

Informe N°2: Laboratorio de Máquinas

Desarme y medidas de componentes de un motor
de combustión interna

Autor: Vicente López Baeza

Profesores: Cristóbal Galleguillos - Tomás Herrera

Curso: ICM 557

Fecha: 11 de septiembre, 2020

Escuela de Ingeniería Mecánica, PUCV

Resumen

En el siguiente trabajo se investigan dos tipos de motor de combustión interna, encendido por compresión y por chispa. Se establecen las diferencias entre sí, las cuales radican en el ciclo teórico que los rige, generando discrepancias en la relación de compresión, su sistema de inyección y la forma de lograr la combustión. Esto hace de los motores Diesel máquinas de mayor envergadura e ideales para aplicaciones de alto torque a bajas velocidades de giro, mientras que, el motor Otto, es una máquina liviana y compacta con la capacidad de alcanzar altas velocidades.

Estas máquinas tienen gran autonomía y una excelente relación de potencia/par, sin embargo, los altos costos de mantenimiento y los problemas medioambientales que generan, hace que sean una opción que lentamente pierde popularidad, a medida que otras tecnologías surgen como formas más limpias de cumplir las mismas funciones.

Se repasan las principales partes del motor de combustión interna, entre las cuales destacan el pistón junto a sus anillos, fundamentales para lograr un óptimo aprovechamiento de la energía proveniente de la combustión, así como para la lubricación de la camisa, el eje de levas, que regula la apertura de las válvulas de admisión y escape, el eje cigüeñal, el alternador, el motor de arranque y el embrague. También se explica el desgaste que sufren las camisas, donde se da a lugar el ovalamiento, y el cigüeñal, producto de la fricción entre partes. Para corregir este desgaste, y dar una nueva vida útil a las piezas, se propone la rectificación, un proceso de mecanizado que sirve para devolver las tolerancias óptimas de funcionamiento al motor.

Por último, se comparan las medidas obtenidas del motor Deutz F3L912, facilitadas por el profesor Cristóbal Galleguillos, con las mediciones entregadas por el manual del fabricante, con el fin de establecer un motivo para sus diferencias. Se establece, entonces, que las diferencias se deben al desgaste que sufre el motor durante su funcionamiento, pero se determina que el motor no necesita, aún, procesos de restauración.

Índice

Resumen	2
Índice.....	3
1 Introducción.....	4
2 Revisión de la Literatura	5
3 Objetivos.....	6
4 Desarrollo	7
4.1 Motor Encendido por Compresión (Ciclo Diesel)	7
4.2 Motor Encendido por Chispa (Ciclo Otto).....	8
4.3 Diferencias entre MECH y MEC.....	8
4.4 Ventajas y desventajas de los motores de combustión interna.....	9
4.4.1 Ventajas de los Motores de combustión interna.....	10
4.4.2 Desventajas de los Motores de combustión interna.....	10
4.5 Sobremedida o Rectificación de metales en un MCI.....	11
4.5.1 Rectificación en el bloque motor.....	11
4.5.2 Rectificación del cigüeñal	11
4.6 Función de elementos importantes	12
4.6.1 Pistón.....	12
4.6.2 Eje de Levas	12
4.6.3 Eje cigüeñal	13
4.6.4 Alternador	13
4.6.5 Motor de arranque.....	14
4.6.6 Embrague	15
4.7 Mediciones Motor Deutz.....	16
5 Conclusión	17
6 Referencias y Bibliografía	18

1 Introducción

Los motores de combustión interna, también llamados endotérmicos, pues la combustión ocurre en el mismo fluido motriz (mezcla aire-combustible), son máquinas térmicas que generan energía mecánica, esto es, trabajo útil, a partir de la energía química de un combustible líquido o, en ocasiones, gaseoso.

Dentro de los motores endotérmicos se hallan dos tipos principales, los motores de encendido por chispa (MECH) y los motores de encendido por compresión (MEC). En base a esta clasificación, se estudiarán sus componentes, sus principales piezas, y serán analizadas las diferencias que tienen entre sí, además de sus ventajas y desventajas respecto a otros tipos de motores.

Al estudiar motores de combustión interna, es fundamental comprender, entre otras piezas, el pistón y lo importante de su diseño, así como los procesos requeridos para devolver la funcionalidad a un motor desgastado. Por esta razón, se explican factores como la importancia de los anillos presentes en el pistón, el fenómeno de ovalamiento, o bien, ovalidad, y el proceso de rectificación, o sobremedida de un motor.

Posteriormente, se revisa un motor de origen alemán modelo Deutz F3L912, al cual se le realizan mediciones en la camisa del cilindro y el cigüeñal, y se contrastan las mediciones obtenidas con las especificaciones del manual del motor. Esto ayudará a determinar las condiciones del motor estudiado.

2 Revisión de la Literatura

La recopilación de información se hizo, principalmente, del libro “Motores Endotérmicos”, cuyo autor es Dante Giacosa. Este fue fundamental para el entendimiento del funcionamiento de ambos tipos de motor revisados, así como de las diferencias entre sí. Además, para describir las piezas, con detalle, se extrajo información del sitio web español *motor.es*; quienes contaban con material audiovisual y textos que explican claramente los componentes y subcomponentes de los motores. Para conocer los procesos llevados a cabo para restaurar un motor, en particular, la rectificación, se indagó el dominio web de *mgrectificadora.com.ar*, una empresa dedicada a llevar este tipo de procedimientos a cabo.

En cuanto a las figuras, la mayoría fueron extraídas de blogs informales manejados por aficionados, sin embargo, éstas fueron revisadas con cautela para que coincidieran con lo expuesto en este trabajo.

3 Objetivos

Al finalizar la lectura, se espera que el lector sea capaz de reconocer componentes y piezas de un motor de combustión interna, reconocer las principales diferencias entre un motor encendido por chispa y uno encendido por compresión, y que se aprecie con claridad la variación entre las mediciones obtenidas de manera práctica, y las indicadas por el manual Deutz F3L912.

4 Desarrollo

A continuación, se muestran representaciones esquemáticas de MEC y MECH, respectivamente, con sus principales componentes indicados según corresponde.

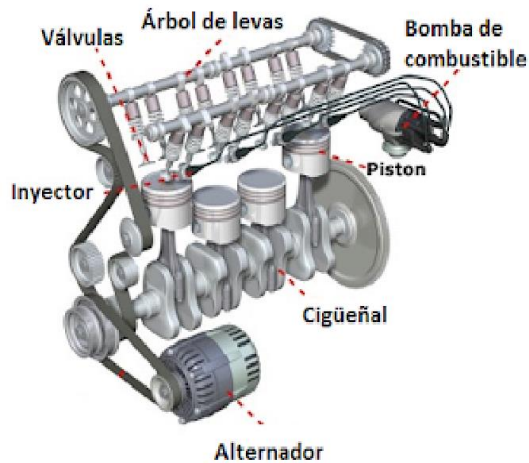


FIGURA 1. MOTOR CICLO DIESEL.

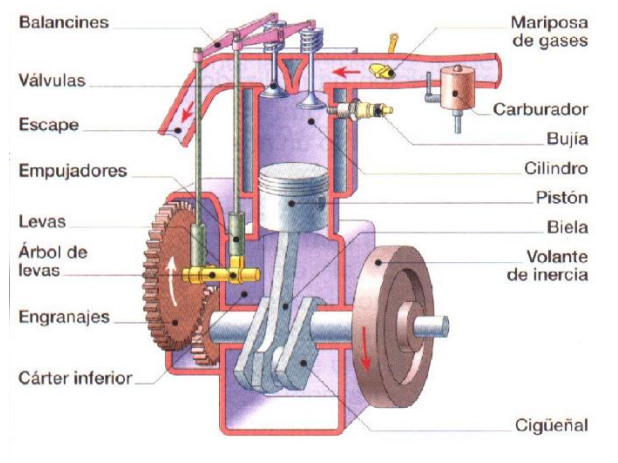


FIGURA 2. MOTOR CICLO OTTO

Se procede entonces, a analizar cada uno por separado:

4.1 Motor Encendido por Compresión (Ciclo Diesel)

En este tipo de motores, la combustión ocurre a presión constante, además, destaca por tener grandes relaciones de compresión (entre 14 y 22), al igual que por su sistema de alimentación de combustible, el cual es por inyección directa de un hidrocarburo líquido menos volátil, y con un mayor peso específico que el empleado en los MECH.

Los MEC, pueden ser de 4 o 2 tiempos, sin embargo, ninguno significa un mayor consumo de combustible que el otro, pues el barrido del cilindro se realiza con aire puro, evitando así, la pérdida de combustible durante el escape de los gases de la combustión.

El ciclo Diesel puede ser rápido, para uso en locomoción terrestre y embarcaciones ligeras, o bien lento, con aplicaciones en instalaciones fijas y navales, según la velocidad de giro a la que operen de manera óptima.

La descripción de las piezas se realiza, con profundidad, más adelante.

4.2 Motor Encendido por Chispa (Ciclo Otto)

En esta categoría se encuentran gran parte de los motores usados para automovilismo, tracción industrial, motocicletas, aeronaves, y aplicaciones náuticas y agrícolas. Para este caso, la combustión se realiza a volumen constante, se manejan relaciones de compresión más bajas (de 6 a 11), y su sistema de alimentación es más complejo que el visto para el caso Diesel, pues se requiere mezclar aire y combustible en una relación precisa para lograr una combustión de calidad. Esta mezcla, ocurre en el carburador, de haber uno, o en caso contrario, lo más moderno es nivelar los caudales de aire y combustible a través de sistemas computacionales y enviarla, a través del múltiple de admisión, a cada uno de los cilindros. A diferencia de los MEC, la combustión no ocurre a causa del aumento de la temperatura de la mezcla, sino que producto de la chispa proporcionada por la bujía, en el momento que el fluido motriz se encuentra comprimido en la cámara.

El combustible más utilizado, y más práctico, es la gasolina, es decir, hidrocarburos ligeros con alto poder calorífico cuya evaporación ocurre con facilidad.

El ciclo Otto puede operar en 2 o 4 tiempos, sin embargo, la primera opción conlleva pérdida de combustible no quemado durante el escape de los gases de combustión, lo que eleva el consumo y reduce su eficiencia. Por este motivo, es más común ver MECH con ciclos de 4 tiempos, mientras que los de 2 tiempos se adapta en casos más particulares, como pequeños motores de motocicleta, por ejemplo.

4.3 Diferencias entre MECH y MEC

Como se puede observar, mecánicamente la única diferencia es la presencia de algunas piezas producto del ciclo termodinámico teórico que predomina en cada uno. Esto es, el inyector en el caso de los MEC, y la bujía y carburador (o sistema de función equivalente) para los MECH.

Con esto en mente, se deduce que sus diferencias más significativas, se encontrarán en los ciclos y en las diferencias entre sí:

- **Introducción de combustible:** Para los MECH, el aire y el combustible entran a la cámara como una mezcla gaseosa, la cual es realizada en el carburador, y el caudal de esta mezcla que ingresa a cada pistón es regulada por la válvula de mariposa presente en la lumbrera de admisión. Mientras que, para los MEC, el aire entra a la cámara de combustión, sin haber necesidad de controlar la cantidad, para luego ser mezclado con el combustible, el cual se introduce directamente en la cámara mediante un inyector, que regula la cantidad ingresada.
- **Combustión:** En los motores de encendido por chispa, como lo dice su nombre, se requiere generar, entre los electrodos de la bujía, una chispa que logre iniciar la combustión de la mezcla. En el caso del encendido por compresión, el motor aprovecha las altas presiones y temperaturas conseguidas por la reducción del volumen en la cámara para poder causar la reacción necesaria.
- **Relación de compresión:** En motores de ciclo Otto, el valor de compresión oscila entre 6 y 11, cuyo límite superior va determinado por la calidad antidetonante del combustible disponible en el mercado. En motores de ciclo Diesel, el valor de compresión va entre 14 y 22, que es considerablemente mayor. Esto porque se debe comprimir el volumen de la mezcla lo más posible, pues, de esta forma, se obtienen mayores temperaturas y presiones y, por ende, una mejor combustión.
- **Peso:** Por lo general, considerando dos motores de igual cilindradas, uno encendido por chispa, y otro por compresión, el de mayor peso será el de compresión, pues trabaja a presiones más elevadas y requiere una mayor envergadura.

4.4 Ventajas y desventajas de los motores de combustión interna

Los MCI han significado un pilar fundamental en la industria debido a la versatilidad y grandes capacidades para cumplir funciones, tanto en términos de potencia, como de velocidad. Sin embargo, éstos no están exentos de inconvenientes ligados a su uso. Por ello, se revisan a continuación una serie de ventajas, y desventajas que conllevan junto a su aplicación.

4.4.1 Ventajas de los Motores de combustión interna

Algunas de las propiedades que hacen destacar al motor de combustión interna, respecto a otros tipos de motor como, por ejemplo, el eléctrico, se enumeran a continuación:

- El alto poder calorífico de su combustible, lo que se traduce en una alta autonomía y un bajo peso añadido. Además, no se requieren grandes dimensiones para almacenarlo.
- La posibilidad de obtener grandes potencias, torques o velocidades de giro, según requerido.
- Variedad de aplicaciones que le permiten ser adecuados en numerosos ambientes de trabajo.
- Permite distintas disposiciones de sus componentes, lo que abre la posibilidad a ajustar parámetros como su cilindrada, la potencia entregada o la cantidad de vibraciones generadas.

4.4.2 Desventajas de los Motores de combustión interna

En la actualidad, la popularidad de este tipo de motores va en declive, principalmente en consecuencia de los inconvenientes a considerar cuando se llevan a uso. Entre ellos, se pueden encontrar:

- Baja eficiencia: El máximo porcentaje de combustible aprovechado puede encontrarse en un MEC, sin embargo, este nunca supera el 50%, lo que significa que más de la mitad del combustible quemado se disipa en forma de calor, o de gases contaminantes emitidos directamente a la atmósfera.
- Alto costo de mantenimiento: A diferencia de los motores eléctricos, que son máquinas menos complejas y con desgastes mínimos, los motores de combustión interna exigen una constante revisión de sus piezas y líquidos lubricantes para asegurar, de esta forma, un correcto funcionamiento, que no de lugar a accidentes ni se reduzca la vida útil del motor. Al demandar tal mantenimiento y ser máquinas tan complejas, es necesario contar con personal especializado para poder brindar los cuidados necesarios a cada parte del motor, lo que resulta altamente costoso.

4.5 Sobremedida o Rectificación de metales en un MCI

Como se indicó anteriormente, los motores de combustión interna trabajan a altas presiones, temperaturas y, si bien es reducido por la lubricación, un gran desgaste por fricción. Todos estos factores conducen a un fuerte desgaste y deformación de los componentes, lo que repercute en el funcionamiento del motor, provocando pérdidas de potencia, humo en el escape y un mayor gasto de combustible, entre otros.

Es posible corregir todas estas consecuencias del uso, y llevar al motor más cerca de sus condiciones originales. Esto se logra mediante una técnica llamada rectificación, la cual consiste en mecanizar las piezas hasta que se igualen las superficies de contacto, y tengan un acabado superficial que disminuya el roce y facilite los trabajos de lubricación entre las piezas.

El proceso de rectificación es, por lo general, y según indique el fabricante, aplicable a dos partes fundamentales del motor:

4.5.1 Rectificación en el bloque motor

Se realiza sobre los cilindros y toda la superficie plana que une el bloque a la culata. El principal desgaste ocurre en la camisa cilindro producto del rozamiento, el cual produce un ovalamiento en el cilindro (deformación de la camisa del cilindro debido al desgaste irregular de la superficie interna) que, una vez supera las tolerancias indicadas por el fabricante, demanda una rectificación.

4.5.2 Rectificación del cigüeñal

El cigüeñal tiende a deformarse a causa del giro sobre los cojinetes de apoyo, y sobre las bielas. Por ello, es que cuando esta deformación se vuelve perjudicial al funcionamiento del motor, se procede con una rectificación que actúa sobre las bielas y los metales de apoyo.

4.6 Función de elementos importantes

4.6.1 Pistón



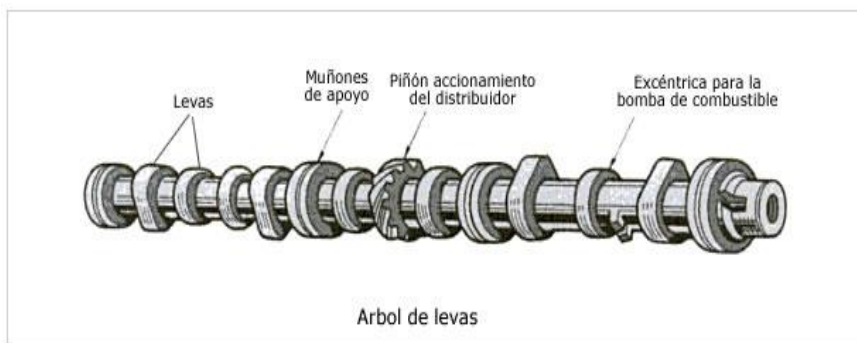
FIGURA 3. PARTES DEL PISTÓN

El pistón cumple la función de crear una pared móvil que sea capaz de comprimir al fluido motriz, para luego, producto del empuje generado por la combustión, transmita la energía química generada a la biela, la que, a su vez, transmite el movimiento lineal al cigüeñal, para que, de esta manera, se genere el movimiento rotatorio.

Una importante cualidad del pistón es que debe asegurar el hermetismo en la cámara de combustión, mantener una distancia adecuada del cilindro para evitar roce excesivo, y proporcionar correctamente el fluido lubricante. Para todo ello, cuenta con anillos circulares de sección rectangular, fabricados en una aleación de hierro dúctil cromo-molibdeno, con diferentes acabados superficiales según su función de sellar la cámara (liso), o retener el lubricante dosificarlo por el cilindro. Estos últimos son los anillos rascadores de aceite, y tienen una terminación más rugosa.

4.6.2 Eje de Levas

FIGURA 4. PARTES DEL EJE DE LEVAS

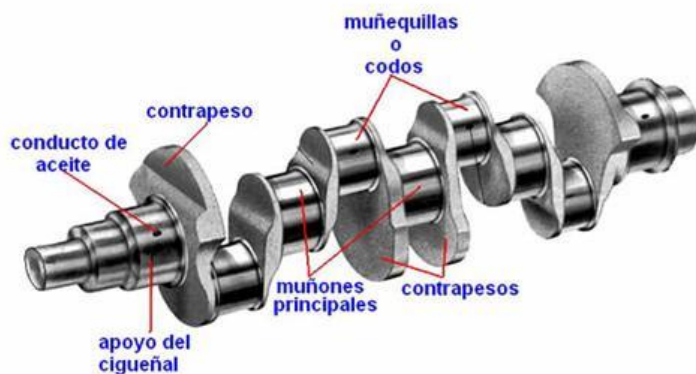


El árbol de levas es un eje rotativo cargado con palas, o levas, que tienen como función abrir y cerrar las válvulas de admisión y escape, según el

ciclo del motor lo demande. Además, contribuye a la repartición del lubricante y ayuda a que funcione la bomba de combustible. Se coloca sobre la culata del motor y queda unido al cigüeñal mediante la correa de distribución. En algunos casos se emplean dos ejes de levas, uno para las válvulas de admisión y otro para las de escape.

4.6.3 Eje cigüeñal

FIGURA 5. PARTES DEL CIGÜEÑAL



El eje cigüeñal es el encargado de transformar el movimiento lineal de los pistones, en movimiento rotatorio, que puede ser utilizado para mover, por ejemplo, ruedas, a través de la transmisión.

Esta pieza requiere una relación exacta entre la geometría y peso

de sus piezas, entre las cuales encontramos al eje, encargado de guiar el giro del cigüeñal, los apoyos, que giran sobre el cárter y requieren una eficaz lubricación, precisión y mínimas tolerancias, las muñequillas, cuya función es soportar el giro de las bielas, para lo que reciben un adecuado tratamiento térmico, los brazos, que sirven para unir las muñequillas y los apoyos, y su longitud determina el largo de la carrera de la biela, y, por último, los contrapesos, que permiten minimizar las irregularidades generadas por el movimiento del eje.

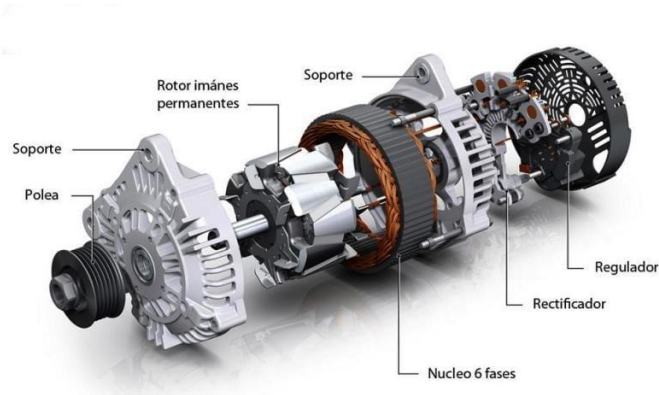
Un cigüeñal de calidad aceptable debe ofrecer, como mínimo, un alto límite elástico, gran resistencia al impacto, ser maquinable, tener un bajo coeficiente de fricción y alto límite de fatiga. Esto se consigue, comúnmente, con aceros aleados con cromo-molibdeno.

4.6.4 Alternador

El alternador de un motor está encargado de transformar la energía mecánica en energía eléctrica, a través de una polea unida a su eje, para cargar la batería y entregar el suministro eléctrico necesario a los componentes del motor, o del equipo, en caso de un motor montado, que lo necesiten.

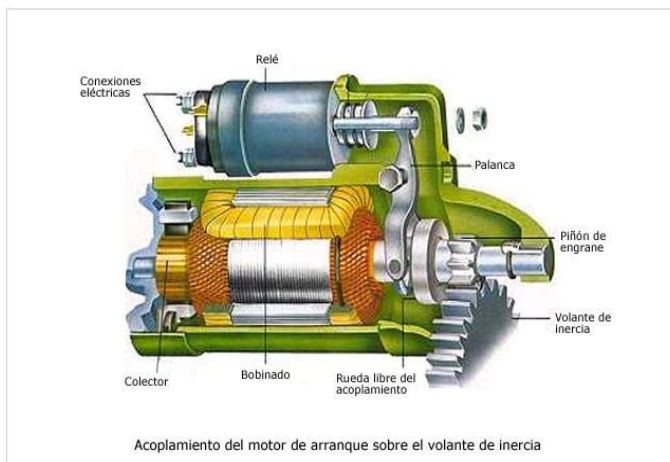
La corriente eléctrica se genera cuando el electroimán dentro del rotor comienza a girar, creando un campo electromagnético que hace reaccionar las bobinas del estator, quienes producen así la electricidad requerida.

FIGURA 6. PARTES DEL ALTERNADOR



4.6.5 Motor de arranque

FIGURA 7. PARTES DEL MOTOR DE ARRANQUE



El motor de arranque, o bien, motor de partida, se encarga de hacer girar el cigüeñal mediante el volante de inercia, utilizando energía eléctrica proveniente de la batería y dando inicio al proceso de combustión. Sólo se requiere para la primera explosión, pues una vez ocurrida, el giro del cigüeñal se puede mantener por sí

solo, finalizando la función del motor de partida.

El funcionamiento del motor de arranque inicia con el giro del contacto, lo que transporta batería de la batería al solenoide, o bobina, generando, por palanca, que el piñón de engrane se acople al engranaje de la corona del volante de inercia, para que éste inicie su movimiento.

4.6.6 Embrague

FIGURA 8. DESARME DEL EMBRAGUE



El embrague es esencial en el funcionamiento del motor, ya que es el encargado de transmitir el torque generado por el motor, a las ruedas. Esta función la completa al unir el giro del motor a la transmisión, permitiendo que los elementos motrices inicien el movimiento cuando el

embrague se encuentra enganchado. En los vehículos, el embrague permite el cambio de velocidades, ya que de una marcha que requiere mucho torque para girar a bajas velocidades, cambia a otra que gira más rápidamente, pero requeriría un par muy alto para iniciar en esta marcha debido a la relación entre los engranes.

El embrague consta de 4 partes fundamentales: El volante motor, que va unido al cigüeñal y gira siempre junto a él. La maza de embrague, o plato de presión, que se une al volante, gira con él, y comprime o libera al disco de embrague. El disco de fricción, el cual está acoplado a la caja de cambios gracias a un eje y gira conjuntamente al volante, el motor y la maza. Al accionar el embrague, el disco se desacopla, se interrumpe la transmisión de par y se da a lugar el cambio de velocidad, siempre y cuando la velocidad de giro del motor lo permita. Por último se encuentra el mecanismo de accionamiento, el cual es un rodamiento sobre una horquilla que se apoya en el diafragma y lo empuja para liberar o presionar el disco.

4.7 Mediciones Motor Deutz

Camisa de cilindro:

	Posición	Valor medido	Valor manual	Diferencia
Diámetro superior A [mm]	0°	100,05	100,01	0,04
	120°	100,04	100,01	0,03
	240°	100,04	100,01	0,03
Diámetro intermedio B [mm]	Posición	Valor medido	Valor manual	Diferencia
	0°	100,03	100,01	0,02
	120°	100,02	100,01	0,01
	240°	100,03	100,01	0,02
Diámetro inferior C [mm]	Posición	Valor medido	Valor manual	Diferencia
	0°	100,02	100,01	0,01
	120°	100,03	100,01	0,02
	240°	100,03	100,01	0,02

Cigüeñal:

Medición	Valor medido	Valor manual	Diferencia
Diámetro muñón biela 0° [mm]	59,94	59,96	-0,02
Diámetro muñón bancada 0° [mm]	69,96	69,971	-0,011
Diámetro muñón biela 90° [mm]	59,95	59,96	-0,01
Diámetro muñón bancada 90° [mm]	69,97	69,971	-0,001
Ancho muñón biela 0°	37,02	37,024	-0,004
Ancho muñón bancada 0°	36,99	37	-0,01
Ancho muñón biela 90°	37,01	37,025	-0,015
Ancho muñón bancada 90°	36,99	37	-0,01

La diferencia que se observa puede ser debido al desgaste propio por el uso del motor, aunque se aprecia que la camisa del cilindro no necesita rectificación, pues se mantiene dentro de las tolerancias.

5 Conclusión

Los motores de combustión interna son máquinas térmicas tan complejas, que han sido considerados como una de las mayores obras de la ingeniería por la sincronía y precisión requerida, tanto en su funcionamiento dinámico, como en sus propiedades mecánicas y dimensiones. Si bien dejan mucho que desear en términos de eficiencia de combustible, siguen siendo los que tienen mayor autonomía y de los mejores desempeños en términos de par y potencia (aunque el par de los motores eléctricos cada vez se le acerca más).

Es posible ver la importancia de cada uno de sus componentes, y comprobar, así, que el correcto funcionamiento depende directamente del buen estado de componentes que, a simple vista, pueden pasar inadvertidos, como los anillos de un pistón, o el disco de embrague.

Se observa que la vida útil de un motor de combustión interna está directamente relacionada al uso responsable y a la mantención constante, pues el omitir estos dos importantes factores hace que aparezcan problemas, como mínimo, de lubricación, lo que puede provocar graves daños en las piezas, aumentando así los costos económicos ligados tanto a consumo de combustible, como a la eventual restauración o reemplazo de las piezas dañadas.

Además, se observa que los MCI no son máquinas únicamente mecánicas, pues requieren de distintos sistemas con diferentes fuentes de energía para su correcto funcionamiento, ya que, por ejemplo, no puede comenzar su funcionamiento sin un motor de arranque, el cual, a su vez, necesita de una batería para poder dar vida al motor. Puede resultar llamativo el que esta batería se recargue a través de otro componente integrado, el alternador, el cual utiliza la misma energía mecánica generada por el motor para alimentar todos los sistemas eléctricos.

La actividad práctica propuesta permite evidenciar, de manera casi tangible, los efectos del uso de un motor sobre las medidas iniciales de fabricación de sus piezas, ya que se aprecia numéricamente el fenómeno de ovalamiento en la camisa del cilindro, y se nota el desgaste del cigüeñal.

6 Referencias y Bibliografía

- Dante Giacosa, “Motores Endotérmicos”, Tercera edición.
- <http://www.mgrectificadora.com.ar/2018/11/08/que-significa-rectificar-el-motor-de-mi-vehiculo/>
- <https://enchufatealcampus.wordpress.com/2015/02/03/tipos-de-vehiculos-combustion-interna-electrico-hibrido/>
- <https://www.motoryracing.com/pruebas/noticias/funciones-de-los-anillos-del-piston/>
- <https://www.motor.es/que-es/arbol-de-levas>
- <https://www.motor.es/que-es/ciguenal>
- <https://www.motor.es/que-es/motor-arranque>
- <https://www.motor.es/que-es/embrague>
- <https://www.actualidadmotor.com/funcionamiento-del-alternador/>