último dígito se separa de los demás mediante un punto, indica la forma del producto; es decir, si es bajo la forma de una pieza vaciada o si es en lingotes. Las modificaciones a la aleación original o en los límites de impurezas están indicadas por letras que se colocan antes de la designación numérica. La letra "X" se usa para aleaciones experimentales.

En correspondencia con la tabla. 2.2 del capítulo II, los principales elementos aleantes usados en las aleaciones comerciales son: cobre, magnesio, silicio, cinc y manganeso; como elementos aleantes en menores proporciones se incluye cromo, titanio, plomo, bismuto, níquel, boro, vanadio, circonio y berilio, según la siguiente denominación el pistón con numeración 4330 se corresponde con una aleación del tipo vaciada. La figura 3.7, se corresponde con la microestructura del pistón.

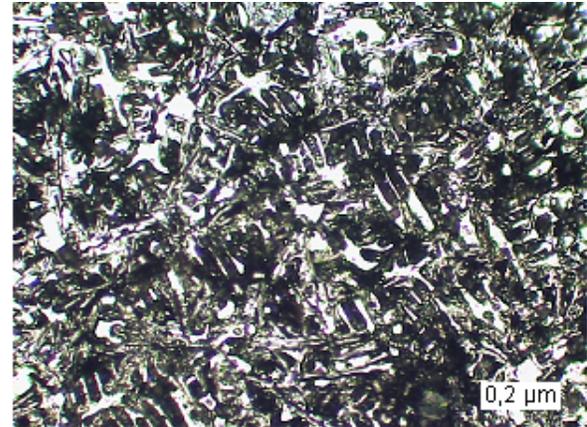
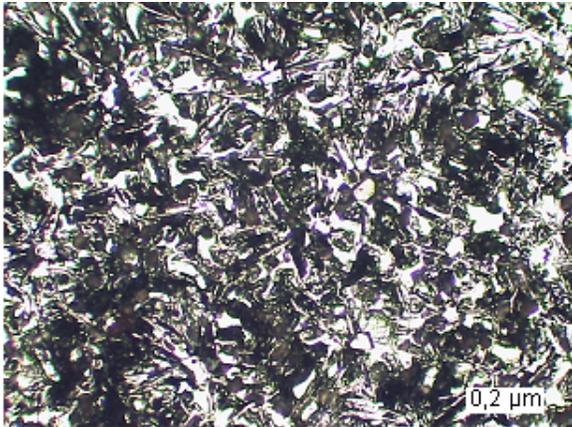


Figura 3.7a Microestructura del pistón.

Figura 3.7b. Microestructura del pistón

La microestructura 3.7a, muestra una fase  $\alpha$ -Al, segregación interdendrítica que contiene una placa de silicio rodeada por un halo de fase  $\alpha$ -aluminio que está encapsulada por eutéctico irregular Al-Si.

En contraste, en la muestra 3.7b, de la aleación base Al-Si se observó un grano un poco más fino, fenómeno que se debió al efecto del silicio en la aleación, el cual incrementó la fase eutéctica de este elemento, ocasionando una disminución en el tamaño de grano dendrítico de la fase primaria  $\alpha$ -Al, esto significa que la nucleación y crecimiento del eutéctico de silicio, en este caso, se dan en las puntas de las dendritas de  $\alpha$ -Al. En las aleaciones aluminio-silicio eutécticas se reduce el tamaño de las celdas eutécticas.

### 3.5 Momento del motor

En los automóviles es necesario disponer de un conjunto de mecanismos que transmitan el movimiento proporcionado por el motor hasta las partes móviles (ruedas, ejes). Los automóviles incorporan un sistema de embrague y una caja de cambios para transmitir el movimiento proporcionado por el motor. El sistema de embrague está formado por los siguientes elementos:

- La palanca de cambio, que permite seleccionar la marcha o velocidad del automóvil. La selección de diferentes marchas hace posible que el vehículo alcance velocidades elevadas sin que el motor gire a más revoluciones de las debidas.

- Para controlar el cambio de velocidades, los coches disponen de un pedal, el pedal del embrague, que, cuando se pisa, desconecta el motor de la caja de cambios.

1. Mientras el embrague está pisado, el motor no proporciona fuerza; si se pisa el acelerador, no se notará un aumento de la velocidad.

2. Cuando el embrague se suelta, el motor vuelve a impulsar al automóvil.

Una serie de engranajes, que transmiten el movimiento desde el motor hasta las ruedas. Las cajas de cambios modernas tienen diferentes sistemas de engranajes (normalmente seis: cinco para las diferentes velocidades y uno para la marcha atrás).

El momento del motor es la fuerza que entrega el motor a la entrada del embrague y que sale a la entrada de la caja por la ecuación 2.1

$$M_m = \frac{70000W}{366} = 191,25 N / m$$

### 3.5.1 Potencia en el embrague

Tiene la misión de acoplar y desacoplar, a voluntad del conductor, el giro del motor de la caja de cambios. Debe transmitir el movimiento de una forma suave y progresiva, sin que se produzcan tirones que puedan producir roturas en algunos elementos del sistema de transmisión.

Se encuentra situado entre el volante de inercia (volante motor) y la caja de velocidades. Dentro de la gran variedad de embragues existentes

Las pérdidas calculadas por la ecuación 2.2, sustituyendo los valores:

$$N_{emb} = 70000 \cdot 0,999 = 69930W$$

Esta disminución significa que el motor pierde al entregar al embrague 0,1kW

### 3.5.2 Análisis del Momento del embrague

Aprovechando la potencia del embrague tendremos que el momento según la ecuación 2.3

$$M_{emb} = \frac{69930}{366} = 191,66 m$$

### 3.5.3 Potencia en la barra de transmisión

Los dos ejes del vehículo son motrices. Los dos puentes o ejes motrices llevan un diferencial cada uno. Con esta transmisión pueden, a voluntad del conductor, enviar el movimiento a los dos puentes o solamente al trasero.

Sustituyendo en la ecuación 2.4 tenemos que.

$$N_{bt} = 67832 \cdot 0,97 = 65797.04W$$

### 3.5.4. Momento en la barra de transmisión

Transmite el movimiento de la caja de velocidades al conjunto par cónico-diferencial. El mecanismo par-cónico diferencial: mantiene constante la suma de las velocidades que llevan las ruedas motrices antes de tomar la curva. Desmultiplica constantemente las vueltas del árbol de transmisión en las ruedas motrices y convierte el giro longitudinal de éste, en giro transversal en las ruedas.

Los valores calculados según la ecuación 2.5

$$M_{bt1} = 778,66 \text{ N/m}$$

$$M_{bt2} = 424,5 \text{ N/m}$$

$$M_{bt3} = 271,3 \text{ N/m}$$

$$M_{bt4} = 179,8 \text{ N/m}$$

$$M_{bt5} = 148,7 \text{ N/m}$$

### 3.5.5 Potencia en la salida del diferencial

Si los ejes de las ruedas traseras (propulsión trasera), estuvieran unidos directamente a la corona (del grupo piñón-corona), necesariamente tendrían que dar ambas el mismo número de vueltas. Al desplazarse el vehículo en línea recta, ambas ruedas motrices recorren la misma distancia a la misma velocidad y en el mismo tiempo.

Sustituyendo en la ecuación 2.6

$$N_d = 65797.04 \cdot 0,97 = 63823W$$

### 3.5.6. Momento que desarrolla el diferencial

Para las velocidades intermedias, 1ª, 2ª y 3ª, al dirigir los bujes desplazables hacia los piñones correspondientes a dichas velocidades del árbol secundario.

Según ecuación 2.7

$$M_1 = \frac{63823}{42,25} = 1510,6N / m$$

$$M_2 = \frac{63823}{77,25} = 826,18N / m$$

$$M_3 = \frac{63823}{121,25} = 526,4N / m$$

$$M_4 = \frac{63823}{183} = 348,75N / m$$

$$M_5 = \frac{63823}{221,3} = 288,4N / m$$

$$M_{ret} = \frac{63823}{44,2} = 1443,97N / m$$

### 3.5.7 Análisis del rendimiento de la transmisión

El mecanismo del diferencial tiene un gran inconveniente: si una rueda motriz sufre una gran pérdida de adherencia, todo el movimiento y la fuerza motriz se va a través de la rueda que patina no avanzando el vehículo o no iniciando la marcha. Si todas las ruedas del eje motriz tienden a embalsarse, se reduce automáticamente la potencia del motor con independencia de la posición del acelerador consiguiendo de esta forma, que las ruedas puedan seguir transmitiendo las fuerzas de tracción a la calzada. El resultado del rendimiento de la transmisión calculado por la ecuación 2.8 es:

$$\eta_{tt} = \eta_{emb} \cdot \eta_{cc} \cdot \eta_{ct} \cdot \eta_{dif} \cdot \eta_r = 0,88$$

La disposición de los elementos del sistema de transmisión dependerá de la situación relativa que exista entre el motor y las ruedas motrices. Este sistema permite realizar un proceso de acoplamiento muy progresivo, debido a que la presión ejercida sobre el disco está en función del régimen de revoluciones del motor

### 3.6 Valoración Económica

La situación económica y financiera de la Empresa TRASVAL no permite tener un aseguramiento de piezas de repuesto que permita la planificación del desarrollo de reparaciones del transporte. En la toma de decisión para la recuperación del Motor Hyundai, se evaluaron dos variantes.

Primera Variante: compra de un motor nuevo, se adjunta el costo en (tabla 3.1)

Tabla 3.1. Costo del motor nuevo.

Componentes	Cantidad	Precio	Costo
Motor completo	1	8525,99	8525,99
Motor, conjunto, diesel,3/4	1	3642,98	3685,93

En la tabla 3.2 se relacionan los componentes del motor.

Tabla 3.2. Componentes del motor.

Componentes	Cantidad	Precio	Costo
Rodamiento, Juego, Biela	1	53,49	53,49
Pistón y pasadores, Juego.	1	103,69	103,69
Bomba de aceite	1	539,95	539,95
Cigüeñal, Norma	1	1078,55	1078,55
Junta, juego, motor	1	123,75	123,75
motor de arranque	1	1250	1250
Camisa	4	128	512
Aceite Ultramax 25W50	7	3,15	24,5
Total en \$			3685,93

Como se observa al aplicar la primera variante que es la compra de un motor conjunto el costo asciende a \$ 3685, 93, inversión que en estos momentos TRASVAL no puede realizar por la situación económica del país.

Por lo que se recurre a la segunda variante a la recuperación del motor del HYUNDAI

#### 3.6.1 Gastos de materiales, energía y salario para la reparación

Al realizar un proceso de recuperación se debe tener presente que esta debe ser más económica que la compra, por lo que se debe analizar minuciosamente todos aquellos aspectos técnicos económicos que intervendrán en el proceso. Al realizar la valoración técnica económica para la recuperación del motor se tuvo en cuenta los elementos que aparecen reflejados en la tabla 3.3

Tabla 3.3. Gastos de materiales, energía y salario para la reparación.

<b>Gastos</b>	<b>Gastos (CUP)</b>
Energía	111,00
Fabricación de juego de aros (30 aros)	92,23
<b>Salario</b>	
Soldador "A"	37,70
Tornero "B"	8,75
Mecánico "A"	121,35
Mecánico "B"	77,56
Ayudante Mecánico	56,28
Seguridad social	7,34
Gastos administrativos y de proyección	8,75
<b>TOTAL</b>	<b>520,96</b>

El monto total de la recuperación ascendió a \$ 520, 96, que con relación a la compra del motor se ahorra un total de \$ 3164, 97

### **3.7 Valoración del impacto medio ambiental**

El desarrollo tecnológico de los países tiene como consecuencia, debido a la quema de los combustibles fósiles, el incremento de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, lo que repercute en el deterioro de la calidad de vida que percibe hoy en día la población, lo que constituye uno de los principales problemas ambientales y uno de los retos que debe resolver la sociedad.

El transporte, por su naturaleza, se relaciona prácticamente con todos los sectores de la economía, moviliza los insumos y materias primas requeridas para la producción de bienes hasta los centros de consumo y actúa como un importante demandante de los productos y servicios de diversas ramas económicas.

Beneficia la transformación de las relaciones de trabajo y grupos sociales al incorporar productos y experiencias disímiles en aquellas localidades que se enlazan a las redes de transporte, e influye en la ubicación de los centros urbanos y sus actividades, medios de vida, conformación de los espacios urbanos, modificación de los usos del suelo y en las formas de comunicación e identificación social.

El crecimiento demográfico en los centros urbanos en los últimos cincuenta años ha incrementado la demanda del transporte masivo, aunque la oferta no ha

crecido en la misma proporción. A partir del 2005 se aprecia un crecimiento en el transporte interprovincial en Cuba y más recientemente se trabaja por revertir la situación en el transporte urbano colectivo.

El derecho a la movilidad es inherente al modo de vida de la sociedad moderna, pero al mismo tiempo la infraestructura del transporte y el propio movimiento de vehículos provocan impactos negativos en el medio ambiente, en particular la contaminación del aire, agua y suelos; el efecto invernadero y afectaciones a la biota y a la calidad de vida por los entornos ruidosos, accidentes, y la presencia de elementos ajenos al paisaje.

El transporte en Cuba constituye una de las fuentes de contaminación atmosférica más distintivas debido a su deplorable estado técnico, deficiencias en el mantenimiento preventivo y correctivo, y el uso de combustibles fósiles de baja calidad.

La difícil situación económica de los últimos años ha gravitado sobre la explotación y mejora de los medios de transporte, y ha limitado las acciones necesarias para la minimización de sus impactos ambientales. No obstante, en tanto la capacidad para aprender y extraer experiencias de las dificultades es también consustancial a nuestro proceso, la idea de la sostenibilidad lejos de debilitarse se ha reforzado porque hemos adquirido mayor conciencia y nuevas habilidades para desarrollar instrumentos y acciones que permitan alcanzar la sostenibilidad del transporte.

El enfoque para el tratamiento de las emisiones debe efectuarse a partir de considerar de forma simultánea tres variables interdependientes: calidad del combustible utilizado, tecnología vehicular y condiciones de uso de los vehículos, lo cual significa que una variación en cualquier de estos factores, incide de manera directa en la modificación del nivel de las emisiones.

Según reportes y estudios realizados, para transportes con igual tecnología y condiciones de utilización, la máxima disminución de emisiones que se puede lograr modificando las características del combustible está en el orden de 20 a 30% lo que se traduce en el empleo de gasolinas con bajo contenido de azufre

(S), olefinas, aromáticos y en el caso del diésel con alto valor de cetano y también bajo contenido de S, entre otras.

En cuanto a la tecnología vehicular, estas van dirigidas fundamentalmente a cambios en el diseño del motor, condiciones de combustión, así como la incorporación de tecnologías de postratamiento y el control de pérdidas evaporativas. Lo anterior se traduce en la aplicación, por ejemplo, de la inyección electrónica del combustible, catalizador de oxidación, cámara de combustión de quemado rápido y recirculación de los gases de escape.

Por su parte, una adecuada gestión del tránsito en las ciudades, puede reducir de cinco a diez veces las emisiones vehiculares. De ahí que el crecimiento de la motorización requiere ir acompañado de una apropiada actividad de tránsito e infraestructura vial.

Actualmente, los países y regiones geográficas con mayor desarrollo y los que están en vías de ello, establecen normativas para el control de las emisiones de gases de los vehículos automotores, que abarcan desde los aspectos relacionados con el diseño y construcción hasta los vinculados con la explotación de los mismos.

Está demostrado que el problema de la contaminación ambiental crece cada día, con un efecto directo sobre la salud humana.

En trabajos anteriormente realizados por el Centro de Investigación y Desarrollo del Transporte (CETRA), relacionados con la influencia del transporte y el medio ambiente, la economía energética en el transporte e Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Fuentes Móviles, donde a partir de los resultados alcanzados, relacionados con el desgaste de los equipos, su estado técnico y la experiencia de los autores en la temática, se determinaron valores en las emisiones de gases producidos por los vehículos, superiores a los reportados por los fabricantes.

Tales resultados condujeron a la afectación de los factores de emisión dado por la metodología europea: en 2,0 para el caso del CO; 0,89 para el CO<sub>2</sub>, y 2,3 en los

HC (CH<sub>4</sub> y COVDM), valores que posteriormente son utilizados en los inventarios de GEI para fuentes móviles.

Como se aprecia, en Cuba desde 1997 se establecen diagnósticos para el control de las emisiones de gases de escape en los vehículos con motor de gasolina y diésel. En este momento, atendiendo al tiempo de vigencia de la actual resolución, consideraciones asumidas en su determinación y dado los criterios que suponen muy holgados los límites de emisión actuales, se procede a la evaluación y elaboración de nuevos valores de límites máximos que permita una mejoría en la economía de combustible y la preservación del medio ambiente.

### **3.7.1 Fuentes móviles. Contaminación y control en la flota vehicular en Cuba**

Desde finales de la última década del siglo pasado, como consecuencia de un mejoramiento de las condiciones económicas del país, se observa un incremento de la circulación vehicular por las principales ciudades, fundamentalmente en la capital, aspecto que conllevó a la Comisión No. 11 del Programa de Apoyo a la Ciudad de La Habana, a valorar para el caso del humo en específico, de excesivo, aunque hay otros gases incoloros e incluso inodoros que tienen altos niveles de toxicidad, de forma tal, que incluso los vehículos cuyos gases de escape no son visibles, pueden estar emitiendo a la atmósfera cantidades excesivas de contaminantes.

Internacionalmente constituye una práctica la elaboración de normas de emisión de forma general, que abarquen la totalidad de los vehículos según las categorías de ligeros, medios y pesados, sin hacer diferencia sobre la base del desarrollo tecnológico en la construcción de los equipos. Esta situación obliga a los fabricantes de vehículos a acometer periódicamente costosos programas de modernización que permita la eliminación de aquellos equipos con atraso tecnológico y desgaste técnico.

En cuanto a Cuba, el parque automotor a pesar de que se está modernizando, se caracteriza por proceder de diferentes zonas geográficas y por tener un variado conjunto de técnicas de fabricación, lo que unido al envejecimiento técnico ocasionado por el prolongado período de explotación, posee tecnologías de baja

eficiencia energética que promueve altos niveles de emisiones de gases de combustión.

Esta situación impide la elaboración de regulaciones y/o normas de emisión con carácter general, pues mientras las empresas transportistas estatales y propietarios particulares que dispongan de vehículos modernos apenas tienen que realizar esfuerzos para cumplirlas, los que poseen medios con tecnologías atrasadas no podrán lograrlo, a no ser mediante el manejo de determinadas inversiones que no siempre el país está en condiciones de enfrentar.

Debido a lo anterior es que se hace necesaria la elaboración de regulaciones y/o normas de emisión que, además de considerar las categorías del vehículo atendiendo al peso y potencia, consideren las particularidades tecnológicas y desgastes técnicos de estos, así como las posibilidades económicas del país para alcanzar determinados niveles de eficiencia energética y ambiental.

### **3.7.2 Bases para la elaboración del sistema de regulación de las emisiones**

En Cuba el control de las emisiones de gases de los vehículos automotores se realiza en los Centros de Revisión Técnica Automotor (CRTA), pertenecientes al Ministerio del Transporte (MITRANS). Estas Instalaciones son creadas para la verificación del estado técnico de los vehículos en parámetros relacionados con la suspensión, freno, alineación de las ruedas, luces y emisiones de gases, con el objetivo de lograr una mayor seguridad en la circulación vehicular, propiciar el ahorro de combustible y regular la contaminación atmosférica que produce este modo de transporte.

Estos centros están ubicados en las provincias de Ciudad de La Habana, Matanzas, Villa Clara, Camagüey, Holguín y Santiago de Cuba, para la atención fundamentalmente del parque vehicular estatal y los privados que cuentan con licencia operativa del transporte. También existen los llamados «centros móviles», como el que presta servicio en la provincia de Granma, la cual no posee un centro de revisión basificado en el territorio.

Relacionado con la forma de medir las emisiones de gases, las técnicas más actuales se realizan en pruebas dinámicas, o sea, con el vehículo en movimiento,

a diferencia de la que se ejecuta en nuestro país, donde los valores de emisión son obtenidos mediante pruebas estáticas del vehículo en los CRTA. Debido a ello, las regulaciones europeas, en común con las de Estados Unidos y Japón, están definidas en términos de relación de masa de contaminante emitidos por unidad de distancia recorrida o algún múltiplo de esta, por ejemplo g/km. Mientras que para nuestro caso, los indicadores que se utilizan son en tanto por ciento (%) y en partes por millón (ppm) del volumen de los gases.

De esta manera, se miden los elementos HC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> mediante el analizador de gases 8690 CE de la firma Muller Bem.

La escala con que se miden los valores de la composición de la mezcla gaseosa es volumétrica, siendo la resolución para cada componente la siguiente [SB-NOT-7700T1ES]:

CO: De 0 a 10% en volumen, error:  $\pm 0,01\%$  Vol.

CO<sub>2</sub>: De 0 a 20% en volumen, error:  $\pm 0,1\%$  Vol.

HC: De 0 a 10 000 ppm en volumen, error:  $\pm 1$  ppm

O<sub>2</sub>: De 0 a 25% en volumen, error: 0,01% Vol.

Los datos de cada medición se analizan automáticamente y se comparan contra los valores topes definidos por la Resolución 172 - 01 del MITRANS, que constituye el instrumento normativo vigente.

### **3.7.3 Determinación de las emisiones máximas admisibles según las características de transporte automotor**

Para los vehículos con motor diésel, a diferencia de lo estipulado en la Resolución 172-01 del MITRANS, se hace una nueva división entre los ligeros y los pesados, que posibilita realizar una mayor exigencia hacia los primeros, reduciéndose el valor permisible de la opacidad en 14, 13 y 12% para los vehículos construidos antes de 1980, entre 1981 y 1998 y después de 1999, respectivamente, en relación con la regulación vigente. En el caso de los vehículos pesados la opacidad se disminuye en 6, 5 y 4% para los fabricados antes de 1980, entre 1981 y 1998 y después de 1999, respectivamente.

Se ha considerado que a pesar de que para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero de un país se separa el CH<sub>4</sub> del resto de los HC, denominándolos como compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), realmente para emisiones de los vehículos no es necesario realizar esta diferenciación, y generalmente los equipos disponibles los miden como un todo. Téngase además en cuenta que las emisiones de HC (CH<sub>4</sub> incluido) provienen en su mayoría de la evaporación durante los distintos procesos de manipulación del combustible, que de los propios inquemados que emigran por el escape.

Con respecto al azufre (S) contenido en el combustible, una parte queda medida al determinar la opacidad, es decir, la fracción que escapa como sulfatos y forma parte del material particulado, y otra que constituye los SO<sub>x</sub>, que si bien es cierto que tienen incidencia en la formación de la llamada lluvia ácida, no son gases de efecto invernadero (GEI). Además, su emisión depende en lo fundamental del azufre que contiene el combustible y no del estado de mantenimiento del vehículo, del sistema de explotación, del conductor u otras.

En el caso de los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) no se cuenta con el equipamiento necesario para ello y por tanto este contaminante nunca se ha medido.

Para estipular los valores de NO<sub>x</sub> máximos admisibles, en la propuesta de norma que se elabore, se tomará en consideración lo planteado en las normas internacionales y la valoración por criterio de experto (investigadores y especialistas de CETRA y MITRANS).

### 3.8 Conclusiones del capítulo III

- ❖ Se realizó el análisis microestructural de cada uno de los elementos desgastados que componen el sistema biela – manivela del motor Hyundai (camisa, aros de aceite y de fuego, pistón)
- ❖ Se estableció la metodología de cálculo para determinar la relación de transmisión desde el motor hasta el rendimiento, estando en los parámetros establecidos por el diseño de fabricación.
- ❖ Se estableció el análisis económico teniendo en cuenta la recuperación y compra de un motor, estableciendo cual de las dos variantes era más factible para la empresa.
- ❖ A pesar de las ventajas que representa el transporte para la transportación de personas y otras actividades, presenta como desventaja ambiental la emisión de gases contaminantes de la atmósfera.

## Conclusiones Generales

4. Al realizar el diagnóstico al motor del Hyundai, se pudo comprobar que las piezas que componen el mecanismo del motor están desgastadas y que las causas detectadas invalidan el funcionamiento del mismo, por lo que requiere la sustitución total de sus agregados.
  - ❖ Al determinar el comportamiento microestructural de los elementos que componen el sistema biela manivela (camisa, pistón, aro de aceite y aro de fuego) se puede plantear que el desgaste en los mismos no ocurre por una mala selección de los mismos, puede estar dado por dos causas:
    1. No aplicar el Mantenimiento Preventivo Planificado según kilometraje recorrido.
    2. Partículas abrasivas dentro del combustible o el aceite que se le suministra al automóvil.
  - ❖ Al analizar las variantes económicas, se pudo determinar que: la compra del mismo asciende a \$ 3685,93 y la recuperación \$ 520,96, para un ahorro de \$ 3164,97.
5. Los vehículos con motor diésel inciden negativamente en el medio ambiente, los mismos provocan grandes emisiones de azufre (S), nitrógeno (NOx), CO<sub>2</sub>.



**Recomendaciones.**

6. Proponer a la Empresa TRASVAL realice análisis en los combustibles, petróleo y aceite que se le suministra al transporte, lo cual puede ser causa del desgaste en los elementos del motor.
7. Establecer en los equipos automóbiles el sistema de MPP asignado a cada uno de los transporte según el kilometraje recorrido.



## Bibliografías

1. Alonso, J. M. Electromecánica de Vehículos: Motores. 4ª Edición, Madrid, España, Paraninfo, 1999.
2. Allen, W. A. Conozca su automóvil, México 1965.
3. Ariaspaz, M. Manual de automóviles, 34 ed. Madrid 1999.
4. Bernard Challen and Rodica Baranescu, Diesel Engine Reference Book, Second Edition, SAE Intl. Pennsylvania, USA, 1999.
5. Casado, E y García J, J. Fundamentos Tecnológicos del Automóvil. Madrid, España, Thomson/Paraninfo, 2002.
6. Castro. V .M. El motor diesel en el automóvil ediciones Ceac Perú, 164 - 08020 Barcelona – España, 1997
7. Cendrowska, Teresa. ASTM – Una visión general. Extraído el 5 de Marzo, 2004, de <http://www.conacyt.gob.sv/ASTMVisionGeneralRevESCyT-07-10-2002.doc>.
8. Chudakov, D. A. Fundamentos de la teoría y el cálculo de tractores y automóviles. La Habana: Editorial Pueblo y Educación. 1989.
9. Gómez, Acebo. Tomás. *Tema 11- mezclas reactivas y combustión*. Extraído el 15 de Febrero, 2004, de <http://www.tecnun.es/asignaturas/termo/Temas/Tema11-Combustion.pdf>
10. Giocosa, Darte, Motores endotérmicos, 1ª Reimpresión. España, Omega, 2000
11. Gurevich, A. & Sorokin, E. Tractores y automóviles tomo II. La Habana: Editorial Pueblo y Educación. 1989.
12. Gruzleski J. E. and B. M. Closset. The Treatment of Liquid Aluminum-Silicon Alloys, AFS, 1990.
13. Guirshovich, N. G. Clasificación y propiedades del hierro en lingotes. L. Construcción de Maquinarias, 1966.p 562
14. Janowak, J.F. Gundlach, R. B. Fundiciones Grises Aleadas (y2) Fundición Año XXXIII-segunda etapa- mayo-junio, 1987
15. Jóvaj, M. S. Motores de Automóviles. Moscú: Editorial Mir. 1987.
16. Jóvaj, M. S. & Máslov, G.S. Motores de Automóviles (1 reimp). La Habana: Editorial Pueblo y Educación. 1987.



17. Jiménez, A.R.O. Eficiencia de los portadores energéticos en motores de combustión interna de alta potencia en la Central Diesel Eléctrica Cayo Coco. Memoria para optar al Título de Ingeniero Mecanizador de la Producción Agropecuaria. Universidad de Ciego de Ávila. Ciego de Ávila. 2003.
18. Krause, D. E. Gray Iron- A Unique Engineering Material. ASTM, Special Technical Publications 455, Philadelphia, 1969 pp 3 – 28.
19. Martínez Pérez, F. Tratamiento México: Editorial Limusa, 1995. 458p.
20. Martínez Pérez. La Tribología, Ciencia y Técnica para el Mantenimiento. México: Editorial Limusa, 1996. 356p.
21. Motores Diesel General Motors. Disponible en: [www. TheDieselPage.com](http://www.TheDieselPage.com). [Consulta 3 de Enero 2009]
22. Nichols W. G. Inc. Auto Service Manual 2003, Automotive Service 1999 - 2003, Chilton's 9356. USA, 2002.
23. Pálmer, M. D, Tesis en opción al título de Máster en Mecanización de la Producción Agropecuaria. Camaguey, 2006.
24. Pero-Sanz, J.A. Ciencia de los materiales: metalurgia física: estructura y propiedades. España: Editorial DUSSAT, 2006. 502p.
25. Quintero. O.S. La Metalografía de Aleaciones Comerciales Aluminio-Silicio, Trabajo de Ascenso a Profesor Titular, Universidad Simón Bolívar, 1991.
26. Rodríguez. P.H. Consideraciones teórico prácticas acerca de la soldadura de los aceros al carbono. [Seriada en línea] 2006; 12(3):2 <http://www.ciencias.holguin.cu/2006/Septiembre/articulos/ART12.htm> [Consultado: 10 feb. 2008].
27. Rodríguez. P.H. Metalurgia de Soldadura. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1983. 613p.
28. Sy, A de. Copper in cast iron. Principal Considerations. AFS Transactions. Vol.67. pp321-328, 1959.
29. Widman R. La Rectificación de Motores de Combustión Interna, 2008.
30. Vsórov, B.A. Manual de motores Diesel para tractores. Moscú: Editorial Mir. 1986.

## ANEXO I

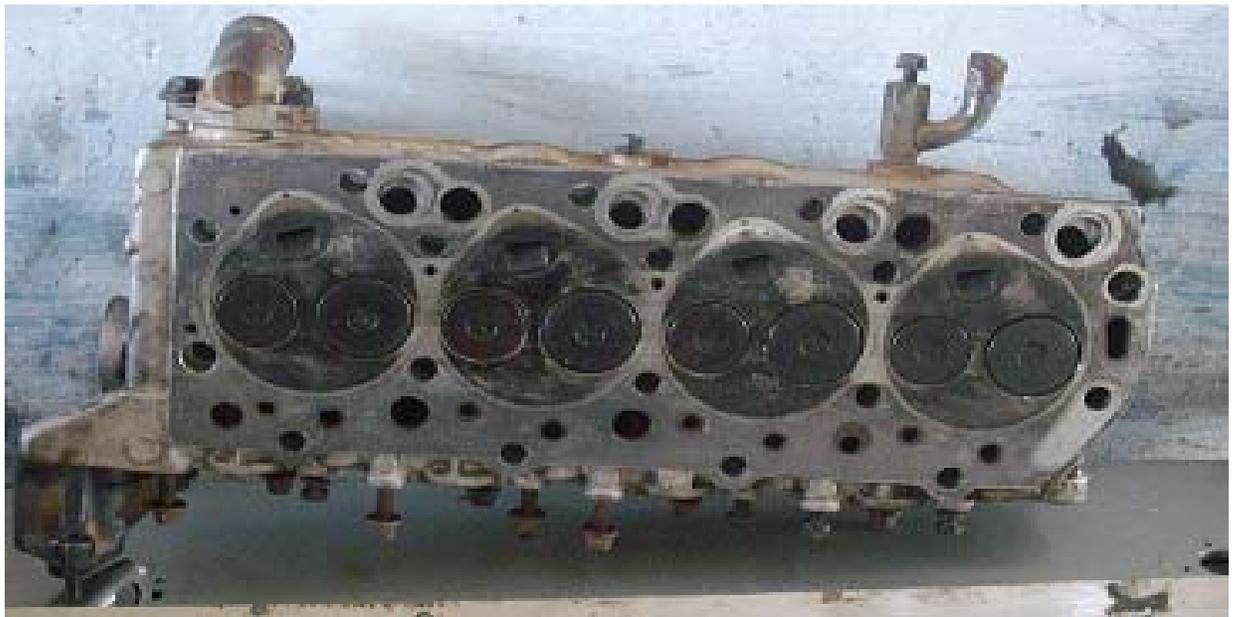


Figura 1. Motor del automóvil Hyundai