

Universidad Internacional del Ecuador



Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz

**Artículo Investigación para la obtención del Título de Ingeniero en
Mecánica Automotriz**

**ANALISIS DEL RENDIMIENTO DEL MOTOR DE ARRANQUE Y
SU INCIDENCIA EN EL VALOR DE LA COMPRESIÓN
RELATIVA OBTENIDO EN UN MOTOR DE COMBUSTION
INTERNA.**

Joseph Joao Quimbiulco

Esteban Mora Trujillo

Director: Ing. Denny Guanuche MS.c

Quito, abril 2021

CERTIFICACIÓN

Por medio del presente certificado doy a conocer que el artículo presentado es la autoría de Joseph Joao Quimbiulco Sevilla y Esteban Samuel Mora Trujillo, declaro bajo juramento que el trabajo presentado aquí es de mi propiedad intelectual, este documento no ha sido presentado anteriormente en ningún grado o certificado profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Joseph Quimbiulco Sevilla

CI: 1719699728

Esteban Samuel Mora Trujillo

CI: 1726642026

Yo, Ing. Denny Guanuche, certifico que conozco a los autores de la presente investigación, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y de su autenticidad, como de su contenido.

Ing. Denny Guanuche MS.c

DIRECTOR

DEDICATORIA

Este logro será establecido como uno de los distintos ya conseguidos en el transcurso de mi vida en el cual eh dedicado tiempo y esfuerzo que ha valido la pena ,para así haber adquirido los conocimientos y una experiencia única a lo largo de la carrera en lo cual nos ha ido encaminando en un mundo automotriz e ingeniería inexplicable , el cual va dedicado principalmente hacia mi persona por obtener una satisfacción propia y a la vez hacia mi familia que son el pilar para lograr algún objetivo que me he establecido.

Joseph Quimbiulco

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis familiares, amigos y todos los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador. Dedico este trabajo a las empresas que me han dado la oportunidad de formarme en el campo laboral y a todos sus colaboradores.

Esteban Mora

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por haberme acompañado en el transcurso de la carrera, por brindarme su apoyo y siempre estar ahí en lo que les solicite, a la vez agradezco a Dios por bendecirme en todos los objetivos estipulados por mi persona y al haber lograrlos me siento muy agradecido al siempre protegerme y brindarme todas las energías para cumplir de la mejor manera. con lo establecido

Joseph Quimbiulco

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y hermano por el constante apoyo, a mis amigos de la facultad por su motivación y experiencias compartidas. Agradezco a mis compañeros de trabajo por sus enseñanzas y guías. Y todas las personas que intervinieron para poder llevar a cabo este trabajo de investigación.

Esteban Mora

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEORICO.....	1
2.1 PARÁMETROS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN	1
2.2 COMPRESIÓN RELATIVA	2
2.3 MOTOR DE ARRANQUE.....	2
2.4 BATERÍA.....	3
3. MATERIALES Y MÉTODOS	3
3.1 VEHÍCULO	3
3.2 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	4
3.3 PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	5
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	6
4.1 COMPRESIÓN RELATIVA	6
4.2 RENDIMIENTO MOTOR DE ARRANQUE	7
4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	8
5. CONCLUSIONES	8
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Medición de compresión relativa.....	2
Figura 2: Motor de arranque con reductora.....	3
Figura 3: Corte transversal de batería	3
Figura 4: Vehículo de pruebas.	4
Figura 5: FSA 740.....	4
Figura 6: Compresometro.....	5
Figura 7. Compresión relativa Modelo 1 (1.4 litros).....	6
Figura 8. Compresión relativa Modelo 2 (1.5 litros).....	7
Figura 9. Medición de corriente de arranque en prueba de compresión relativa	7
Figura 10. Variación de voltaje e intensidad de corriente durante el arranque del vehículo de prueba	7
Figura 11. Límites de rendimiento del motor de arranque y compresión relativa	8

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Vehículos de prueba	4
Tabla 2. Compresión relativa	7
Tabla 3. Parámetros del motor de arranque.....	7
Tabla 4. Resultados estadísticos de Modelo 1 y 2.....	8
Tabla 5. Distribución t para modelos analizados con varianzas desiguales	8

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Relación de compresión	3
Ecuación 2. Potencia eléctrica	4
Ecuación 3. Rendimiento.....	4
Ecuación 4. Capacidad batería.....	4
Ecuación 5. Muestra distribución t.....	6

ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DEL MOTOR DE ARRANQUE Y SU INCIDENCIA EN EL VALOR DE LA COMPRESIÓN RELATIVA OBTENIDO EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Joseph Joao Quimbiulco Sevilla; Esteban Samuel Mora Trujillo

joquimbiulcose@uide.edu.ec; esmoratr@uide.edu.ec

RESUMEN

Los motores fabricados en la actualidad son construidos de tal forma que entreguen las mejores prestaciones con un cilindraje bajo combinándole con una relación de compresión apropiada. Este proyecto establece una prueba de hipótesis sobre las mediciones entre la compresión mecánica y la compresión relativa en función al rendimiento del motor de arranque y la batería para un motor de combustión interna de 1500 cc. Este proyecto se desarrolló en la ciudad de Quito, siendo un proyecto cualitativo, utilizando como equipo de pruebas el FSA 740 para la medición de la compresión relativa y las propiedades de la batería y motor de arranque. El análisis estadístico indica un margen de variación del $\pm 10\%$, en las mediciones ejecutadas. La prueba de hipótesis, basa en la distribución de t Student, indica sobre la compresión relativa, que sí, su valor es superior a 25, la compresión del motor es de 150 psi.

PALABRAS CLAVES: rendimiento, vehículos livianos, Distribución t; batería

ABSTRACT

The engines manufactured today are built in such a way that they deliver the best performance with a low displacement combined with an appropriate compression ratio. This project establishes a hypothesis test on the measurements between mechanical compression and relative compression as a function of starter and battery performance for a 1500cc internal combustion engine. This project was developed in the city of Quito, being a qualitative project, using the FSA 740 as test equipment for the measurement of relative compression and the properties of the battery and starter motor. The statistical analysis indicates a variation margin of $\pm 10\%$, in the performed measurements. The distribution t, indicates about the relative compression, that yes, its value is greater than 25, the engine compression is 150 psi.

KEY WORDS: performance, vehicles, Distribution t, battery

1. INTRODUCCIÓN

Los fabricantes de vehículos se ven obligados a diseñar y producir sus motores de tal forma que cumplan con la normativa de emisiones contaminantes del país de origen y el mercado global [1]. Los motores fabricados en la actualidad son construidos de tal forma que entreguen las mejores prestaciones con un cilindraje bajo combinándole con una relación de compresión apropiada.

Cuando un motor de encendido por chispa funciona en condiciones extremas, como son: cargas elevadas, adelanto al encendido, temperaturas ambientales altas, puede originarse el fenómeno de la detonación [2]. Las elevadas relaciones de compresión utilizadas en los motores actuales, dan lugar a que el peligro de aparición del picado sea mayor, pues, aunque se utilice un combustible adecuado, cualquier anomalía en el motor puede ser causa de aparición de este fenómeno. No obstante, contando con un funcionamiento perfecto de todos los órganos del motor, la detonación pone límite a la máxima relación de compresión que puede utilizarse, de acuerdo con una calidad determinada del combustible. El picado es la consecuencia de una combustión anormal que se produce tanto más fácilmente, tanto mayor es la relación de presión y depende fundamentalmente de las características antidetonantes del combustible [3].

La tendencia actual en el mantenimiento integral se orienta a reducir al mínimo el mantenimiento correctivo, optimizando el mantenimiento proactivo y potenciándose el mantenimiento predictivo. Los vehículos constituyen un medio de transporte eficaz para el movimiento de personas y carga, para preservar la condición operativa, es necesario, aplicar procedimientos de mantenimiento, que permitan alargar la vida útil del motor [4]. El mantenimiento

programado del motor y del vehículo en general, es importante ya que se puede monitorear su estado, funcionamiento y prevenir una falla. Debido a la mejora constante en los equipos de diagnóstico, se pueden realizar pruebas rápidas que dan una perspectiva del estado del motor. Las pruebas que realiza un equipo de diagnóstico están en función de los datos que toma a partir de las funciones del motor, un parámetro medible con los equipos actuales es la compresión relativa del motor de combustión interna.

Este proyecto pretende establecer una correlación en las variables medidas entre la compresión mecánica y la compresión relativa en función al rendimiento del motor de arranque y la batería para un motor de combustión interna de 1500 cc, estableciéndose las condiciones mecánicas del motor examinado.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 PARÁMETROS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN

Para conseguir procesos de combustión tan diferentes se necesita utilizar diseños constructivos específicos y condiciones de operación diferentes en cada tipo. La característica fundamental que diferencia a los motores de encendido provocado MEP de los motores de encendido por compresión MEC es el proceso de encendido de la mezcla aire combustible y la evolución de la combustión [5]. La gran parte de sus diferencias vienen derivadas de esta característica fundamental. Los parámetros geométricos permiten caracterizar geoméricamente las dimensiones de los elementos del motor. Incluyen parámetros relativos a las dimensiones del cilindro, al mecanismo biela-manivela y al sistema de renovación de la carga. Los parámetros de

operación de un motor de combustión interna son:

- i) Diseño de la cámara de combustión.
- ii) Diseño del inyector de combustible.
- iii) Geometría de la cámara de combustión.
- iv) Condiciones operativas del motor.
- v) Relación aire-combustible.
- vi) Sincronización de la chispa.
- vii) Relación de compresión.
- viii) Velocidad del motor.
- ix) Tipo y composición del combustible.

2.2 COMPRESIÓN RELATIVA

La compresión proporcionada por la subida del pistón vendrá determinada por el área de barrido que se comprime en la zona de combustión: a esto se le conoce como relación de compresión. La compresión también viene determinada por la efectividad de la junta entre la pared del cilindro y el pistón; esta junta se sujeta gracias a los anillos de sellado. Lo mismo ocurre con los asientos de las válvulas de entrada y salida. La relación de compresión de un motor, se calcula por la ecuación 1:

$$r = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_d + V_c}{V_c} \quad \text{Ec. [1]}$$

Las compresiones pueden compararse entre sí mediante el control de la corriente necesaria para levantar cada cilindro en su carrera de compresión. Cuanto mejor sea la compresión, mayor será la demanda de corriente y viceversa, en la figura 1, se observa la medición de la compresión relativa. Por lo tanto, es importante que la corriente sea igual para todos los cilindros. La corriente para un motor de gasolina típico de 4 cilindros sería de alrededor de entre 80 y 200 amperios [6]

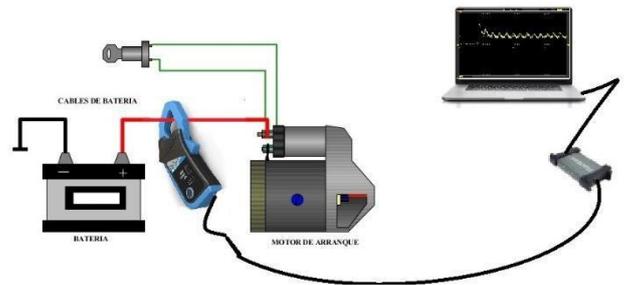


Figura 1. Medición de compresión relativa (Anónimo, 2017)

El amperaje necesario para arrancar el motor dependerá en gran medida de muchos factores, incluyendo: la capacidad del motor, el número de cilindros, la viscosidad del aceite, el estado del motor de arranque, el estado del circuito de cableado del motor de arranque y la compresión de los cilindros.

2.3 MOTOR DE ARRANQUE

Es un motor eléctrico de corriente continua con excitación en serie o excitación independiente, con un gran par de arranque para vencer la resistencia del giro del motor alternativo, generalmente de pequeño tamaño y una potencia de hasta 2 kW, diseñado para funcionar por cortos periodos de tiempo. Para su operación el circuito de arranque trabaja con el circuito de excitación y el circuito de potencia.

El sistema de arranque está constituido por el motor de encendido, el interruptor, el acumulador, y el cableado. El motor de arranque es activado con la energía del acumulador cuando se gira la llave de puesta en marcha, cerrando el circuito y haciendo que el motor gire. El motor de arranque conecta con el cigüeñal del motor de combustión por un piñón conocido como piñón de ataque de pocos dientes con una corona dentada reductora que lleva incorporada el volante de inercia del motor térmico. Cuando el volante gira más rápidamente que el piñón, el piñón se desacopla del motor de arranque mediante

rueda libre que lo desengrana, evitando daños por exceso de revoluciones. De acuerdo a la transmisión del movimiento y el sistema de acoplamiento, se distinguen cuatro tipos de engranaje: acoplamiento libre por horquilla, con engranaje por inercia, con reductora (figura 2) y con inducido deslizante [7].

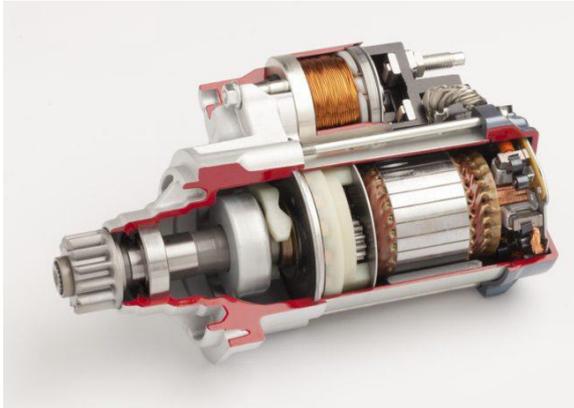


Figura 2: Motor de arranque con reductora (Fiat, 2018)

La potencia consumida por el motor, se calcula con la ecuación 2, así:

$$P = I \cdot V \quad \text{Ec. [2]}$$

La potencia desarrollada (P_d) por el motor de arranque en cualquier situación es menor a la potencia consumida (P_c), la relación entre ambas potencias es el rendimiento, se calcula así:

$$n = \frac{P_d}{P_c} \quad \text{Ec. [3]}$$

2.4 BATERÍA

Hoy en día, la puesta en marcha eléctrica hace necesaria la incorporación de la batería, siendo indispensable, como fuente de energía para la tracción del vehículo (figura 3), cuyo objetivo es el almacenamiento y el suministro de energía, para el arranque del motor, aporte de energía y la regulación o amortiguación de los picos de tensión que pueden afectar a los circuitos electrónicos del vehículo.



Figura 3: Corte transversal de batería (Anónimo, 2018)

Las características eléctricas de una batería son: Tensión en bornes y fuerza electromotriz, Intensidad máxima y la capacidad de la batería en amperio por hora. El tiempo de descarga de la batería se calcula utilizando la ecuación 3.

$$Q = I \cdot t \quad \text{Ec. [4]}$$

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto se desarrolló en la ciudad de Quito, siendo un proyecto cuantitativo experimental, en este caso, se orienta hacia el estudio de relaciones de causalidad entre las variables independiente y dependiente del estudio planteado.

3.1 VEHÍCULO

Dentro del segmento de automóviles los vehículos más vendidos son el Chevrolet Sail y Aveo Family, siendo estos modelos tanto de uso particular como público, circulan dentro y fuera de la ciudad de Quito [9]. Una selección apropiada constituye elegir una muestra estratificada, categorizada por años de operación o kilometraje. Para el desarrollo del proyecto se elige el vehículo Chevrolet Aveo, como modelo 2 y Chevrolet Sail, como modelo 1, se muestra en la figura 4.



Figura 4: Vehículo de pruebas
(Quimbiulco y Mora,2020)

En la tabla 1, se describe las características de los vehículos de prueba.

Tabla 1. Vehículos de prueba [10]

CARACTERÍSTICA	Modelo 1	Modelo 2
Marca	Chevrolet	Chevrolet
Modelo	Sail	Aveo Family
Motor	4 en línea	4 en línea
Cilindraje	1.4 litros	1,5 litros
Combustible	Gasolina Extra	Gasolina Extra
Relación de compresión	10,2	9,5
Potencia Motor de arranque (kW)	1,1	1,1

(Chevrolet,2020)

3.2 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Para la ejecución de las pruebas se ha considerado los siguientes equipos:

- **FSA 740**

Es un equipo de diagnóstico de averías versátil y seguro, con un sistema integral en carro de transporte, con módulo de medición y PC con una pantalla de 19 pulgadas. El ordenador equipado con Windows 10 y memoria SSD, proporciona acceso inmediato para unas rutinas de prueba más rápidas. A través de WLAN, el ordenador se puede conectar a la red del taller e internet, y usarse para actualizaciones online [10]

El equipo cuenta con el software ESITronic es la solución de software de diagnóstico líder para el mantenimiento, diagnóstico y reparación de vehículos con soporte las 24 horas a través de soluciones rápidas. En la figura 5, se muestra el equipo FSA 740.



Figura 5: FSA 740
(Bosch, 2018)

- **Compresometro**

El compresometro es un manómetro, el cual sirve para medir la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados, siendo una herramienta útil en el diagnóstico del motor de combustión interna, diseñado para realizar pruebas de compresión para ayudar a identificar pistones dañados, anillos desgastados, válvulas quemadas y juntas de culata quemadas. En la figura 6, se muestra este equipo de las siguientes especificaciones: Manómetro con dos pruebas de presión: 0 – 300 PSI/ 0 a 2100 kPa. Longitud total de la manguera: 16.929 in, longitud del tubo de

presión: 6.024 in, longitud del tubo de presión en ángulo: 6.102 in.



Figura 6: Compresometro (Fiat, 2018)

3.3 PROTOCOLO DE PRUEBAS

Para el desarrollo de la investigación, se propone la ejecución de las siguientes pruebas.

- **Compresión relativa**

La compresión relativa es una medida cuantitativa del amperaje utilizado por cada cilindro para vencer la inercia del movimiento inicial dentro del motor de combustión interna. Cuanto mejor sea la compresión, mayor será la demanda de corriente y viceversa. El procedimiento de prueba es el siguiente:

1. Para medir la tensión de la batería y el número de revoluciones se conecta las pinzas a los bornes de la batería, primero se conecta la pinza negra al borne negativo de la batería y después la pinza roja al borne positivo.
2. Interrumpir el suministro de combustible a los inyectores.
3. Sujetar la pinza de medición de corriente de 1000 amperios (CH2) al cable que une la batería y el motor de arranque, al hacerlo se debe tener en

cuenta la dirección de la flecha en la pinza amperimétrica.

4. Seguir las indicaciones dadas en la pantalla del equipo de prueba.

Durante la ejecución de este paso de prueba debe impedirse que se ponga en marcha el motor mediante intervenciones adecuadas como, por ejemplo, quitando el fusible de la electrobomba de combustible.

- **Rendimiento del motor de arranque**

Para esta prueba, es necesario, aplicar el siguiente procedimiento:

1. Para medir la tensión de la batería y el número de revoluciones se conecta las pinzas a los bornes de la batería, primero se conecta la pinza negra al borne negativo de la batería y después la pinza roja al borne positivo.
2. Durante la conexión de los cables a la batería, el motor debe estar apagado y quitar el contacto de encendido.
3. Sujetar la pinza de medición de corriente de 1000 amperios (CH2) al cable que une la batería y el motor de arranque, al hacerlo se debe tener en cuenta la dirección de la flecha en la pinza amperimétrica.
4. Seguir las indicaciones de la pantalla del equipo.

Esta prueba mide la tensión y la resistencia de la batería, la corriente del motor del arranque, la temperatura y la potencia media absorbida por el motor de arranque durante todo el proceso de accionamiento del arranque.

- **Compresión mecánica**

Para la ejecución de esta prueba, se utiliza el siguiente procedimiento:

1. Encender el motor, para alcanzar la temperatura de operación apropiada.
2. Desconectar los cables de alta tensión o bobinas de encendido de las bujías.
3. Retirar las bujías del alojamiento del cabezote.
4. Colocar el compresometro en el alojamiento de la bujía. Asegurarse del acoplamiento correcto.
5. Encender el motor y acelerar por aproximadamente 4 segundos para conseguir medir la compresión del motor de esta bujía.
6. Apagar el motor y repetir el proceso anterior en cada uno de los alojamientos de las bujías.

3.4 PRUEBA DE HIPOTESIS PARA MUESTRAS PEQUEÑAS

Una *hipótesis estadística* es una afirmación sobre los valores de los parámetros o una característica de una población o proceso, la cual es susceptible de probarse a partir de la información contenida en una muestra representativa que se obtiene de la población (9). Se destacan Hipótesis nula (H_0) es la afirmación acerca del valor de un parámetro poblacional que se considera válida para desarrollar el procedimiento de prueba. Hipótesis alternativa (H_A) es la afirmación que se aceptará si los datos muestrales proporcionan evidencia de que la hipótesis nula es falsa. El nombre de hipótesis nula se deriva del hecho de que comúnmente se plantea como una igualdad, lo cual facilita tener una distribución de probabilidad de referencia específica. El investigador está interesado en concluir que una de las dos hipótesis se cumple [11]

Para establecer la referencia se calcula el estadístico de prueba (t) y la probabilidad de error (p), empleando la distribución de t Student, con la ecuación 5:

$$t = \frac{X - \mu}{\frac{S_x}{\sqrt{n}}} \quad \text{Ec. [5]}$$

Se debe establecer el nivel de significancia (α). Para las investigaciones se recomienda utilizar el valor de 0,05, es decir, 95% de confianza y 5% de error.

Se prosigue, determinando el valor del coeficiente t tabulado, considerándose $\alpha=0,05$. Se establece el grado de libertad ($gl = n-1$).

Finalmente, se establece para toma de decisión para aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0):

- Rechazo de hipótesis nula (H_0), cuando la probabilidad de error (p) es mayor que el nivel de significancia, y se cumple la igualdad propuesta
- Aceptación de hipótesis nula (H_0), cuando la probabilidad de error (p) es menor que el nivel de significancia y se cumple la igualdad propuesta acorde al t tabulado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 COMPRESIÓN RELATIVA

Los resultados obtenidos de la compresión relativa, en la figura 7 se muestra un ejemplo de los resultados correspondiente al vehículo Chevrolet Sail y en la figura 8, se muestra el ejemplo en un vehículo Chevrolet Aveo.



Figura 7. Compresión relativa Modelo 1 (1.4 litros) (FSA, 2020)

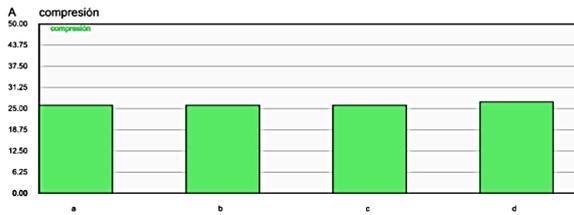


Figura 8. Compresión relativa Modelo 2 (1.5 litros) (FSA,2020)

En la tabla 2, se compilan los resultados por cilindro para cada motor, los resultados obtenidos se muestran basados en el orden de encendido del motor. Para cada modelo, se analizó 10 vehículos.

Tabla 2. Compresión relativa

Valores	Modelo 1	σ	Modelo 2	σ
Cilindro 1	25,7	0,66	24,4	1,55
Cilindro 2	25,2	1,00	24,4	1,83
Cilindro 3	24,9	1,09	24,9	1,53
Cilindro 4	24,6	1,75	24,2	1,49
Media	25,09		24,46	

(Quimbiulco y Mora,2021)

En la figura 9, se muestra el comportamiento del amperaje acorde al funcionamiento del motor de arranque para el modelo 2. Si se reduce la corriente de arranque (CCA) de la batería específica por el fabricante, influye en el valor de la corriente de reposo.

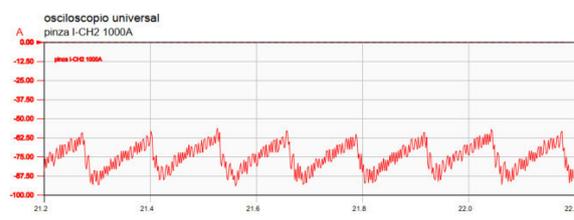


Figura 9. Medición de corriente de arranque en prueba de compresión relativa (FSA, 2021)

4.2 RENDIMIENTO MOTOR DE ARRANQUE

El comportamiento de los parámetros eléctricos del motor de arranque y batería, en el momento de arranque, se muestran en la figura 10, considerándose los modelos de prueba utilizados.

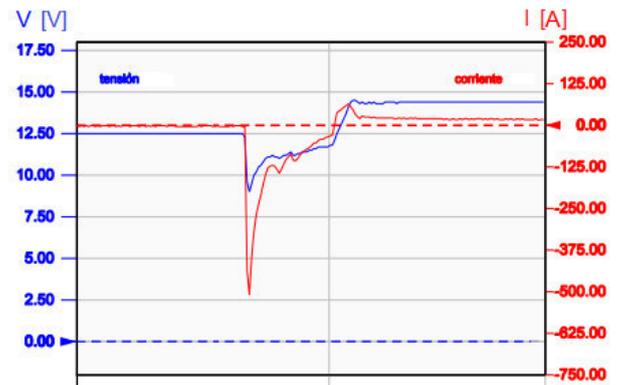


Figura 10. Variación de voltaje e intensidad de corriente durante el arranque del vehículo de prueba (FSA, 2020)

Los resultados obtenidos de las mediciones tabuladas del motor de arranque se muestran en la tabla 3. El rendimiento se calculó en base a la ecuación 3. Los consumos de potencia se promedian de los valores obtenidos por cada vehículo.

Tabla 3. Parámetros del motor de arranque

Valores	Modelo 1	Modelo 2
Consumo de potencia [kW]	1,01	0,91
Rendimiento [%]	92,1	82,5

(Quimbiulco y Mora,2021)

Las características de las baterías de los vehículos de pruebas, están acorde a los requerimientos del fabricante y operando dentro de los límites de tensión apropiados tanto en reposo y carga. Acorde a los datos

del fabricante, la batería tiene especificado un CCA de 410 A. en la figura 11, se muestra la variación de medida de compresión relativa y la incidencia del rendimiento.

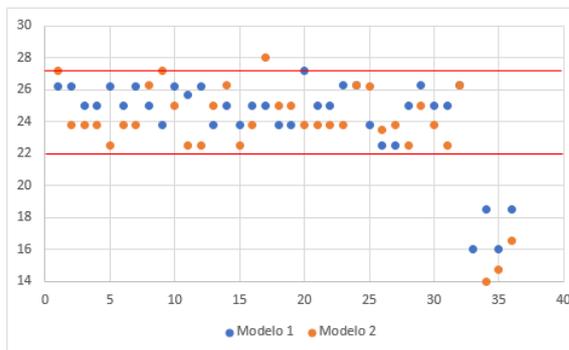


Figura 11. Límites de rendimiento del motor de arranque y compresión relativa (Quimbiulco y Mora,2021)

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para establecer la relación entre la compresión mecánica y la compresión relativa, se establece las siguientes hipótesis, considerando un nivel de significancia de 0,05(valor de probabilidad de error para las mediciones obtenidas):

- Hipótesis nula (HO): Compresión relativa = 25
- Hipótesis alternativa (HA): Compresión relativa > 25

Los datos estadísticos calculados para la muestra, se detallan en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados estadísticos de Modelo 1 y 2

	Modelo 1	Modelo 2
Compresión relativa(media)	25,09	24,46
n	32	32
Error típico	0,2047	0,2745
Mediana	25	23,8
Desviación estándar	1,157997	1,553063
Varianza de la muestra	1,340957	2,412006

Los datos correspondientes para el estadístico t calculado, se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Distribución t para modelos analizados con varianzas desiguales

Estadístico t	1,84327103
Grado de libertad(gl)	31
P(T<=t) una cola	0,03524538
Valor crítico de t (una cola)	1,67202889
P(T<=t) dos colas	0,07049076
Valor crítico de t (dos colas)	2,00246546

(Quimbiulco y Mora,2021)

Para establecer el valor de t tabulado, se emplea los grados de libertad (31) y nivel de confianza del 95%, obteniéndose de la tabla el valor de t = 2,039.

El valor calculado t es inferior al valor tabulado, considerando $p > \alpha$, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa.

En base a la hipótesis alternativa, se establece que todos los vehículos de pruebas con un valor de compresión relativa mayor a 25, tienen una compresión mecánica de 150 psi.

En el caso de variabilidad en las mediciones de la compresión relativa, es necesario, ejecutar la medición de la compresión mecánica. Se considera una tolerancia del 25% entre las mediciones.

5. CONCLUSIONES

Existe una relación entre la compresión relativa y la compresión mecánica del motor, esta relación se influencia por las características eléctricas de la batería, incidiéndose en el rendimiento del motor de arranque, si el rendimiento es menor al 82,5 %, no existe ninguna relación entre ambos parámetros.

El rendimiento de referencia para el motor de arranque es del 82,5 %, bajo estas condiciones las mediciones de compresión relativa tuvieron un margen de variación de $\pm 10\%$, por lo tanto, para las mediciones efectuadas no existe una incidencia de la

tendencia de desgaste natural de los cilindros en los motores medidos.

Los parámetros estadísticos establecen una probabilidad de error máxima del 7%, para el conjunto de datos medidos, por ello, el equipo utilizado ofrece parámetros de exactitud y precisión viables para el proyecto desarrollado.

La prueba de hipótesis establece la relación entre ambos tipos de compresión, acorde a la hipótesis planteada, si el valor es superior a 25, la compresión del motor es de 150 psi, esto implica que el motor de combustión interna medido tiene una relación de compresión apropiada, sin necesidad de recurrir al método directo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tipanluisa, L., Remache, A, Ayabaca, C., & Reina, S. Emisiones Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles de dos Calidades. *Información tecnológica*, 28(1), 03-12. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000100002>. 2017.
- [2] Payri, F. Motores de Combustión Interna Alternativos. España: Reverte. 2012
- [3] Cano, J. Análisis del funcionamiento de un motor de encendido provocado TJI mediante una herramienta de diagnóstico de la combustión. Tesis Doctoral. 2019.
- [4] Islas Rivera, V., & Lelis Zaragoza, M. Análisis de los sistemas de transporte. Vol. 1: Conceptos básicos. *PUBLICACION TECNICA*. 2008
- [5] Morales, M. R., Guzmán, A. H., & No, P. T. Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible. *INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE*. 13. 2014.
- [6] Anónimo. Medida de la compresión del motor de combustión con osciloscopio. Motores de gasolina y Diesel. Disponible en: [https://sistemaselectricosdelautomovil.com/medida-de-compresion-con-osciloscopio-en-motores-de-gasolina/#:~:text=La%20medida%20de%20a%20compresi%C3%B3n,necesaria%20para%20arrancar%20el%20motor](https://sistemaselectricosdelautomovil.com/medida-de-compresion-con-osciloscopio-en-motores-de-gasolina/#:~:text=La%20medida%20de%20a%20compresi%C3%B3n,necesaria%20para%20arrancar%20el%20motor.). 2017.
- [7] Fiat, Motor de arranque. Disponible en: <https://automotrizenvideo.com/wp-content/sp-resources/forum-file-uploads/dannyd/2012/11/Acumuladores-recarga-y-arranque-4-Grupo-Fiat.pdf>. 2018
- [8] Anónimo. Batería. Disponible en: <https://es.dreamstime.com/stock-de-ilustraci%C3%B3n-corte-transversal-de-la-bater%C3%ADa-de-coche-con-la-etiqueta-abstracta-image74845331>. 2018
- [9] Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. Anuario. Quito. 2019
- [10] Bosch. Manual FSA. 2018
- [11] Sánchez Turcios, R. t-Student: Usos y abusos. *Revista mexicana de cardiología*. 26.1, 59-61. 2015

ANEXOS

ANEXO FOTOGRÁFICO

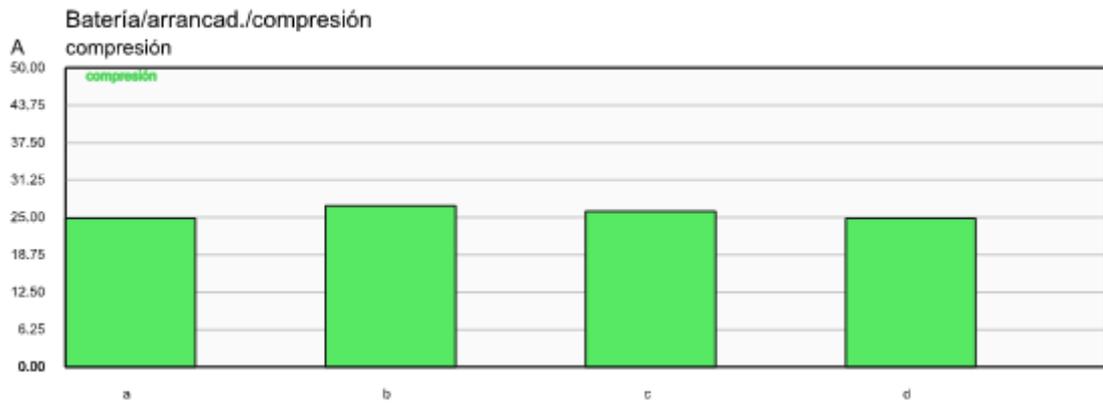


Figura A.1. Medición de compresión relativa 1
(Quimbiulco y Mora,2021)

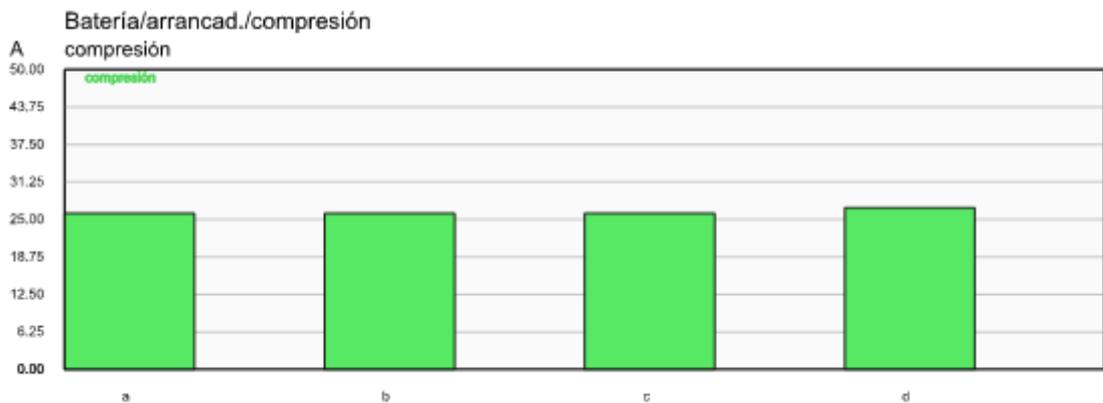


Figura A.2. Medición de compresión relativa 2
(Quimbiulco y Mora,2021)



Figura A.3. Medición de compresión mecánica
(Quimbiulco y Mora,2021)

Prueba: Batería/Corriente del motor de arranque

Batería/Corriente del motor de arranque

medición 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
Resistencia batería interna	mΩ	----	8.8	8.3
tensión CH1 máx.	V	----	----	14
tensión CH1 mín.	V	----	----	10.2
temperatura	°C	----	----	62.4
Consumo de potencia	kW	----	----	-1.08
corriente CH2 max	A	----	----	65
corriente CH2 min	A	----	----	-270
CCA(SAE)	A	----	----	540

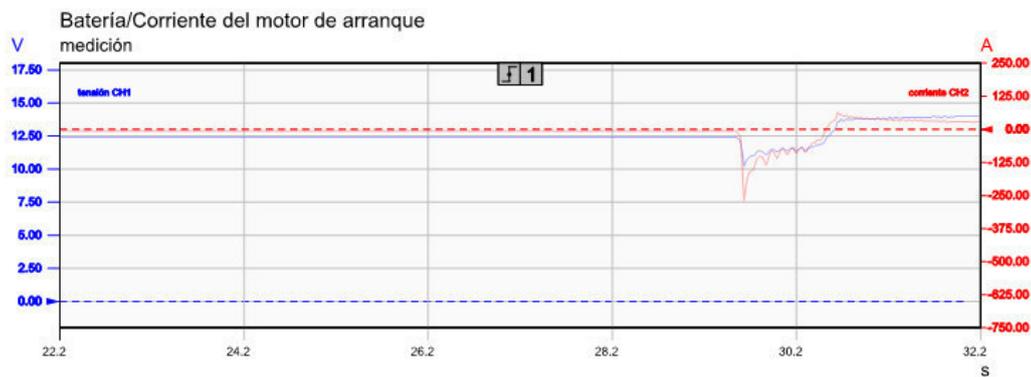


Figura A.4. Medición de batería y motor de arranque 1
(Quimbiulco y Mora,2021)

Prueba: Batería/Corriente del motor de arranque

Batería/Corriente del motor de arranque

medición 1

Resultado	Unidad	Mín.	Máx.	Medido
Resistencia batería interna	mΩ	----	8.8	8.4
tensión CH1 máx.	V	----	----	13.6
tensión CH1 mín.	V	----	----	10.4
temperatura	°C	----	----	53.9
Consumo de potencia	kW	----	----	-1.38
corriente CH2 max	A	----	----	57
corriente CH2 min	A	----	----	-267
CCA(SAE)	A	----	----	540

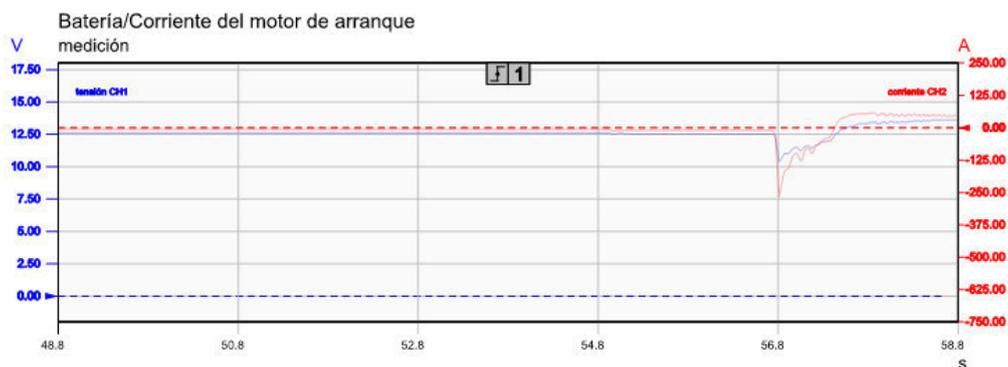


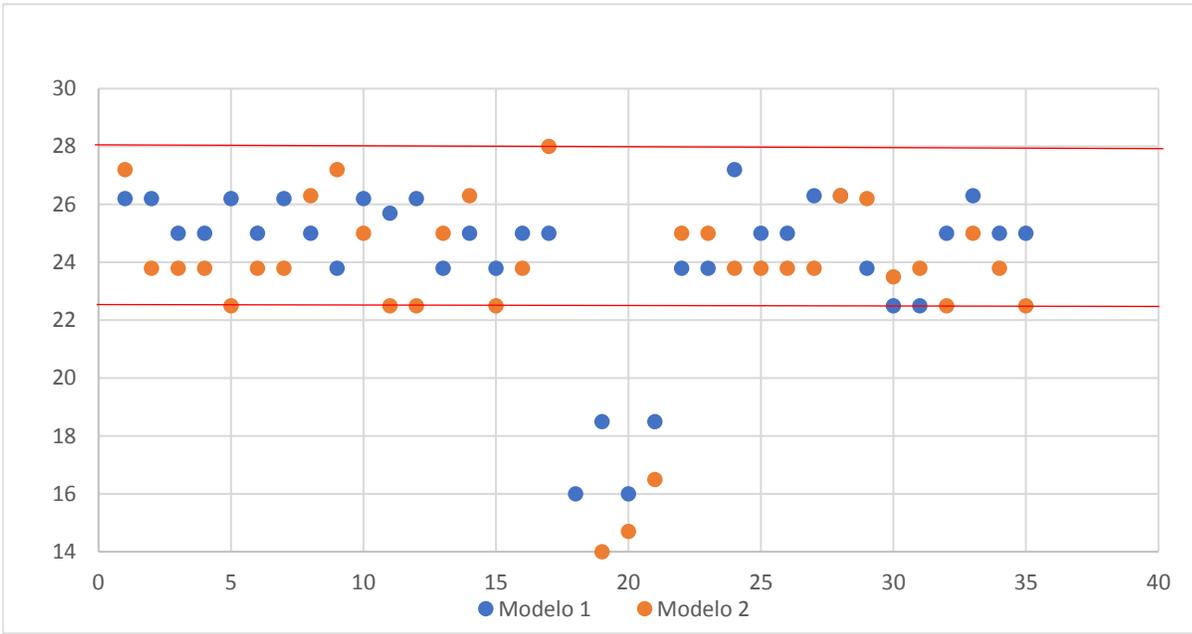
Figura A.5. Medición de batería y motor de arranque 2
(Quimbiulco y Mora,2021)



Figura A.6. Equipo de pruebas instalado en vehículo
(Quimbiulco y Mora,2021)

Compresión relativa medida en cada cilindro de los vehículos de prueba

	M1		M2
1	26,2		27,2
2	26,2		23,8
3	25		23,8
4	25		23,8
5	26,2		22,5
6	25		23,8
7	26,2		23,8
8	25		26,3
9	23,8		27,2
10	26,2		25
11	25,7		22,5
12	26,2		22,5
13	23,8		25
14	25		26,3
15	23,8		22,5
16	25		23,8
17	25		28
18	16		12,7
19	18,5		14
20	16		14,7
21	18,5		16,5
22	23,8		25
23	23,8		25
24	27,2		23,8
25	25		23,8
26	25		23,8
27	26,3		23,8
28	26,3		26,3
29	23,8		26,2
30	22,5		23,5
31	22,5		23,8
32	25		22,5
33	26,3		25
34	25		23,8
35	25		22,5



Emisiones Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles de dos Calidades

Luis E. Tipanluisa ⁽¹⁾, Abel P. Remache ⁽²⁾, Cesar R. Ayabaca ⁽¹⁾ y Salvatore W. Reina ⁽¹⁾

(1) Dpto. de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara, E11-253, P.O. Box 17-01-2759, Quito, Ecuador (e-mail: luis.tipanluisa@epn.edu.ec; cesar.ayabaca@epn.edu.ec; salvatore.reina@epn.edu.ec)

(2) Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemáticas, Univ. Central del Ecuador, Quito, Ecuador (e-mail: apremache@uce.edu.ec)

Recibido May. 12, 2016; Aceptado Jun. 21, 2016; Versión final Ago. 20, 2016, Publicado Feb. 2017

Resumen

Se ha determinado la relación entre la calidad de la gasolina que se expende en el Ecuador (determinada por su octanaje) y el grado de las emisiones contaminantes producidas por el mismo vehículo de prueba, pero a presión atmosférica distinta en las distintas regiones del país, ubicadas desde nivel del mar hasta sobre los 2500 metros de altura. Para lograr dicho objetivo, se realizó una serie de pruebas y se ha considerado cinco medidas. Se realizó una medición estática de gases, en la que se consideró cuatro parámetros que son: hidrocarburos no combustionados HC (ppm), monóxido de carbono CO (%V), dióxido de carbono CO₂ (%V) y oxígeno O₂ (%V). Una vez procesados los datos se determinan los efectos de variables tales como revoluciones por minuto del motor (rpm), octanaje del combustible y altura del lugar de las mediciones, sobre las emisiones de CO, CO₂, HC y O₂.

Palabras clave: emisiones contaminantes; gases de escape; motor a gasolina; número octano;

Polluting Emissions of a Spark Engine Operating at Two Heights with Two Qualities Fuels

Abstract

In this article, the relation between the quality of the gasoline expended in Ecuador (determined by its octane number) and the amount of polluting emissions produced by the same test vehicle, but at different atmospheric pressure of the country's regions, located at altitudes from sea level to as high as 2500 meters has been determined. To achieve this objective, a series of tests were done and five measures with five repetitions were conducted. A static exhaust measurement was performed, in which four parameters are considered: unburned hydrocarbons HC (ppm), carbon monoxide CO (%V), carbon dioxide CO₂ (%V) and oxygen O₂ (%V). Once data are processed the effects of variables such as revolutions per minute (rpm), fuel octane and height of the location of measurements, on the emissions of CO, CO₂, HC and O₂ are determined.

Keywords: polluting emissions; exhaust gas; gasoline engine; octane number

INTRODUCCIÓN

Una de las discusiones actuales más significativas en el cambio climático es en torno al tema de la emisión baja en carbono y su efecto sobre la salud humana (Achour, 2016). La energía que se utiliza en movilidad representa más del 25% del suministro de energía del mundo, la demanda mundial de petróleo se concentra en el sector del transporte con más del 50%, y la mayor parte en el transporte por carretera (World Energy Outlook, 2013). El sistema de propulsión más utilizado en la actualidad, es el motor de combustión interna alternativo MCI (World Energy Council, 2011). La gran mayoría de estudios relacionados con los MCI, se basan en disminuir el consumo de combustibles y en la reducción de emisiones contaminantes (U.S Department of Energy). Emisiones de vehículos son una fuente importante de contaminación del aire urbano (Dai, 2015). La contaminación del aire es un problema bien conocido que oscila entre los problemas locales de calidad del aire, hasta los efectos globales que de la humanidad se enfrenta (Holman, 2015). Tras el Foro Internacional de Transporte las emisiones de CO₂ del sector transporte representan el 23% a nivel mundial y 30% OCDE de las emisiones totales de CO₂ procedentes de la quema de combustibles fósiles (Rakha, 2003; Krajzewicz, 2015).

Las normas de emisiones de vehículos son las herramientas de políticas técnicas primarias disponibles para mitigar las emisiones de los vehículos. Los procedimientos de prueba de emisiones para los vehículos ligeros se basan en un ciclo de transición que representa el patrón de conducción de un país en particular. Los ciclos para vehículos ligeros de servicio son FTP-75 y NEDC que se utilizan en los Estados Unidos y los procedimientos de ensayo europeos, respectivamente (Pathak, 2016). Los factores de emisión son la cantidad promedio de contaminantes emitidos por un tipo de vehículo (Binder, 2014). Estos se expresan en términos de masa de contaminante emitido por unidad de distancia recorrida o por unidad de combustible consumido. La determinación de estos factores representa grandes desafíos para las autoridades ambientales (Huertas, 2013).

Para obtener el ciclo de conducción típico de la ciudad y medir las emisiones de un gran número de vehículos siguiendo los procedimientos estándar (Qu, 2015; Liu, 2015), se han desarrollado varios trabajos para encontrar el ciclo de conducción típico de cada ciudad (Huertas, 2005; Booth, 2002; Andre, 1996). Las emisiones se evalúan mediante estándares ASM 5015, ASM 2525 o tipo similar de pruebas (Thomas, 2010). El estudio planteado de Emisiones Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles de dos Calidades, busca determinar la relación entre la calidad de la gasolina que se expende en el Ecuador (octanaje), la presión atmosférica de las distintas regiones del país, a nivel del mar, y sobre los 2500 metros de altura.

Se debe tomar en cuenta la condición de ajuste en la inyección de combustible que viene dada por los resultados del cálculo de la relación aire/combustible (A/C), con los datos del sensor de oxígeno (CISE, 2011), en condiciones de mezcla rica, el tiempo de apertura de los inyectores disminuye. Cuando la altitud aumenta la masa de oxígeno disminuye, sin importar la temperatura ambiental (Lapuerta et al., 2006), influyendo en la relación A/C de tal modo que el incremento de altura determina un ángulo de encendido mayor (Bosch, 2002). De lo expuesto, tanto el ángulo de encendido y la altura son determinantes en el consumo de combustible, el par motor y los gases emitidos. Se ha considerado las Normativas vigentes en el país como: el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 017: Control de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres, del cual se definen las normas a seguir para motores de gasolina. Entre las que se encuentran las normas NTE INEN 2203: Medición de emisiones de gases de escape en motores de combustión interna; NTE INEN 2204: Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina; y la norma NTE INEN 2349: Revisión técnica vehicular. Procedimientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se ha realizado una investigación de campo, de carácter exploratoria, en la cual se busca determinar la diferencia de niveles de emisiones de gases contaminantes, en la combustión de un motor de Ciclo Otto, utilizando gasolinas de 87 y 92 octanos, a nivel del mar y sobre los 2500 metros de altura. Para cada tipo de combustible y región estudiada, se han efectuado cinco mediciones, primero con una velocidad de giro del motor de 700 rpm, y posteriormente a 2500 revoluciones por minuto. Para cada prueba, el motor del vehículo debe estar a temperatura de funcionamiento. La investigación requiere repetir las pruebas con combustibles de dos calidades (octanajes distintos), con el fin de que las mismas no se mezclen y alteren los resultados de las pruebas, se utiliza un cánister externo que hace la función de un tanque de combustible, se lo llena previamente con el tipo de combustible requerido. Este procedimiento se realiza a 2860 m, y se repite a una altura de 15 m. Las pruebas se realizaron en el Laboratorio del CCICEV en la ciudad de Quito, y en la ciudad de Tonsupa, a alturas de 2860 m y 15 m respectivamente.

Equipos utilizados

Se ha utilizado el vehículo de marca Nissan, modelo SENTRA 2.0 SPORT 6MT SER fabricado en el año 2011, de 2000 cm³ de cilindrada, en la tabla 1 se describen las características del motor del vehículo.

Tabla 1: Características principales del motor.

Modelo:	MR20DE
Tipo:	16 válvulas, 4 cilindros en línea, DOHC, CVTC
Cilindrada:	1997 cm ³
Carrera:	90.1 mm
Diámetro:	84.0 mm
Potencia:	104 Kw @ 5100
Torque:	193 Nm @ 4800
Relación de compresión:	9.7:1

Para la medición de las emisiones se ha utilizado un analizador de gases MGT-5 MAHA con modulo fijo de control, los datos técnicos y una imagen del mismo se presentan en la tabla 2 y figura 1 respectivamente. En la tabla 3 se presentan las principales condiciones atmosféricas de las dos zonas de estudio donde se desarrolló el experimento.

Tabla 2: Datos técnicos del analizador de gases MGT-5.

Gases analizables	CO	CO ₂	HC	O ₂
Rango de medición	0 - 15,00 Vol %	0 - 20,0 Vol %	0 - 2000 ppm (Hexano) 0 - 4000 ppm (Propano)	0 - 25,00 Vol %
Precisión de medida	0,06 Vol %	0,5 Vol %	12 ppm vol	0,1 Vol %
Principio de medida	infrarrojo	infrarrojo	infrarrojo	electro-químico
Resolución valores de medida	0,001 Vol %	0,01 Vol %	0,1 ppm vol	0,01 Vol %



Fig. 1: Analizador de gases MAHA modelo MGT-5 (Maha, 2014).

Tabla 3: Condiciones atmosféricas de las dos altitudes.

Ciudad	Condición Atmosférica				
	Presión atm.	Temperatura	Humedad	Altura	Viento
Quito	72852 Pa	15 °C	60 %	2850 m	16 Km/h
Tonsupa	101100 Pa	28 °C	84%	15 m	19 Km/h

Protocolo de pruebas

La medición se realiza cuando el vehículo está en la temperatura de funcionamiento y la transmisión del mismo se encuentra en neutro. Para cada tipo de combustible y región estudiada se realizan cinco mediciones, en bajas revoluciones (ralentí 700 rpm) y en altas revoluciones (2500 rpm). El tiempo de medición es aproximadamente 30 segundos en cada prueba, para asegurarse de que el vehículo esté estable. La medición estática de gases se realizó para cuatro parámetros que son hidrocarburos no combustionados HC (ppm), monóxido de carbono CO (%V), dióxido de carbono CO₂ (%V) y oxígeno O₂ (%V). Para la realización de las pruebas se sigue el protocolo que se describe en los siguientes nueve puntos: (1) Comprobar que el equipo haya pasado por un período de calentamiento y estabilización (5 minutos); (2) Verificar que el sistema de escape del automotor no presente fugas ni salidas adicionales a las del diseño; (3) Revisar que accesorios del vehículo tales como luces, aire acondicionado, etc. no se encuentren funcionando; (4) Verificar que el motor se encuentre a la temperatura normal de funcionamiento; (5) Verificar que la transmisión del vehículo se encuentre en neutro en caso de tener transmisión manual o en parqueo en caso de ser de transmisión automática; (6) Conectar la pinza trigger al cable de una de las bujías de encendido, para conocer el número exacto de revoluciones; (7) Introducir totalmente la sonda en el tubo de escape, verificando previamente la limpieza de la misma y asegurarse que quede fija dentro del sistema de escape durante la medición; (8) Para tomar la medida en marcha mínima o ralentí, las revoluciones no deben ser mayores a 1200 rpm. Caso contrario la prueba no podrá realizarse; (9) Acelerar hasta 2500 rpm para efectuar la medición en altas revoluciones, mantener estable el acelerador y tomar la medida.

En la figura 2 se presenta una fotografía de la utilización del cánister el mismo que consta de una bomba manual con la que se presuriza el sistema a 50 psi o 344,74 kPa para garantizar el flujo constante de combustible; su presión es revisada en cada prueba. Después del cambio de combustible el vehículo permanece encendido durante 5 minutos, acelerándolo a 4000 rpm para procurar consumir cualquier residuo del combustible de distinto octanaje.

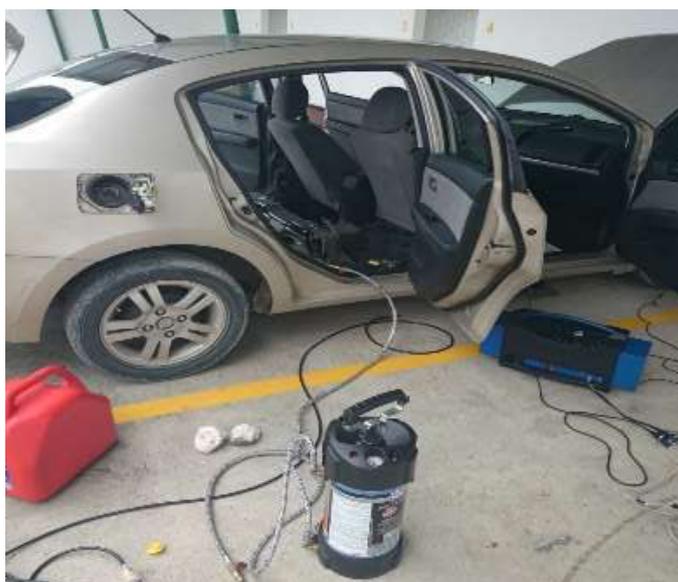


Fig. 2: Cánister conectado a la vía de combustible del vehículo; pruebas a 15 m.

Los datos obtenidos deben ser procesados, tabulados y analizados. Dicho análisis se realiza con la finalidad de determinar la validez de los datos y por ende de la prueba, mediante el uso de las siguientes fórmulas:

$$\chi = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N} \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \chi)^2}{N} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \chi)^2}{N}} \quad (3)$$

Donde χ es la media aritmética o promedio; σ^2 es la varianza; σ es la desviación estándar; y N es el número de valores. Además, una vez realizados dichos cálculos, se utiliza las Gráficas de Control de Shewart para pocos datos, a fin de determinar si los valores obtenidos obedecen a un patrón, o son datos que se los puede considerar "al azar" debido a factores externos a la prueba (Universidad Rovira I Virgili, 2015). Para el cálculo de los límites superior e inferior de la tolerancia de los valores, se utiliza las siguientes fórmulas:

$$LS = \chi + \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

$$LI = \chi - \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

Donde LS es el límite superior de tolerancia; y LI es el límite inferior de tolerancia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizadas todas las pruebas requeridas, se procesan los datos obtenidos, logrando los siguientes resultados debidamente ajustados. En la Tabla 4, se presentan los datos de las pruebas realizadas en el Laboratorio del CCICEV, en la ciudad de Quito, con gasolina de 92 octanos a una altura aproximada de 2860 m. En la Tabla 5, se presentan los resultados de las pruebas realizadas en el Laboratorio del CCICEV, en la ciudad de Quito, con gasolina de 87 octanos a una altura aproximada de 2860 m.

Tabla 4: Gasolina de 92 octanos; altura de 2860 m.

Parámetros	Promedio (Media)	
	ralentí	rpm alta
CO (%V)	0,05	0,06
CO ₂ (%V)	14,26	14,72
HC (ppm)	6,40	8,50
O ₂ (%V)	0,93	0,51

Tabla 5: Gasolina de 87 octanos; altura de 2860 m.

Parámetros	Promedio (Media)	
	ralentí	rpm alta
CO (%V)	0,04	0,07
CO ₂ (%V)	14,27	14,54
HC (ppm)	6,66	6,75
O ₂ (%V)	0,77	0,52

En la Tabla 6, se presentan los resultados de las pruebas realizadas utilizando los mismos equipos del CCICEV en la ciudad de Tonsupa, con gasolina de 92 octanos a una altura aproximada de 15 m. En la Tabla 7, se presentan los resultados de las pruebas realizadas utilizando los mismos equipos del CCICEV en la ciudad de Tonsupa, con gasolina de 87 octanos a una altura aproximada de 15 m.

Tabla 6: Gasolina de 92 octanos; altura de 15 m.

Parámetros	Promedio (Media)	
	ralentí	rpm alta
CO (%V)	0,02	0,00
CO ₂ (%V)	14,10	14,64
HC (ppm)	0,40	0,50
O ₂ (%V)	1,18	0,49

Tabla 7: Gasolina de 87 octanos; altura de 15 m.

Parámetros	Promedio (Media)	
	ralentí	rpm alta
CO (%V)	0,01	0,25
CO ₂ (%V)	14,10	14,37
HC (ppm)	7,00	20,33
O ₂ (%V)	1,18	0,43

Se debe mencionar que la concentración másica de oxígeno en el aire admitido disminuye con la altitud (Lapuerta, 2006), en contraparte el incremento de la temperatura disminuye la densidad, pero como regla general la altura influye en mayor proporción (Aeronáutica, 2009), de esta manera a mayor altura se tendrá una presión inferior así como una densidad baja, adicionalmente la gradiente térmica influye en una disminución de temperatura a medida que se incrementa la altitud. En la Figura 3 se nota claramente como los niveles de CO a altura aproximada de 2860 m son bastante mayores a los valores a nivel del mar.

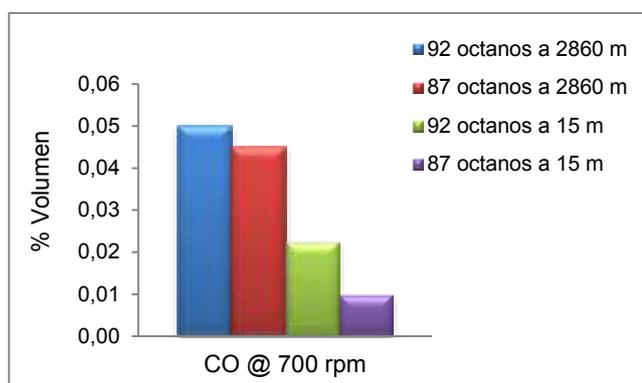


Fig. 3: Monóxido de Carbono a bajas revoluciones

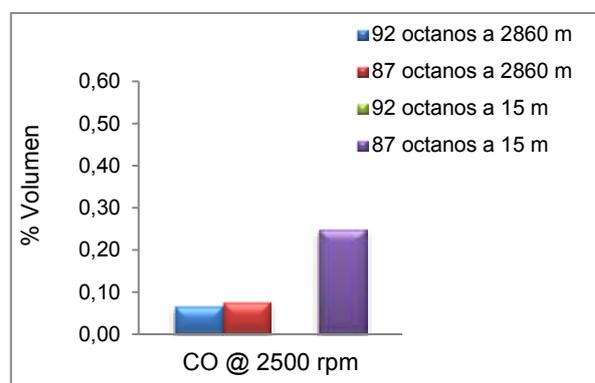


Fig. 4: Monóxido de Carbono a altas revoluciones

En la Figura 4, se puede ver la diferencia entre las emisiones a 2860 m y las emisiones a nivel del mar; sin embargo, la más notoria diferencia es entre distintos combustibles a nivel del mar, siendo las emisiones para gasolina de 92 octanos mínimas, tendiendo a cero, mientras que las emisiones para gasolina de 87 octanos es la más alta medición.

Acorde al modelo del vehículo (año 2011), y al mínimo mantenimiento realizado en los sensores se puede establecer que el aumento sus valores de CO y HC (anormales) a altas revoluciones, se deben al inicio de un malfuncionamiento del sensor de presión absoluta, a pesar que los valores se encuentran dentro de los rangos permitidos por la norma NTE INEN 2204. Estas diferencias se dan cuando el sensor realiza una mala medición del diferencial de presión: atmosférica y de succión, como consecuencia de una pérdida de sensibilidad del sensor. Prueba de ello se puede apreciar que las variaciones de O₂ y CO₂ son relativamente inapreciables (Xunta de Galicia, 2015), como se muestra en las figuras 5, 6, 9 y 10.

En la Figura 5, se aprecia una clara diferencia entre las pruebas realizadas a 2860 m y las pruebas realizadas a nivel del mar, siendo los niveles de emisiones de estas últimas, claramente menores. Mientras que en la Figura 6, al aumentar las rpm, los niveles de CO₂ son mayores al utilizar la gasolina de mayor octanaje, esto se debe a que su combustión es mejor, y las emisiones de este gas son mayores pero las de Monóxido de Carbono son menores. En las figuras 7 y 8, tenemos una clara muestra que el mejor resultado se consiguió con gasolina de 92 octanos a nivel del mar, mientras que el peor resultado es el de la gasolina de menor octanaje a la misma altura; sin embargo, debe resaltarse que al aumentar la velocidad de giro del motor, los niveles de emisiones para gasolina de 97 octanos se triplican.

La norma INEN 2204 solo determina los límites para monóxido de carbono e hidrocarburos para pruebas estáticas. Sin embargo en el instructivo de Revisión Técnica Vehicular 2014 establece un límite del 3% de emisiones de oxígeno para altas y bajas revoluciones en el cual un vehículo aprobaría la revisión sin ninguna observación. Los niveles de emisiones de oxígeno de las pruebas realizadas a bajas revoluciones (700 rpm) se puede observar en la figura 9 y de las pruebas realizadas a altas revoluciones (2500 rpm) se puede observar en la figura 10.

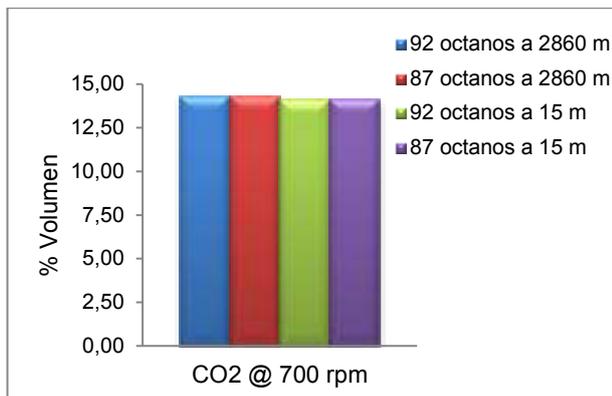


Fig. 5: Dióxido de Carbono a bajas revoluciones

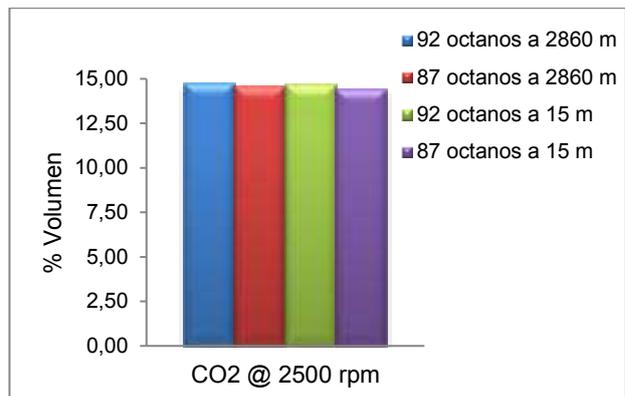


Fig. 6: Dióxido de Carbono a altas revoluciones

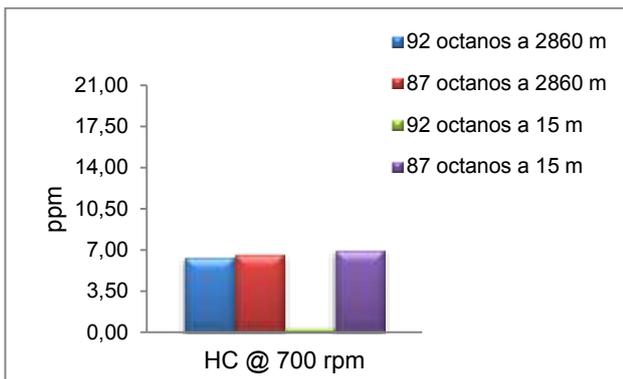


Fig. 7: Hidrocarburos a bajas revoluciones

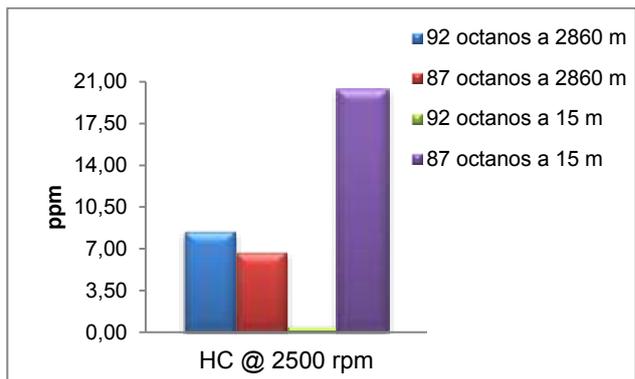


Fig. 8: Hidrocarburos a altas revoluciones

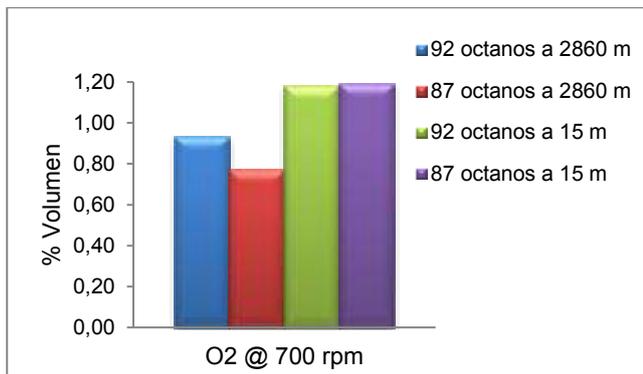


Fig. 9: Oxígeno a bajas revoluciones

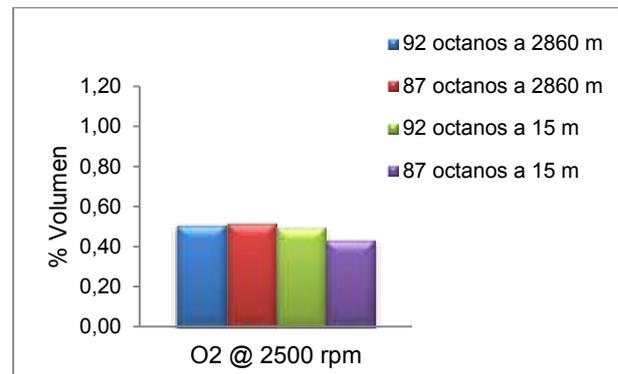


Fig. 10: Oxígeno a revoluciones altas

CONCLUSIONES

En el presente artículo se indican los efectos significativos que se interrelacionan entre los factores: revoluciones por minuto del motor (rpm), octanaje del combustible y altura del lugar de las mediciones, a dos niveles experimentales que inciden en las variables de respuesta emisiones CO, CO₂, HC y O₂:

- 1.- Los factores de mayor efecto significativo para el CO, son el octanaje y la altura. Se obtiene una menor emisión de CO con un valor de 0,01 %V a 700 rpm, gasolina de 87 octanos y a nivel del mar. Obteniendo una mejor combustión del motor con un combustible de 87 octanos para el vehículo utilizado en el ensayo.
- 2.- Las rpm y la altura inciden significativamente en la variable de respuesta de CO₂, de acuerdo a las condiciones experimentales. Con una gasolina de 92 octanos se obtiene una mejor combustión del motor a una altura de 2860 m.
- 3.- El octanaje y la relación octanaje-altura evidencian un mayor efecto significativo sobre la respuesta a las emisiones HC. Con una gasolina de 92 octanos se obtiene una menor emisión de ppm de hidrocarburos no combustionados con un valor de 0,5 ppm.
- 4.- El efecto significativo en la emisión de O₂ son las revoluciones por minuto del motor y la interrelación rpm-altura. A mayor rpm y 2860 m de altura se obtiene menor emisión de O₂, con un valor de 0,51 %V.

REFERENCIAS

- Achour, H., y Olabi, A. G. Driving cycle developments and their impacts on energy consumption of transportation, doi:10.1016/j.jclepro.2015.08.007, Journal of Cleaner Production, (en línea), 112, 1178-1788 (2016)
- Aeronáutica., La atmosfera (en la web: http://aeronautica.conocimientos.com.ve/2009/12/la-atmosfera_11.html., acceso: 2 de Julio de 2016 (2009).
- Binder, S., Macfarlane, G. S., Garrow, L. A., y Bierlaire, M. Associations among household characteristics, vehicle characteristics and emissions failures: An application of targeted marketing data, doi:10.1016/j.tra.2013.11.005, Transportation Research Part A: Policy and Practice (en línea), 59, 122-133 (2014)
- Bosch, R. Gestión del Motor de Gasolina: Fundamentos y Componentes. Alemania: Serie Amarilla. (2002)
- Cise Electronics., Que es el combustible (en la web: <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/318-que-es-el-ajuste-de-combustible-?-fuel-trim.html>., acceso 28 de Junio de 2016) (2011)
- Dai, S., Bi, X., Chan, L. Y., He, J., Wang, B., Wang, X., y Fu, J. Chemical and stable carbon isotopic composition of PM 2.5 from on-road vehicle emissions in the PRD region and implications for vehicle emission control policy, doi:10.5194/acp-15-3097-2015, Atmospheric Chemistry and Physics,(en línea) 15(6), 3097-3108 (2015)
- E. Booth, T. Muneer, J. Kubie, H. Kirby., A Review of Vehicular Emission Model and Driving Cycles, doi: 10.1243/09544060260171429, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Wilson Applied Science & Technology. USA, (en línea), 216(8), 777-797 (2002)
- H. Rakha, K. Ahn, A. Trani, Comparison of MOBILE5a, MOBILE6, VT-MICRO, and CMEM Models for Estimating Hot-stabilized Light Duty 68 Gasoline Vehicle Emissions, Canadian Journal of Civil Engineering, 30(60), 1010-10221 (2003)
- Holman, C., Harrison, R., y Querol, X., Review of the efficacy of low emission zones to improve urban air quality in European cities. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.04.009, Atmospheric Environment, (en línea), 111, 161-169 (2015)
- Huertas, J. I., Mendoza, E., y Córdoba, J. Use of the information gathered during I/M programs to estimate emissions from gasoline vehicles, Rev. Fac. Ing. Antioquia, (51), 59-68 (2013)
- RTE INEN 017:2008: Control de Emisiones Contaminantes de Fuentes Móviles Terrestres, 1-9, Quito, Ecuador (2008)
- NTE INEN 2203:2013, Medición de Emisiones de Gases de Escape en Motores de Combustión Interna, 1-4, Quito, Ecuador (2013)
- NTE INEN 2204:2002, Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites Permitidos de Emisiones Producidas por Fuentes Móviles Terrestres de Gasolina, 1-6, Quito, Ecuador (2013)
- NTE INEN 2349:2003, Revisión Técnica Vehicular. Procedimientos, 1-14, Quito, Ecuador (2013)
- J. I. Huertas, A. Valdez. "Desarrollo de Ciclos Típicos de Conducción para el Municipio de Naucalpan". V Simposio de Contaminación Atmosférica. México. Agosto (2005)
- Krajzewicz, D., Behrisch, M., Wagner, P., Luz, R., y Krumnow M., Second Generation of Pollutant Emission Models for SUMO. In Modeling Mobility with Open Data, Institut für Verkehrssystemtechnik, (en la web <http://www.citrevistas.cl/informacion-autores.htm>, acceso: 13 de Julio 2016), (2015)
- Lapueta M., Armas O., R. J., Sanchez C., Estudio de la altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna Parte1: Funcionamiento, Inf. Tecnológica, ISSN 0719-0764, (en línea) 17(5), 21-30, (2016)

- Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J., y Sánchez, C. Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. *Información tecnológica*, ISSN0718-0764 (en línea 17(5), 21-30. (2006)
- Liu, B., y Frey, H. C. , Variability in Light-Duty Gasoline Vehicle Emission Factors from Trip-Based Real-World Measurements, doi: 10.1021/acs.est.5b00553, *Environmental Science & Technology*,(en línea) 49(20), 12525-12534 (2015)
- M. Andre. "Driving Cycle Development Characterization of the Methods, doi: 10.4271/961112, SAE International, (en línea), 961112, 15, (1996)
- Maha. Emission Tester; MGT5 Stand Alone. <http://www.maha.de/analizador-de-emisiones-mgt-5-stand-alone.htm?rdeLocaleAttr=es> Acceso: 24 de Julio (2016)
- Millares J., Giménez A., Domenech L., García V., doi: 10.4067/S0718-07642015000400009, *Inf. Tecnol.* (en línea), 26(4),63-74 (2015)
- Pathak, S. K., Sood, V., Singh, Y., y Channiwala, S. A. Real world vehicle emissions: Their correlation with driving parameters, doi: 10.1016/j.trd.2016.02.001, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, (en línea) 44, 157-176 (2016)
- Qu, L., Li, M., Chen, D., Lu, K., Jin, T., y Xu, X. Multivariate analysis between driving condition and vehicle emission for light duty gasoline vehicles during rush hours, doi:10.1016/j.atmosenv.2015.03.038, *Atmospheric Environment*, 110, 103-110 (2015)
- Thomas, D. Collins, J. No, C., Final Report Light Duty Gasoline PM: Characterization of High Emitters and Valuation of Repairs for Emission Reduction., (en la web: <http://www.citrevistas.cl/informacion-autores.htm>, acceso: 13 de Julio 2016.), Phase 3 (2010)
- U.S Department of Energy. Vehicle Technologies Office: Advanced Combustion Strategies., (en la web:<http://energy.gov/eere/vehicles/vehicle-technologies-office-advanced-combustionstrategies>, acceso: 13 de Julio 2016 (2015)
- Universidad Rovira I Virgili, General, Gráficas de Control de Shewart. (en la web : http://www.quimica.urv.es/quimio/general/grafics_de_control.pdf Acceso: 28 de Noviembre) (2015)
- Xunta de Galicia. Conselleria de Cultura, Educación y Ordenación Universitaria., (en la web <http://www.edu.xunta.gal/centros/cifpsomeso/system/files/ANALISIS+DE+GASES.pdf>., acceso 1 de julio de 2016) (2016)
- World Energy Council. Global Transport Scenarios 2050, (en la web: https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2012/09/wec_transport_scenarios_2050.pdf, ISBN: 978-0-946121-14-4.,acces:20 de junio 2015) (2011)
- World Energy Outlook. The World Energy Model: Marco Baroni, Directorate of Global Energy Economics, International Energy Agency. Paris., (en web: <http://www.worldenergyoutlook.org/> Acceso: 20 de Junio) (2015)

Motores de combustión interna alternativos

Editores

Prof. F. Payri

Prof. J. M. Desantes



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

EDITORIAL



**EDITORIAL
REVERTÉ**

Barcelona · Bogotá · Buenos Aires · Caracas · México

Índice de materias

Prólogo	VII
Relación de autores	IX
Nomenclatura	XIX
1 Introducción histórica	
M. Valdés, S. Molina	
1.1 Introducción.....	2
1.2 Antecedentes históricos de los MCIA.....	4
1.3 Los motores de combustión interna alternativos.....	8
1.4 Historia reciente de los motores de combustión interna alternativos.....	14
1.5 Resumen	22
Referencias y bibliografía	22
2 Clasificación de los MCIA	
J. Benajes, E. Navarro	
2.1 Introducción.....	24
2.2 Potencial y debilidades de los MCIA.....	25
2.3 Criterios de clasificación y características diferenciadoras	26
2.4 Diferencias fundamentales entre MEC y MEP	35
2.5 Principales campos de aplicación.....	41
2.6 Resumen	42
Referencias y bibliografía	42
3 Parámetros básicos	
A. Lecuona, P. A. Rodríguez	
3.1 Introducción y objetivos.....	44
3.2 Parámetros geométricos	44
3.3 Parámetros de funcionamiento	50
3.4 Parámetros indicados y efectivos	57
3.5 Relaciones más importantes entre parámetros	65
3.6 Curvas características.....	67
3.7 Resumen	68
Referencias y bibliografía	69

4 Ciclos de trabajo**O. Armas, A. Lecuona**

4.1	Introducción	72
4.2	Definición de ciclos. Clasificación	72
4.3	Diferencias fenomenológicas entre ciclos teóricos y reales	73
4.4	Ciclos teóricos de aire estándar	78
4.5	Efecto de los parámetros del ciclo	82
4.6	Otros ciclos teóricos.....	85
4.7	Resumen.....	89
	Referencias y bibliografía.....	90

5 Pérdidas de calor. Refrigeración**A. J. Torregrosa, P. Olmeda**

5.1	Introducción	92
5.2	La transmisión de calor en el cilindro.....	92
5.3	Flujos térmicos en el motor	106
5.4	Sistemas de refrigeración.....	112
5.5	Introducción a la gestión térmica.....	116
5.6	Resumen.....	121
	Referencias y bibliografía.....	122

6 Lubricación y aceites**V. Macián, B. Tormos**

6.1	Introducción	124
6.2	Modos o regímenes de lubricación	124
6.3	La lubricación de los motores.....	126
6.4	Sistema de lubricación y componentes.....	137
6.5	Características de los aceites lubricantes de motor.....	142
6.6	Clasificaciones de los aceites lubricantes de motor.....	145
6.7	Análisis de los aceites en uso como herramienta de diagnóstico	148
6.8	Resumen.....	149
	Referencias y bibliografía.....	150

7 Pérdidas mecánicas**V. Bermúdez, B. Tormos**

7.1	Introducción	152
7.2	Clasificación de las pérdidas mecánicas.....	153
7.3	Procedimientos para determinar las pérdidas mecánicas.....	165
7.4	Resumen.....	171
	Referencias y bibliografía.....	172

Capítulo 1

Introducción histórica

M. Valdés

S. Molina

1.1	Introducción.....	2
1.2	Antecedentes históricos de los MCIA	4
1.2.1	Las máquinas de vapor.....	4
1.2.2	El nacimiento de la Termodinámica	6
1.3	Los motores de combustión interna alternativos.....	8
1.3.1	El motor sin compresión previa de la carga: Lenoir	8
1.3.2	El ciclo teórico del motor de 4T: Beau de Rochas.....	9
1.3.3	El primer motor de 4T: Otto	10
1.3.4	Motores de encendido por compresión	11
1.3.5	Motores de combustión por difusión	12
1.4	Historia reciente de los motores de combustión interna alternativos.....	14
1.4.1	Sobrealimentación.....	16
1.4.2	Sistemas de formación de la mezcla en MEP	17
1.4.3	Sistemas de inyección Diesel.....	19
1.4.4	Inyección directa e indirecta en motores Diesel	20
1.4.5	Sistemas de control de emisiones	21
1.5	Resumen	22
	Referencias y Bibliografía	22

1.1 Introducción

Los motores de combustión interna alternativos (MCIA) actuales tienen ya más de un siglo de historia. Si hubiera que escoger una fecha que marcara el nacimiento de los motores modernos (tal como los conocemos actualmente), esa sería el año 1876, cuando el alemán Nicolaus Otto solicitó la patente titulada *Gasmotor*, obtenida a nombre de la Gasmotorenfabrik Deutz AG con el número DE 532. En la Figura 1.1 se muestran unos dibujos del motor, extraídos de la solicitud de patente presentada en Estados Unidos.

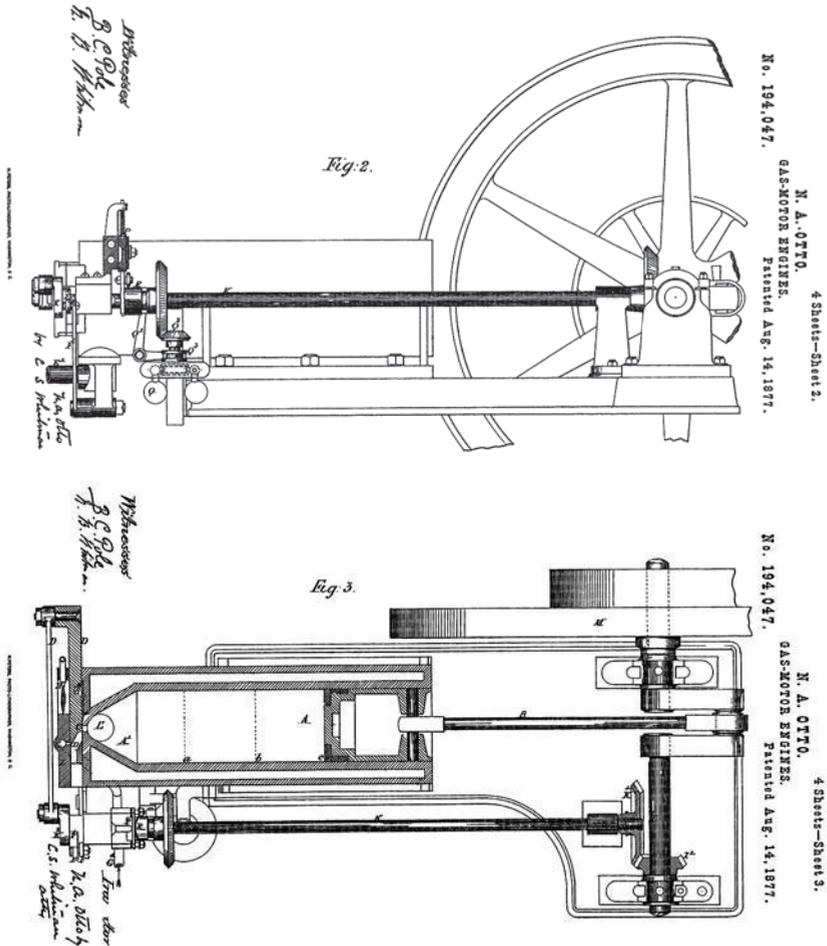


Figura 1.1 Dibujos de la patente de Otto Motor de gas. Fuente: Patente US 194 047; USPTO, Washington.

Si bien el motor de Otto fue, a buen seguro, resultado de una evolución continua, basada a su vez en numerosos antecedentes, hay que atribuirle el mérito de haber establecido la estrate-

gia de los desarrollos futuros de los MCIA en una dirección con respecto a la cual iban a existir pocas desviaciones en lo sucesivo.

Los MCIA no empiezan (ni terminan) con el motor de Otto, aunque éste constituya uno de los hitos más importantes de su historia. Los primeros antecedentes de los MCIA fueron, sin duda, las máquinas de vapor, desarrolladas en el siglo XVIII, durante la primera revolución industrial, de la que, en buena parte, fueron artífices. Las máquinas de vapor se pueden considerar los primeros ingenios capaces de producir, con rendimientos aceptables, energía mecánica no natural, entendiendo por tal la que no procede del aprovechamiento de energías existentes en la naturaleza, como la hidráulica o la eólica. Todos los motores térmicos actuales se derivan, en mayor o menor medida, de las máquinas de vapor. Los MCIA tienen en común con éstas una de sus principales características, que consiste en ser máquinas volumétricas o de desplazamiento positivo, lo que significa que el fluido de trabajo está contenido dentro de un recinto delimitado por paredes móviles que, al desplazarse, modifican el volumen de la masa de fluido que evoluciona por el motor.

Esa circunstancia confiere a las máquinas volumétricas la propiedad de que su funcionamiento se puede comprender de manera intuitiva ya que, hasta cierto punto, es sencillo imaginar lo que sucede cuando un gas se expande o se comprime dentro de un cilindro por mediación del movimiento de un émbolo. Esa aproximación intuitiva permitió que las máquinas de vapor (y, en buena medida, también los MCIA) se desarrollasen de manera esencialmente empírica, sin la existencia de una base que explicara su funcionamiento con método científico.

La similitud existente entre los procesos que tienen lugar en las máquinas de vapor y en los MCIA queda reflejada en la Figura 1.2, que muestra los diagramas presión-volumen ($p-V$) de ambas máquinas. El diagrama $p-V$, también conocido como diagrama del indicador, es de gran importancia, como se verá oportunamente, en el estudio de los MCIA.

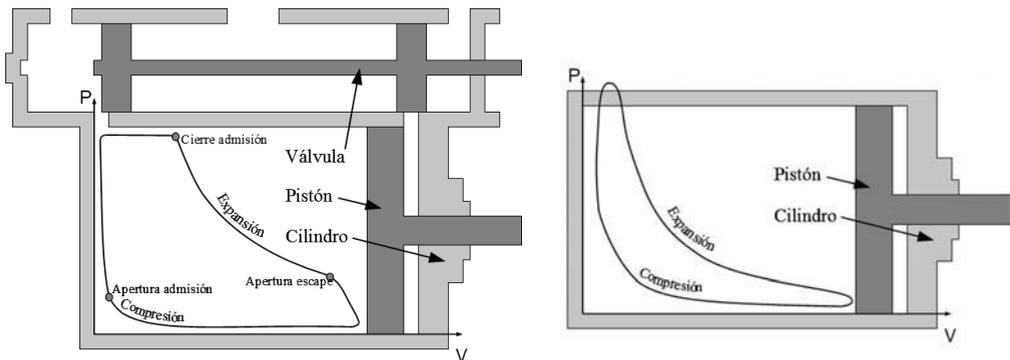


Figura 1.2 Diagramas $p-V$ de una máquina de vapor (izquierda) y de un MCIA (derecha).

Su carácter de antecedente histórico de los MCIA y los aspectos que tienen en común justifican la conveniencia de describir brevemente los hitos fundamentales que determinaron la historia de las máquinas de vapor.

1.3.4 Motores de encendido por compresión

En 1884, Daimler, que se había marchado de Deutz en 1882 (junto a Maybach) por divergencias con Otto, solicitó la patente *Un nuevo motor de gas*, que en España se clasificó con el número ES 4 410. La patente describía lo que se conoció más tarde como motor de cabeza caliente, que se podría situar a mitad de camino entre el de Otto y el de Diesel (que se estudiará a continuación). Según Daimler, su motor se regía por el siguiente principio de funcionamiento:

Las paredes del espacio A adquieren, a las pocas repeticiones de dicho juego, una temperatura normal algo elevada, la cual, unida al efecto de la compresión, produce con regularidad la inflamación de la mezcla en, o alrededor del punto muerto superior de la curso del pistón, según el principio confirmado por la experiencia, de que mezclas combustibles, las que bajo presión puramente atmosféricas no se inflamarian o quemarian con lentitud, al ser comprimidas rápidamente, queman, no solamente con rapidez, sino hasta hacen explosión.

La Figura 1.7 muestra un dibujo de la patente ES 4 410. Se trataba de un motor de encendido por compresión, si bien la compresión tenía lugar sobre la mezcla de aire y combustible, mientras que Diesel en su motor propuso comprimir solamente aire, por razones que se expondrán a continuación.

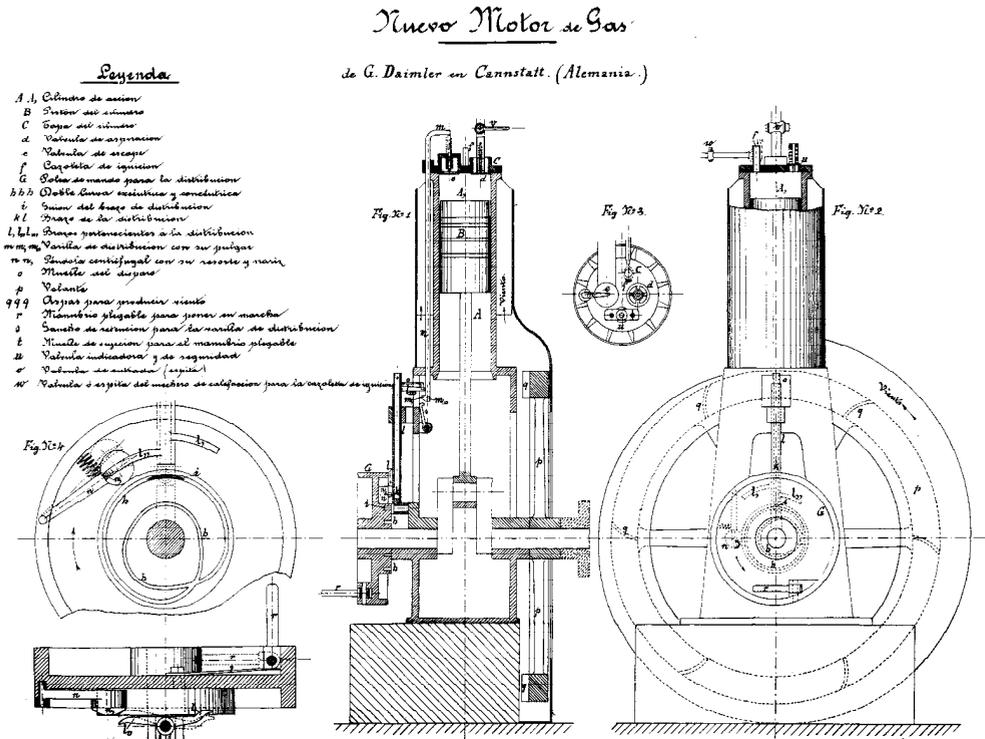


Figura 1.7 Algunos dibujos de la patente de Daimler ES 4 410. Fuente: OEPM, Madrid.

En la industria del automóvil fue General Motors en el año 1962 el primer fabricante que introdujo en el mercado los motores de gasolina turboalimentados. Los modelos fueron el Monza Spyder, con un motor de 2,4 litros y una potencia de 112 kW, y el Oldsmobile Cutlass, con un motor V8 de 3,5 litros y una potencia de 160 kW; en Europa fue Porsche, en el año 1974, el que introdujo en el mercado una versión del 911 con turboalimentación.

En el año 1938 la empresa suiza Swiss Machine Works Saurer fabricó los primeros motores Diesel de camión con turboalimentación, sin embargo, no fue hasta los años 50 cuando, tanto Mercedes como Volvo, comenzaron la fabricación de motores Diesel sobrealimentados para algunos de sus camiones. Los primeros coches de producción en serie de motor Diesel turboalimentados fueron el Mercedes 300SD y el Peugeot 604, que fueron ambos lanzados al mercado en el año 1978. En la actualidad casi todos los motores Diesel del mercado son turboalimentados.

Merece una especial atención la utilización de la turboalimentación en la competición, ya que ayudó de manera importante al desarrollo de esta tecnología. Durante los años 1977 a 1989 la Fórmula 1 utilizó motores de 1,5 litros sobrealimentados que en algunos casos llegaron a entregar una potencia cercana los 900 kW. El primer fabricante en introducir el concepto fue Renault en el año 1977, al que le siguieron Ferrari, BMW y Honda.

1.4.2 Sistemas de formación de la mezcla en MEP

La forma de introducir un combustible líquido en los motores de encendido provocado ha sido siempre un tema en constante evolución y, aunque para mucha gente es desconocido, el desarrollo del carburador y de los sistemas de inyección de gasolina se ha realizado de manera simultánea desde los comienzos de la historia del motor. Los sistemas de inyección, con ventajas claras frente al carburador, no han podido imponerse en el mercado hasta la llegada de la electrónica, que ha permitido un control eficiente en todas las condiciones de funcionamiento del motor. En los siguientes párrafos repasaremos la evolución histórica de ambos sistemas de formación de la mezcla.

El concepto básico de carburador, como se conoce hoy en día, fue patentado por Benz en 1885, pero fue Maybach en el año 1875 el primero en intentar quemar combustible líquido en un motor que en origen funcionaba con gas; para ello utilizó una mecha sumergida en el combustible por un extremo y por el otro se hacía pasar la corriente de aire, que evaporaba el combustible y lo arrastraba hacia el motor.

Por su parte, los sistemas pioneros de inyección de gasolina fueron desarrollados en esta misma época por la empresa Deutz, aunque las ventajas, por su simplicidad y coste, del carburador propuesto por Benz, y posteriormente mejorado por Bánki, apartaron el desarrollo de esta idea. Sin embargo fue la industria de la aviación la que potenció la utilización de los sistemas de inyección, ya que los carburadores son propensos a congelarse cuando se vuela a gran altura y a derramar el combustible cuando se hacen cambios de direcciones que podían llevar a incendios del motor. Se puede decir, aunque no por los motivos antes expuestos, que el motor que equipó el primer avión de la historia usaba un sistema primitivo de inyección, ya que el combustible era introducido en el motor por gravedad a través de unas boquillas alimentadas por el combustible que se encontraba en un depósito en las alas del avión.

Durante la época entre guerras se retomó el interés de los sistemas de inyección de gasolina para aplicaciones en automóviles y fue en 1925 cuando el ingeniero Suizo Jonas Hesselman

Capítulo 2

Clasificación de los MCIA

J. Benajes

E. Navarro

2.1	Introducción.....	24
2.2	Potencial y debilidades de los MCIA.....	25
2.3	Criterios de clasificación y características diferenciadoras.....	26
2.3.1	Proceso de combustión.....	27
2.3.2	Ciclo de trabajo	28
2.3.3	Presión de admisión	32
2.3.4	Tipo de refrigeración.....	33
2.3.5	Número y disposición de los cilindros.....	35
2.4	Diferencias fundamentales entre MEC y MEP	35
2.4.1	Formación de la mezcla	36
2.4.2	Regulación de la carga y dosado.....	37
2.4.3	Tipos de cámaras de combustión	38
2.4.4	Tipo de combustible.....	40
2.4.5	Potencia y rendimiento.....	41
2.5	Principales campos de aplicación.....	41
2.6	Resumen	42
	Referencias y bibliografía.....	42

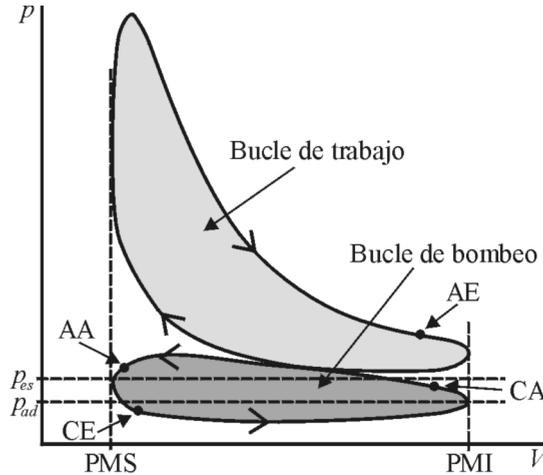


Figura 2.4 Diagrama presión-volumen de un motor de 4T.

Motores de 2 tiempos

Este tipo de motores se caracteriza porque el ciclo se completa en dos carreras del émbolo o, lo que es lo mismo, en una revolución, es decir, en 360 grados de giro de cigüeñal. Los procesos que tienen lugar son los mismos que en un motor de cuatro tiempos, aunque con menor duración angular. La diferencia fundamental reside en el proceso de renovación de la carga, ya que en estos motores la mayor parte de los procesos de escape y de admisión ocurre simultáneamente, en lo que se denomina proceso de barrido. Como ese término indica, el pistón no expulsa los gases quemados y aspira los gases frescos, sino que son los gases frescos, que se encuentran a mayor presión que los gases en el cilindro, los que barren a los gases quemados hacia el escape. El ciclo seguido por los gases del cilindro se muestra en la Figura 2.5.

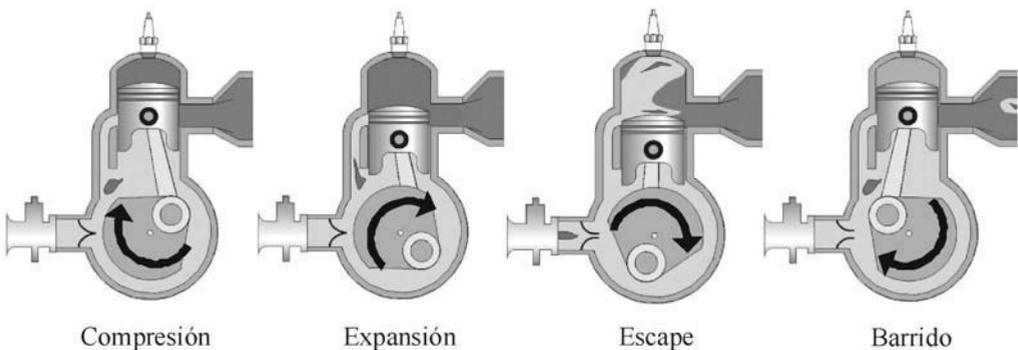


Figura 2.5 Fases de un motor de dos tiempos de barrido por cárter.

Los procesos de compresión y de combustión son análogos a los de un motor de cuatro tiempos, y podrán ser de MEC o de MEP. Las diferencias comienzan en la segunda mitad de la carrera de expansión, cuando mucho más temprano que en un motor de cuatro tiempos, se inicia el proceso de escape. Esto puede ocurrir de dos modos, dependiendo del tipo de motor:

Motores refrigerados por aire

En los motores refrigerados por aire es el propio aire ambiente el fluido que extrae el calor desde las paredes del motor, siendo necesario ampliar la superficie efectiva de transferencia mediante la utilización de aletas. El aire puede hacerse circular por el conjunto de aletas aprovechando la velocidad del vehículo en el que va montado el motor, si es este el caso, o mediante la utilización de ventiladores que fuerzan al aire a circular entre las aletas (Figura 2.9).

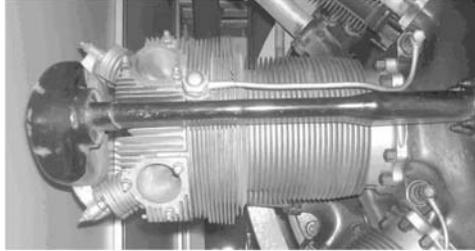


Figura 2.9 Cilindro de un motor refrigerado por aire.

Motores refrigerados por líquido

En el caso de motores refrigerados por líquido, este se hace circular mediante una bomba por canales internos en el motor y se utiliza un intercambiador de calor (Figura 2.10) para volver a enfriar el líquido, bien con el aire ambiente o con agua. El líquido utilizado suele ser una mezcla de agua, anticongelante y anticorrosivos, aunque pueden utilizarse otros líquidos como son algunos glicoles o el propio aceite de lubricación del motor.

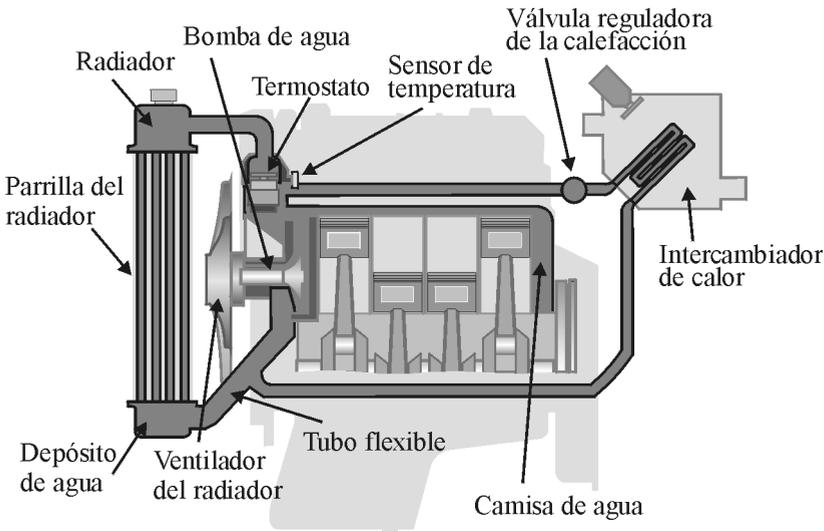


Figura 2.10 Esquema del sistema utilizado en un motor refrigerado por líquido.

En algunos casos, por ejemplo en motores de aviación, se utilizan sistemas mixtos en los que parte del motor se refrigera mediante aire y el resto mediante líquido.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UN
MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO TJI
MEDIANTE UNA HERRAMIENTA DE
DIAGNÓSTICO DE LA COMBUSTIÓN**

AUTOR: JULIO CANO BERNET

TUTOR: RICARDO NOVELLA ROSA

COTUTOR: JAIME MARTÍN DÍAZ

Curso Académico: 2018-19

RESUM

Actualment, amb la creixent preocupació pel canvi climàtic i l' esgotament de recursos, es necessari obrir noves vies d'estudi que permeten emprar aquests recursos el més eficientment possible. Per això i ja que la implantació de formes de transport menys contaminants encara no està al mateix nivell de desenvolupament que els automòbils convencionals, sorgeix la necessitat d'avançar en el desenvolupament de nous conceptes com 'Turbulent Jet Ignition' (TJI). L'objectiu del treball consisteix en analitzar el funcionament d'un motor TJI en diferents condicions d'operació i diverses estratègies de funcionament. L'anàlisi es fonamentarà en el diagnòstic de la combustió a partir del senyal de pressió en càmera, havent de posar a punt una ferramenta per a aquest diagnòstic. Els resultats de l'anàlisi han permès constatar que la tecnologia permet una combustió més ràpida, aconseguint operar el motor en condicions que milloren el rendiment.

Paraules Clau: *Turbulent Jet Ignition*, diagnòstic de la combustió

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- Memoria
- Presupuesto

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	MOTIVACIÓN	1
1.2.	ANTECEDENTES	1
1.3.	OBJETIVOS	2
2.	MARCO TEÓRICO	3
2.1.	FUNCIONAMIENTO DE UN MEP DE 4 TIEMPOS. COMBUSTIÓN	3
2.2.	ESTRATEGIA PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO	6
2.2.1.	Estrategias conocidas: aumento de la relación de compresión, avance del encendido.	6
2.2.2.	Tubulent Jet Ignition.....	8
2.2.3.	Gas natural	10
2.2.4.	Cierre de la admisión.....	11
3.	HERRAMIENTAS.....	12
3.1.	HERRAMIENTAS EXPERIMENTALES	12
3.2.	HERRAMIENTAS TEÓRICAS.....	14
4.	PUESTA A PUNTO DE LA HERRAMIENTA	17
4.1.	ADAPTACIÓN DE LOS MODELOS	17
4.1.1.	Modelo de transmisión de calor	17
4.1.2.	Balance de energía	21
4.2.	MEJORA DE LA USABILIDAD	22
4.2.1.	Preparación del código en Matlab	22
4.2.2.	Preparación de la interfaz en Excel	24

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN

Con un plazo de agotamiento del petróleo estimado en 50 años y unas emisiones contaminantes que han crecido exponencialmente durante el pasado siglo, la sociedad se está concienciando de la necesidad de un desarrollo sostenible que reoriente las prácticas al uso y redefina los objetivos energéticos para asegurar la viabilidad del progreso.

El sector del transporte actual, por tanto, debe afrontar el reto de virar hacia un futuro en el que no dependa de combustibles fósiles y en el que se disminuya su aportación a las emisiones totales de CO₂, situada en torno a un 25% en España en 2014 [1]. Por ello, en los últimos años los vehículos híbridos y eléctricos han experimentado un gran desarrollo y cada vez abarcan más cuota de mercado. Sin embargo, a día de hoy la implementación de la tecnología exclusivamente eléctrica en los vehículos está limitada por razones como la vida útil de las baterías o su elevado coste en comparación a los motores de combustión. Además, las infraestructuras eléctricas existentes no serían capaces de cubrir la demanda si los vehículos se volvieran eléctricos a corto plazo [2].

Mientras los vehículos eléctricos no hayan alcanzado las cifras de autonomía o tiempo de recarga de un vehículo tradicional y estos sigan constituyendo el grueso del sector automovilístico, habrá que seguir trabajando en ellos, pues todavía hay mucho margen de mejora. En los últimos años, se ha conseguido un gran avance en el desarrollo de los motores en cuanto a emisiones y consumo, cumpliendo así con las exigentes normativas.

En este marco de presión a los motores térmicos surgen muchas nuevas propuestas con el fin de seguir siendo más competentes que las baterías. Una de ellas es "*Turbulent Jet Ignition*", un sistema de ignición que inicia la combustión en una pre-cámara y que puede ser usado en motores de encendido provocado.

Seguir trabajando en la optimización de los motores de combustión es pues una exigencia social y de compromiso medio-ambiental.

1.2. ANTECEDENTES

Aunque el concepto de encendido por pre-cámara TJI sea algo novedoso para motores comerciales, ya ha sido desarrollado en otras aplicaciones. Esta tecnología apareció en la Fórmula 1 por primera vez en 2014, y desde entonces varios equipos la han implantado. El estudio de dicha tecnología en este TFG es un eslabón en la investigación de Novella, R y otros [3].

El análisis realizado en este trabajo parte de las bases establecidas en el campo del diagnóstico de la combustión en la tesis doctoral "Aportación al diagnóstico de la combustión en motores Diesel de

Se debe diferenciar, dentro de los encendidos superficiales, entre “preencendido” y “postencendido”. En el primer caso, el encendido se produce antes de que haya saltado el arco eléctrico y es más peligroso puesto que puede degenerar en autoinflamación. Un postencendido únicamente provocará lo que se conoce como “marcha dura”, un ruido característico producido al coexistir varios frentes de llama en el cilindro que producen un incremento en el gradiente de presión. No obstante, el postencendido tiende a adelantarse ciclo a ciclo, de manera que puede desembocar en preencendido.

La autoinflamación generalmente proviene de la combustión espontánea de la zona más alejada de la bujía (zona *end gas*). Los gases frescos de esta zona, sometidos a la compresión y al calentamiento producido por el frente de llama originado en el electrodo y que avanza hacia ellos, terminan por encenderse antes de que este los alcance, originando una segunda combustión muy brusca. Cuando los dos frentes de llama se encuentran, tiene lugar un violento incremento de temperatura y presión que somete a los elementos mecánicos a un estrés indebido: es lo que se conoce como *knocking* o “picado de biela”.

Hay varios métodos para cuantificar el *knocking* y ninguno de ellos es definitivo debido a la complejidad del fenómeno. El índice de *knocking* empleado en este trabajo para examinar este suceso es el de la máxima amplitud de la oscilación de la presión, conocido como MAPO por sus siglas en inglés. A partir de la señal de presión en cámara, el MAPO evalúa el máximo pico en la oscilación:

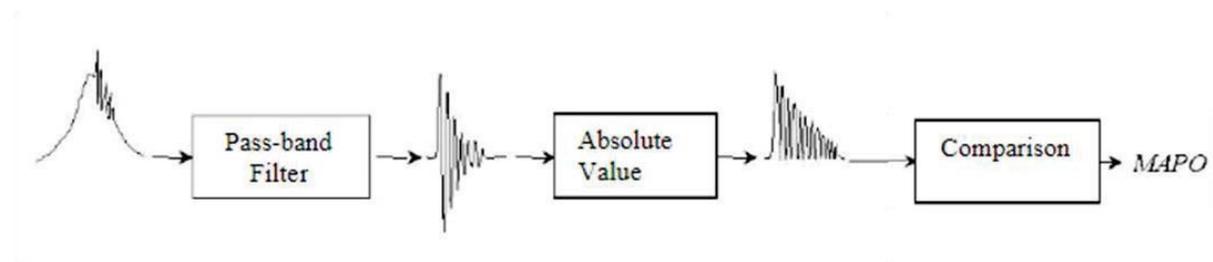


Figura 2. Evaluación MAPO del knocking [7]

Los efectos destructivos de una combustión anómala vienen limitando el rendimiento de los motores MEP y condicionan el avance de encendido, la ubicación de la bujía o el combustible a utilizar.

2.2. ESTRATEGIA PARA LA MEJORA DEL RENDIMIENTO

2.2.1. Estrategias conocidas: aumento de la relación de compresión, avance del encendido

Se pretende mejorar la eficiencia de los vehículos, es decir, mantener o incrementar las prestaciones de los motores actuales a la par que se reduce el consumo de combustible y se es más respetuoso con el medio ambiente. Para ello, una posibilidad es aumentar la relación de compresión (RC), el ratio entre el volumen máximo y mínimo que hay en el cilindro. El cilindro comprende estos

volúmenes cuando el pistón se encuentra en el PMI y cuando se encuentra en el PMS (respectivamente).

$$RC = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_d + V_c}{V_c} \quad (1)$$

V_d es el volumen que desplaza el pistón y V_c el volumen de la cámara de combustión, el que queda cuando el pistón está en el PMS.

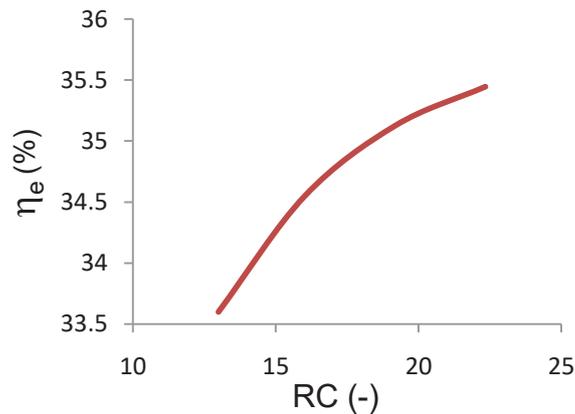


Figura 3. Evolución del rendimiento efectivo en función de la relación de compresión

El aumentar la relación de compresión mejora el rendimiento de los MCIA, como puede verse en el gráfico superior proveniente de una simulación de un motor de encendido por compresión realizada en el software predictivo siCICLO desarrollado por el CMT-Motores Térmicos. Esto se debe a que subir la RC aumenta la presión en el cilindro, siendo entonces el trabajo ejercido por los gases mayor. Sin embargo, una RC mayor va a producir, evidentemente, mayores esfuerzos en los componentes mecánicos del motor y también puede conducir a *knocking*, como se ha visto en el apartado de combustión anómala.

Otro parámetro que influye fuertemente en el rendimiento del ciclo es el avance del encendido, pues determina la mezcla que se quema durante la compresión y durante la expansión. Al adelantar el encendido, se quema más gas antes del PMS aumentando así la presión máxima en el cilindro, y en el punto de encendido óptimo, se maximiza la presión media efectiva mejorando el rendimiento. Sin embargo, al igual que la relación de compresión, adelantar el encendido se ve limitado por la detonación: un avance excesivo eleva la presión y la temperatura en la cámara hasta el punto de generar situaciones riesgosas.

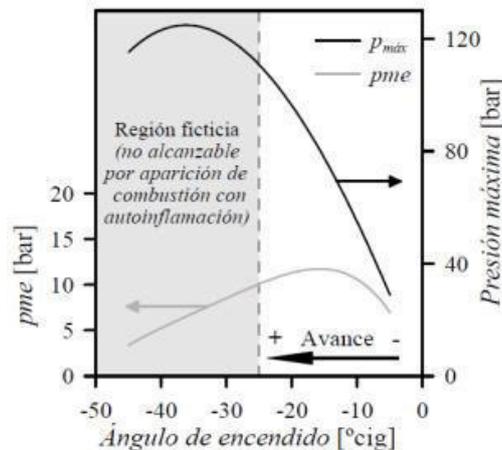


Figura 4. Influencia del punto de encendido en la pme [6]

Adelantar el encendido a la par que se aumenta la relación de compresión parece incompatible, pues ambas modificaciones propician la autoignición del fluido. No obstante, se pueden conseguir los efectos de la combinación de ambos sin necesidad de avanzar el punto de encendido, es más, incluso podría atrasarse. Para ello, se abre una vía de investigación que se centra en aumentar la velocidad de la combustión y usar combustibles con un mayor poder antidetonante. Combinando estos dos actores junto con un ajuste en el reglaje de válvulas el aumento de la relación de compresión se vuelve más seguro, pudiendo llevarlo a niveles inalcanzables con la tecnología convencional.

2.2.2. Tubulent Jet Ignition

La tecnología de pre-cámara actúa como un complemento a los sistemas de ignición tradicionales y permite aumentar la velocidad de combustión. Este novedoso sistema de encendido se basa en el uso de una pequeña cámara auxiliar conectada al cilindro por unos pequeños orificios. Este pequeño volumen de control, a diferencia de la cámara principal, se mantiene constante (no desplaza ningún pistón). Por ello, al avanzar la combustión que aloja en su interior se expande y atraviesa los orificios que comunican ambas cámaras, accediendo al cilindro en forma de numerosos chorros turbulentos que son los encargados de aportar la energía para que progrese la combustión.

Por lo tanto, el potencial de la tecnología en cuestión reside en mejorar el encendido, pudiendo así desarrollar una combustión en el cilindro más rápida. En un motor MEP tradicional, el inicio de la combustión se produce en un punto, una coordenada concreta (electrodo). Un motor con un sistema de encendido por pre-cámara contará con un aporte de energía superior al entregado por una chispa y además menos localizado: un foco de ignición se desarrollará por cada uno de los orificios de la pre-cámara.

Esta característica es de especial interés para combatir las combustiones anómalas de las que se ha hablado anteriormente. Nótese que, al iniciar la combustión desde varios puntos, se reduce el alejamiento de la zona *end gas*. Esto junto con una velocidad de combustión mayor minimiza el riesgo de *knocking*, pues el frente de llama llega a cubrir toda la cámara de combustión antes de que algún punto tenga la oportunidad de autoencenderse.

MEMORIA

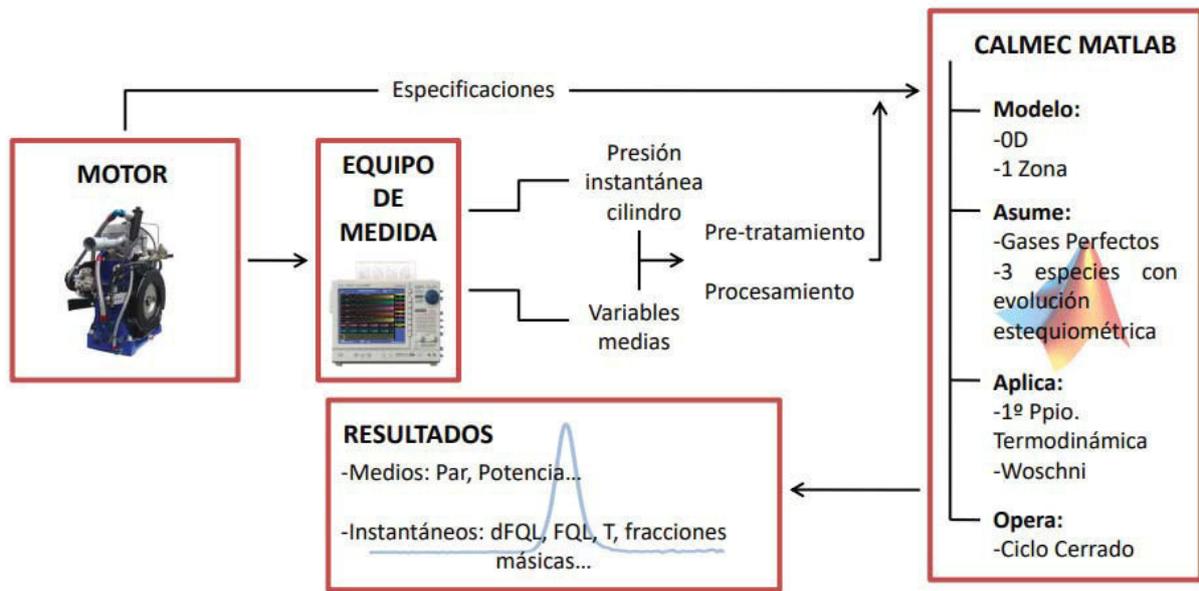


Figura 9. Esquema de Funcionamiento del Software CALMEC

La adaptación de este software a las necesidades del proyecto es lo que constituye el grueso de este trabajo.

4. PUESTA A PUNTO DE LA HERRAMIENTA

En el inicio de este proyecto, se contaba con un software que realizaba las tareas de diagnóstico que se requerían pero desarrollado en concreto para el motor R9M de RENAULT. Constaba de tres piezas principales: una interfaz en Excel, un código de Matlab y las variables medidas en la sala de ensayo. En este punto se trata, por un lado, la adaptación de del programa a los requerimientos del motor de investigación, y por otro lado, la mejora de la interfaz y de la gestión de datos.

4.1. ADAPTACIÓN DE LOS MODELOS

4.1.1. Modelo de transmisión de calor

Dado que el modelo de transferencia de calor configurado en el programa no era del todo válido para el motor de investigación, hubo que adaptarlo. La causa de que el mecanismo de transmisión de calor no sea universal en todos los motores es el movimiento del gas: La geometría de admisión infiere un movimiento de rotación sobre el fluido para aumentar la turbulencia, que mejora la homogeneización de la mezcla consiguiendo una combustión más eficiente. Este movimiento no es el mismo en todos los motores.

Según la geometría de los conductos de aspiración el fluido adquiere un movimiento que puede ser de rotación alrededor de un eje paralelo al eje del cilindro (*swirl*, característico en motores MEC) o en torno a un eje perpendicular al cilindro (*tumble*, usual en MEP) y se cuantifica mediante la componente tangencial de la velocidad. El problema estaba acotado: partiendo de un programa preparado para gestionar *swirl*, había que prepararlo para *tumble* por ser la tipología de movimiento del gas en el motor de investigación.

El modelo de transferencia de calor durante el ciclo cerrado se compone de un submodelo que estima la temperatura de las paredes de la cámara y de un submodelo que calcula el coeficiente de película basado en el modelo de Woschni [14] y que se detalla a continuación:

$$Q_W = h_W [(T - T_{pis}) A_{pis} + (T - T_{cul}) A_{cul} + (T - T_{cil}) A_{cil}] \quad (3)$$

con T la temperatura del gas, A_{pis} , A_{cul} y A_{cil} las superficies del pistón, culata y cilindro que cierran la cámara de combustión, T_{pis} , T_{cul} y T_{cil} sus correspondientes temperaturas y h_W el coeficiente de película que se depende de la siguiente fórmula semiempírica:

$$h_W = C D^{b-1} p^b T^{0.75-1.62b} v_g^b \quad (4)$$

El ajuste del modelo de *tumble* que interviene en la transmisión de calor reside en determinar el valor de los parámetros de la función de Wiebe (11) y del coeficiente de torbellino medio *CTM*. Como se ha explicado anteriormente, con esta función se modela el valor de la velocidad media de *tumble* de forma que simule su evolución en el ciclo cerrado: desde el establecimiento del vórtice hasta su disipación.

Para calibrar esta función se ha hecho uso de una herramienta de CFD que arroja datos sobre el movimiento del fluido en la cámara de combustión. La simulación en CFD no ha formado parte de este trabajo, pero sin estos datos el siguiente método de ajuste no hubiese sido posible. Los datos de partida pertenecen a simulaciones en condiciones de arrastre y son los siguientes:

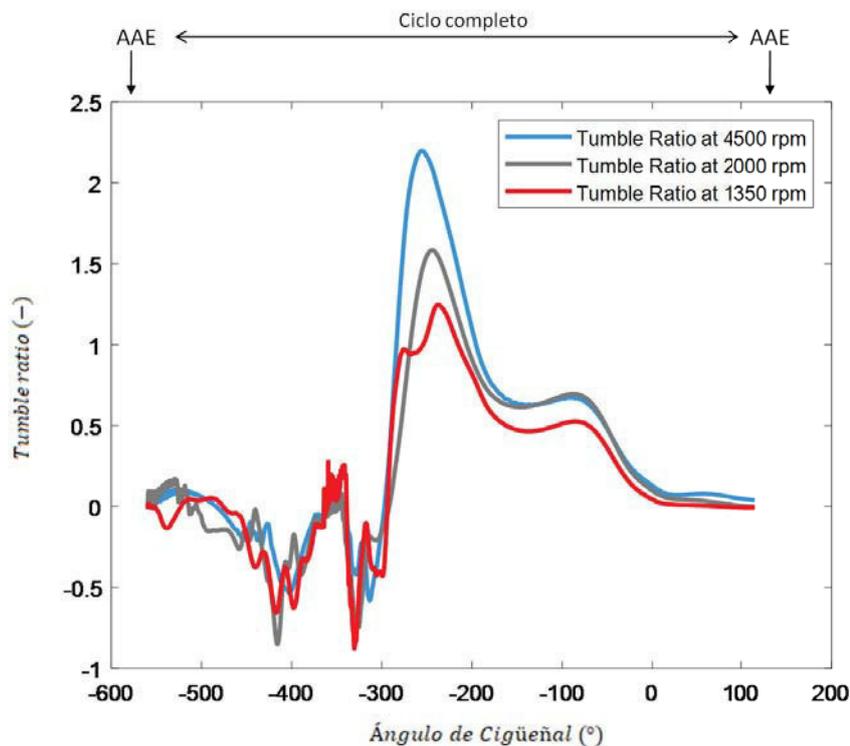


Figura 18. Evolución del Tumble Ratio durante el ciclo completo

El *Tumble ratio* es una magnitud adimensional que refleja la variación de *tumble* y como se puede apreciar en la figura, depende de las condiciones de operación. Sin embargo, este ajuste pretende establecer unos parámetros únicos para el motor de investigación que no varíen en función del ensayo, por lo tanto la estrategia de ajuste ha consistido en ajustar una función para cada simulación disponible y adoptar una solución de compromiso entre todas ellas.

Dado que el objetivo es ajustar el modelo para la transmisión de calor durante el ciclo cerrado, el primer paso es localizar este y recortar los datos.

combustión finaliza antes, siendo esto muy interesante para el concepto de mejora del rendimiento planteado en este trabajo: si se quiere mejorar el rendimiento basándose en el aumento de la relación de compresión, con un encendido tradicional debería atrasarse el salto de la chispa para evitar el *knocking*, retrasando mucho la combustión y limitando o incluso disminuyendo las ganancias provenientes de una mayor RC.

En cambio, con los niveles de velocidad alcanzados con este novedoso sistema de ignición, atrasar el encendido no es tanto un problema. La ventaja que presenta una combustión tan rápida es que se consiguen las ventajas de un encendido adelantado sin la necesidad de llevarlo a cabo. De esta forma, se puede mantener el proceso centrado en el PMS, recuperando el CA50 que con encendido por bujía se retrasaría al tener una combustión lenta sumada a un inicio tardío.

Para finalizar el análisis de las ventajas de la ignición con pre-cámara se adjuntan los resultados del tercer punto de operación:

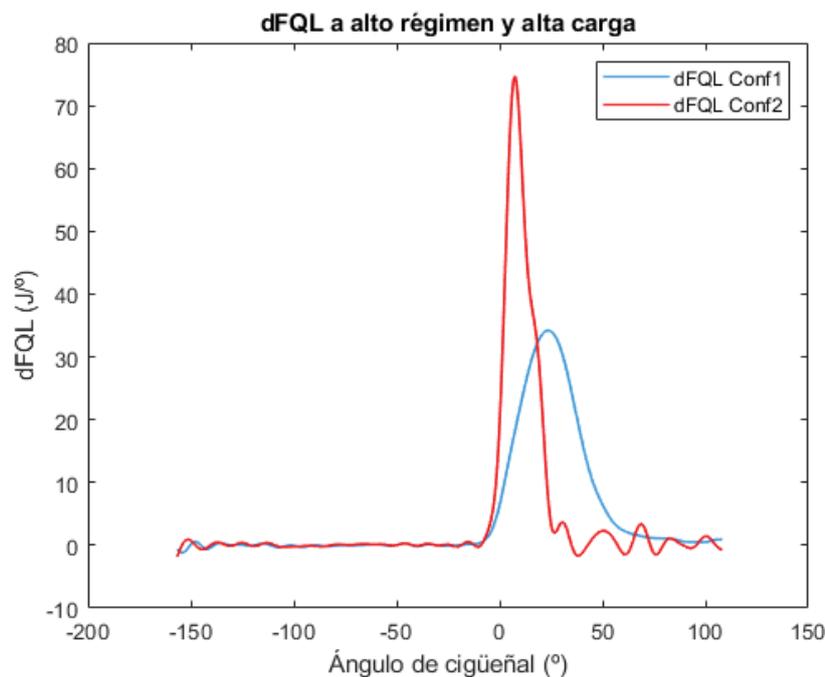


Figura 30. Tasa de liberación de calor a alto régimen de giro y alta carga

Al superponer las tasas de liberación de calor a alto régimen de giro y alta carga, se puede realizar la misma apreciación que en los casos anteriores: El ángulo transcurrido desde la actuación de la bujía hasta el CA10 es de 22° en la configuración 1 y de 12° en la configuración 2.

La chispa salta alrededor de 14° antes del PMS con la configuración 1 y 10° antes del PMS con la configuración 2. No obstante, los CA90 se sitúan respectivamente a 45'6" y 21'4" después del PMS. En estas condiciones, se logra un aumento en el rendimiento indicado de un 3'5%.

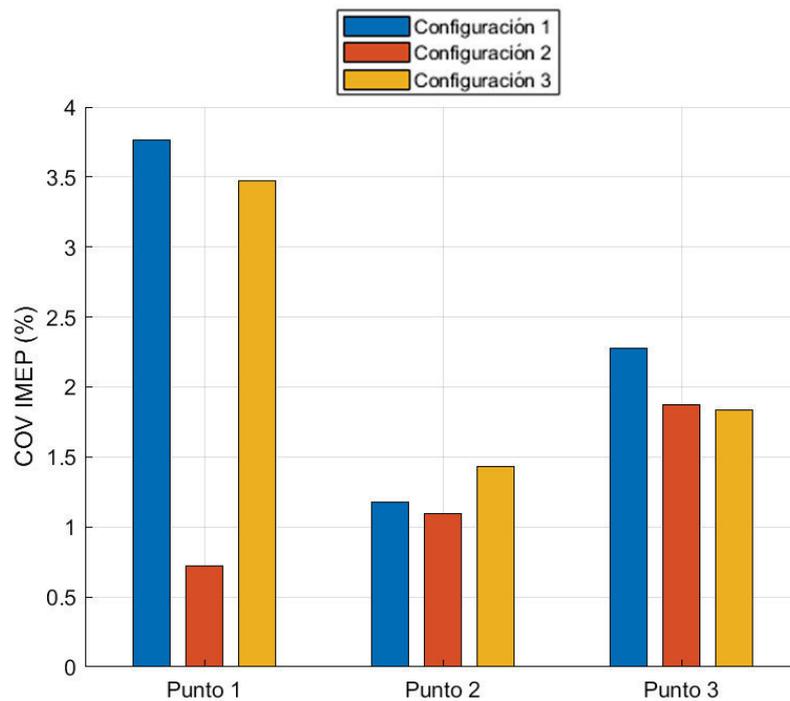


Figura 36. Comparación del COV de la pmi en las tres configuraciones propuestas

5.3.6. Rendimiento

El trabajo desarrollado ha ido enfocado a mejorar la eficiencia del motor, así que se espera un aumento en esta. En el siguiente gráfico de barras se adjuntan los rendimientos indicados obtenidos para cada una de las tres configuraciones. El rendimiento indicado es la relación entre la potencia indicada obtenida y la potencia térmica disponible en el combustible consumido y se ha optado por mostrar el rendimiento indicado neto, es decir, una vez descontadas las pérdidas por bombeo pero no las de fricción y auxiliares.

El hecho de haber descontado las pérdidas por bombeo es para apreciar el efecto que tiene adelantar el cierre de la admisión y operar con mezcla pobre, permitiendo anular parcialmente la regulación de aire entrante con la mariposa de admisión y consecuentemente reduciendo notablemente las pérdidas que surgen al trasegar el fluido y restringir su paso con la regulación por mariposa.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] IDAE, «Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía,» 2014. [En línea]. Available: www.idae.es.
- [2] D. Blanco, Assessment and optimization of the indicated cycle with a 0D thermodynamic model, 2018.
- [3] J. Benajes, R. Novella, J. Gomez-Soriano, P. Martínez, C. Libert y M. Dabiri, «Evaluation of the passive pre-chamber ignition concept for future high compression ratio turbocharged spark-ignition engines,» *www.researchgate.net*, 2019.
- [4] J. Martín, Aportación al diagnóstico de la combustión, 2007.
- [5] T. Martín y A. Serrano, 2014. [En línea]. Available: <http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/default.htm>.
- [6] F. Payri, J. Desantes y Otros, Motores de Combustión Interna Alternativos, 2011.
- [7] G. Brecq y O. Corre, « Modeling of In-cylinder Pressure Oscillations under Knocking Conditions: Introduction to Pressure Envelope Curve,» *SAE Technical Papers*, 2005.
- [8] A. Dittrich y S. Beroun, «Spark Plug with Integrated Chamber,» 2018.
- [9] MAHLE, «MAHLE Powertrain,» [En línea]. Available: <https://www.mahle-powertrain.com/en/experience/mahle-jet-ignition/>.
- [10] Gasnam, «Gasnam,» [En línea]. Available: <https://gasnam.es/>.
- [11] R. Miller, «Supercharging and internal cooling cycle for high output, ASME Transactions,» nº 69. 453-457, 1947.
- [12] T. Li, Y. Gao, J. Wang y Z. Chen, «The Miller cycle effects on improvement of fuel economy in a highly boosted, high compression ratio, direct-injection gasoline engine: EIVC vs. LIVC,» 2013.
- [13] dieselnet.com, «<https://www.dieselnet.com>,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.dieselnet.com>.
- [14] G. W. - M. A. - N. AG, «A Universally Applicable Equation for the Instantaneous Heat Transfer Coefficient in the Internal Combustion Engine,» 1967.
- [15] P. Olmeda, J. Martín, R. Novella y R. Carreño, «An adapted heat transfer model for engines with tumble motion,» *Applied Energy*, 2015.

ISSN 0188-7297



Certificado en ISO 9001:2000‡

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



“IMT, 20 años generando conocimientos y tecnologías para el desarrollo del transporte en México”

ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE

VOL1: CONCEPTOS BÁSICOS

Víctor M. Islas Rivera
Martha Lelis Zaragoza

Publicación Técnica No 307
Sanfandila, Qro 2007

Resumen ejecutivo

En el presente trabajo se presenta una introducción conceptual que esperamos sea de utilidad para el análisis de los sistemas de transporte. En ese sentido, se desea proporcionar al lector un esquema general del análisis de los sistemas de transporte, su importancia, algunos de los eventos más importantes en su desarrollo y el enfoque interdisciplinario que debe aplicarse para su estudio. Específicamente, se desea aportar al lector algunas de las definiciones y conocimientos básicos sobre los sistemas de transportación, su clasificación, atributos, composición e interacción con su medio ambiente.

Este es el primer reporte de una serie de documentos con los que esperamos se puedan tener elementos sobre un esquema general sobre la clasificación, desarrollo y planificación de los sistemas de transportación en México para postular el propósito central de la gestión del sistema de transporte y mostrar sus instrumentos básicos.

Es preciso reconocer que el presente texto tiene o desea tener un contenido básicamente académico. Es decir, tiene el objetivo de exponer una serie de ideas y conceptos, y exponerse a las críticas, observaciones o correcciones de parte de los lectores. Es el resultado de la lectura de una serie de libros o documentos que, en opinión de los lectores, son verdaderos clásicos en la lectura que, a nivel internacional, ha abordado el análisis de los sistemas de transporte. Ciertamente, se recogen algunas definiciones (o incluso se aportan algunas ideas, conceptos o definiciones que son, en alguna medida, originales o propios de los autores) tratando de armar un conjunto de conceptos razonablemente congruentes, tales que nos sean de utilidad para el análisis de los sistemas de transporte, vistos precisamente como sistemas.

En el primer capítulo se presentan diversos elementos históricos sobre el transporte esperando que sirvan como contexto sobre la evolución e importancia del mismo. Es una lista no exhaustiva y se basa en documentos serios sobre la historia de los transportes a nivel mundial, tratando de seleccionar sólo aquellos textos que se elaboraron sin preferencias ideológicas o nacionalismos.

En el segundo capítulo se seleccionaron diversas definiciones sobre lo que es (y lo que no es) el transporte. Esto nos parece muy importante porque, en la experiencia de los autores, prácticamente cada investigador que aborda el análisis del transporte, tiene su propia definición lo cual puede llevar a confusiones o incluso errores en dicho análisis. Ello no sólo es producto de la experiencia específica del autor del documento que se estudia o por las diversas disciplinas desde que se aborda el análisis de los sistemas de transporte: administrativo, económico, tecnológico, sistemático, "integral", etc. También parece originarse por la relativa indiferencia con la que algunos autores abordan el estudio del transporte sin investigar el significado que otros autores han dado a diversos

conceptos; así, prácticamente se creen obligados a descubrir el “hilo negro” y no consideran la larga lista de autores previos que ya han estudiado al sector transporte. Esperamos que la lista de conceptos sobre el transporte ilustre la necesidad de precisar, siempre que se realice un análisis de un sistema de transporte, cuál es el significado estricto que se le está dando al concepto de transporte y sus implicaciones.

La misma intención tiene el capítulo tres que aborda una serie de conceptos que son esenciales para el análisis de los transportes como sistema. Es imperativo que el lenguaje ya comúnmente utilizado en el análisis de cualquier sistema sea empleado con propiedad cuando se aborda el análisis de los sistemas de transporte. Por supuesto, este capítulo es realmente innecesario para los lectores que tienen los antecedentes básicos sobre el enfoque de sistemas. Sin embargo, creemos que si resulta indispensable para ubicar con cierta precisión el significado con el que hemos tratado de aplicar los conceptos de sistemas en el capítulo cuarto.

En efecto, en el último capítulo se presentan una serie de conceptos que intentan caracterizar a los sistemas de transporte, sus componentes y atributos. Por ello, se descansa en las definiciones y esquemas analíticos vertidos en el tercer capítulo, aunque quizás es la parte del presente trabajo en la que más se presentan algunas propuestas propias, esperando sean de utilidad al lector.

El presente trabajo se caracteriza por la inclusión de fuentes bibliográficas que son realmente invaluable. Si bien es cierto que algunas de las referencias tienen muchos años de su publicación, difícilmente se encuentran obras que los hayan mejorado. Se constituyen en verdaderos clásicos de la literatura del tema. Es por ello muy lamentable que muchos de los textos referidos ya no estén disponibles para su consulta. Esto se debe a que se editaron hace muchos años y, por su carácter de literatura especializada, no se volvieron a publicar. Aún peor es que muchos de esos libros ya no se encuentran en las bibliotecas en las que se les podía consultar.

Por todo lo anterior, hemos iniciado la publicación de esta serie de documentos sobre el análisis de los sistemas de transporte, de la cual el presente texto es el primer volumen. Con ello esperamos lograr, como mínimo, empezar a renovar el interés de los lectores en la necesidad de mejorar el marco conceptual de los sistemas de transporte.

establecen rutas comerciales. Asimismo, se desarrollan mejores sistemas de operación de los transportes.

Naturalmente son las carreteras y los caminos, en la tierra, y los grandes barcos y galeones, en el mar, los que tienen un predominio absoluto y, consecuentemente, toda la atención de los técnicos y personal relacionado con el transporte. Destacan en este tiempo el príncipe de Portugal, Enrique "el Navegante", ser humano erudito y científico, que reunió en torno suyo a sabios cristianos, judíos y árabes que realizaron mapas mejores. Además, portugueses, españoles, holandeses e ingleses se dieron a la tarea de descubrir rutas marítimas comerciales y a la construcción de mejores barcos como los clippers, que contaban con grandes velas y afiladas proas, con lo cual dominaron los mares durante algunos años hasta el advenimiento del barco de vapor.

ETAPA INDUSTRIAL Es en esta etapa en donde puede decirse que están las fuerzas que, por primera vez, aceleran la aplicación sistemática de la Ingeniería al transporte, ya que se hace evidente la necesidad de mover grandes volúmenes de productos y materia prima, como consecuencia del auge industrial alcanzado. Todo esto plantea problemas que motivaron el desarrollo de un nuevo modo de transporte: el ferrocarril, que resultó como consecuencia de uno de los descubrimientos básicos de esta época: la máquina de vapor, elemento que unido a un apropiado sistema de transmisión y rodamiento, generó la locomotora de vapor, siendo ésta el primer tipo de ferrocarril que existió.

La aparición del ferrocarril, llega a solucionar el problema del volumen y la velocidad de transportación terrestre, pero origina otros: "para poner en funcionamiento el ferrocarril se requería de una infraestructura especial, de declives menos inclinados, y de curvas no pronunciadas. No era posible colocarlo fácilmente sobre un camino carretero existente, y por lo tanto, era necesario romper con los modelos de ubicación del anterior circuito de caminos". Como se deduce de lo anterior, es en ese momento en que empieza a ser necesario combinar conocimientos y técnicas para la ubicación, diseño y construcción de vías, terminales y carros adecuados. En 1839, Mr Sequen, en Francia, escribe el primer tratado al respecto, denominado "Arte de Trazar y Construir Caminos de Hierro".

También con el ferrocarril se hace mas evidente el efecto que el transporte tiene en la economía de una nación. Esto, por una parte, da lugar a que se realicen estudios con mayor profundidad, y por otra, a la aplicación de recursos en mayor escala destinados a favorecer el desarrollo de los sistemas o redes ferroviarias en el sistema terrestre (por ejemplo, en los EEUU), y a una mejor organización y explotación de las flotas marítimas, que también habían recibido los beneficios de la máquina de vapor.

Probablemente, es en esta época (básicamente en el siglo XVIII) donde la construcción de buenos caminos tiene sus orígenes, ya que se realizan numerosos estudios para mejorar la calidad de los mismos. Como ejemplo están

La segunda clasificación corresponde a la distinción entre beneficios o ventajas y costos o desventajas. Aquéllos se refieren a los aspectos positivos o deseables que se obtienen de un sistema de transporte. Así, los costos son los efectos negativos o indeseables del mismo sistema.

Por último, tenemos la clasificación de directos o indirectos, que tratan de distinguir si el efecto recae en los usuarios, empresa o en aquellos íntimamente relacionados con el sistema de transporte (impactos directos); o si recaen en terceros, que sin participar o promover a los sistemas de transporte, se ven beneficiados o afectados por él, lo que se conoce como impactos indirectos.

A continuación se presenta una lista de impactos del transporte, clasificados bajo el criterio anterior. La extensión de la lista y la profundidad de los conceptos no pretenden ser exhaustivos aunque si lo más clara posible.

2.2.1 Beneficios y costos económicos

2.2.1.1 Beneficios económicos directos

1. Aumenta el valor de lo transportado, o sea su utilidad, al modificar su posición en el espacio. (Bonavia, Michael, 1955).
2. Multiplica los beneficios de diversas economías, ya sea de individuos o de grupos, al ponerlas en contacto (Fuentes Delgado, 1961).
3. Al mejorar su velocidad y capacidad, permite ahorros sustanciales de tiempo (tanto de horas-hombre, como horas-máquina). (Coastworth, John, 1976)
4. Rompe las barreras al flujo de recursos de todo tipo. (Bonavia, M, 1955).
5. Aumenta los mercados potenciales de los productos. (Bonavia, M, 1955).
6. Aporta las bases para la producción, al reducir costos, ya que facilita la obtención de mano de obra, materia prima, recursos financieros y canales de distribución. (Bonavia, M, 1955).
7. Hace posible vincular adecuadamente producción con consumo. (Cuba, Ministerio de Transporte, 1970).
8. Logra disminuir costos y arroja recursos a otros sectores. (Coastworth, John, 1976).
9. Permite la explotación de los recursos naturales, así como puede ayudar a la regulación de dicha explotación. (Dickey, J, 1977).
10. Modifica los flujos de bienes, y genera otros. (González, José, 1973).
11. Genera utilidad a la inversión en empresas prestatarias del servicio.
12. Es el elemento más sensible para la industria turística. (Fuentes Delgado, Rubén, 1960, y Medina Urbizu, E 1963).
13. La duración de la infraestructura provoca ahorros a largo plazo. (Thompson, J M, 1976).

2.2.1.2 Beneficios económicos indirectos

- 1) Provoca el surgimiento de gran cantidad de empresas que contribuyen a la construcción u operación de los sistemas de transporte. (Coastworth, John, 1976).
- 2) Provoca el crecimiento económico en la zona de influencia (trazo, ruta, estación, etc.). (Togno, Francisco, 1975).
- 3) Atrae capitales a las zonas comunicadas (Voigt, F, 1964, y Rees, P, 1976).
- 4) Une regiones o áreas con recursos básicos diferentes, promoviendo la especialización o división regional del trabajo, integrando la economía nacional. (Togno, Francisco, 1975, Medina U. 1963).
- 5) Mejora la utilización de recursos de una sociedad, al permitir una organización más racional. (Dickey, 1977).
- 6) Permite una mejor distribución del ingreso. (Fuentes Delgado, 1960).
- 7) Amplía el mercado de trabajo. (Garduño, Javier, 1975).
- 8) Logra cierta nivelación de precios, desapareciendo ventajas de producción. (Fuentes Delgado, 1960 y Bonavia, Michael 1955).
- 9) Un nivel de inversión alto en los transportes, provoca un incremento en la producción, y esto a su vez, motiva nuevas inversiones en transporte. (Bonavia, Michael, 1955, e Ingerout, 1973).
- 10) Puede corregir el patrón de usos del suelo, y darle flexibilidad a la localización fabril (González, J, 1973 y Dickey, J, 1977).
- 11) Modifica el valor de ciertos inmuebles. (Garduño, Javier, 1975).
- 12) En general elevan el nivel económico de la población. (Bonavia, M, 1955).
- 13) Promueve la tecnología de la producción, ya que contiene un potencial de cambio tecnológico (mayor velocidad, capacidad, accesibilidad, etc.) que en ocasiones rebasa a los usuarios. (Coastworth, John, 1976 y Rees, Peter, 1976).

2.2.1.3 Costos económicos directos

- 1) Erogaciones para la fabricación y mantenimiento de la infraestructura y equipo. (Thompson, J 1976 y Voigt, F, 1964).
- 2) Valor de las expropiaciones, ya sea por demolición de obstáculos, o por la nacionalización de bienes o empresas. (Krueckerberg y Silvers, 1978).
- 3) Valor de los terrenos de la terminal y de la ruta. (Garduño, Javier 1975).
- 4) Deterioro de infraestructura, vehículos y mercancía por mal uso. (Thompson, J 1976 y Toledo Rojas, et al 1976).
- 5) Horas-Hombre y bienes perdidos por la congestión o desorganización del sistema de transporte (Thompson, J 1976; Fuentes Delgado, R, 1960, y Dickey, John, 1977).
- 6) Grandes pérdidas materiales y humanas por accidentes. (Mills, Edwin S, 1975).
- 7) Daño al medio ambiente por ruido, polución atmosférica, vibración, y toda alteración ecológica (Fuentes Delgado, R, 1960, Dickey, J, 1977 y Mills, E, 1975).



Certificación ISO 9001:2008 ‡

CARACTERIZACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE

**Mercedes Yolanda Rafael Morales
Andrés Hernández Guzmán**

**Publicación Técnica No. 417
Sanfandila, Qro, 2014**

Contenido

	Página
Resumen	v
Abstract	vii
Resumen Ejecutivo	ix
1 Introducción	1
2 El motor de combustión interna	3
2.1 Clasificación de los motores de combustión interna	3
2.2 Aspectos Termodinámicos	4
2.3 Ciclos de funcionamiento de un motor de combustión interna	6
2.3.1 Ciclo Otto	6
2.3.2 Diferencia entre Ciclo Otto teórico y Ciclo Otto real.....	7
2.3.3 Ciclo Diesel.....	10
2.4 Ciclos de trabajo.....	11
2.4.1 Motor de cuatro tiempos	11
2.4.2 Motor de dos tiempos	13
2.4.3 Motor encendido por chispa.....	13
2.4.4 Motor encendido por compresión	15
2.4.5 Diferencias principales entre motores de encendido por chispa y encendido por compresión	17
2.5 Orden de encendido	18
3 Banco de pruebas de motores	21
3.1 Componentes del banco de pruebas.....	21
3.1.1 Dinamómetro	21
3.1.2 Instrumentos de medición.....	22
3.2 Sistemas auxiliares del banco de pruebas	24
3.2.1 Sistema de enfriamiento	24
3.2.2 Sistema de suministro de combustible	25
3.3 Instrumentación del Banco de Pruebas.....	25
3.4 Instrumentación del Motor	25
3.4.1 Tablero de Instrumentación	28
4 Procedimiento experimental del estudio	31

Resumen

En este trabajo se presenta el análisis del desempeño de un motor de combustión interna, utilizando los dos tipos de gasolina que se comercializan en México, gasolina Pemex Magna y Pemex Premium. Las pruebas se realizaron en un motor de combustión interna de cuatro cilindros, colocado en el dinamómetro del banco de pruebas para motores de combustión interna del Instituto Mexicano del Transporte.

El motor fue equipado con dos tipos de carburadores, realizando dos etapas de pruebas. En una primera etapa, se llevaron a cabo pruebas utilizando gasolina Pemex Magna. En la segunda etapa se utilizó gasolina Premium. Las pruebas se realizaron aplicando el estándar internacional SAE J1349.

El análisis de los resultados muestra las curvas de comportamiento del motor en lo referente al torque, la potencia y el consumo de combustible. Este comportamiento muestra claramente los efectos que se tienen al utilizar un motor con dos tipos de carburadores, al utilizar cada uno de los combustibles.

Resumen ejecutivo

Esta investigación se desarrolló para conocer el impacto que producen los motores de combustión interna al medio ambiente, por lo que fue necesario evaluar a un motor para determinar si el motor está en condiciones de operación o no. Las pruebas más importantes que permiten conocer el estado del motor de combustión interna son: Pruebas a Régimen Transitorio, y Pruebas a Régimen Constante con variación de mezcla.

Las pruebas que se realizaron para el desarrollo del proyecto fueron pruebas a régimen transitorio que nos permiten evaluar su comportamiento y conocer los datos técnicos del motor como son: la potencia máxima, par torsional máximo y mínimo consumo específico de combustible con diferentes componentes como es el convertidor catalítico, diferente carburador y distinto combustible.

Con la realización de dicha prueba y una vez que se han revisado y analizado los datos obtenidos de las pruebas realizadas al motor MCI E-16, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

La comparación entre los carburadores se concluye que el carburador de dos gargantas es el más indicado para el funcionamiento correcto del motor MCI LAE E-16, debido a que presenta el mejor rendimiento, el mínimo consumo específico de combustible a la potencia máxima y el par torsional es máximo.

La utilización de los dos combustibles permite concluir que el combustible Magna presenta mejor desempeño tanto en potencia como en par torsional que el combustible Premium. Se aprecia en las gráficas que el combustible Magna alcanza valores más altos de potencia al igual que par torsional que con el combustible Premium a lo largo de sus curvas.

Los resultados que se obtuvieron al realizar las pruebas al motor, son de valores menores a los que el fabricante señala debido al tiempo de funcionamiento, al mantenimiento y al desgaste de sus piezas.

Las emisiones contaminantes que producen los motores de combustión interna son una preocupación a nivel mundial, por lo que se han propuesto leyes y regulaciones respecto a las emisiones de gases que obligan a los fabricantes a situarse a la vanguardia tecnológica para que se diseñen motores que cumplan con las normativas de emisiones que se promueve en cada país. Los principales elementos nocivos que se encuentran en los gases de escape son el dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos (HC).

Para solucionar el problema de emisiones en los vehículos con motores de combustión interna, los gobiernos de algunos países han establecido leyes que limitan la cantidad de contaminantes que un vehículo puede generar, lo que obliga

1 Introducción

El desarrollo de los motores de combustión interna se inicia en el siglo XIX (motor Lenoir, Francia , 1860; motor Otto y E. Langen Alemania, 1867; motor de cuatro tiempos N.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)¹. 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.

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.

La contaminación del aire que se produce en los países industrializados procede principalmente de los sistemas de transporte, de emisiones industriales y de emisiones que se generan en las ciudades o el campo; pero no debemos olvidar que siempre, al final, estas fuentes de contaminación dependen de la demanda de productos, energía y servicios que utiliza el conjunto de la sociedad.

El hombre dentro de su actividad diaria tiene la necesidad de transportarse de un lugar a otro, para ello utiliza automóviles con motores de combustión interna y otros medios de transporte. Existen millones de vehículos con motores de combustión interna circulando por el mundo y cada uno de ellos es una fuente de contaminación para el aire. Estos provocan emisiones que estos son un conjunto de gases nocivos para el medio ambiente, que proceden de la combustión que se produce en el motor de un automóvil. Las emisiones contaminantes que producen los motores de combustión interna son una preocupación a nivel mundial, por lo que se han propuesto leyes y regulaciones respecto a las emisiones de gases que obligan a los fabricantes a situarse a la vanguardia tecnológica para que se diseñen motores que cumplan con las normativas de emisiones que se promueve en cada país. Los principales elementos nocivos que se encuentran en los gases

2 El motor de combustión interna

La energía mecánica es indispensable para poner en funcionamiento las diferentes máquinas, esta energía se puede obtener utilizando energía térmica, hidráulica, solar y eólica. La más utilizada es la energía térmica que se obtiene de la quema de los combustibles de naturaleza orgánica tales como los hidrocarburos. Dentro de los equipos que transforman la energía térmica en trabajo se encuentran los motores de combustión interna, los cuales consumen el 80% de la energía derivada de los hidrocarburos a nivel mundial. Los motores de combustión interna transforman la energía térmica del combustible en trabajo útil.

Un motor de combustión interna tiene como propósito la producción de trabajo mecánico a partir de la energía química contenida en un combustible.

En los motores de combustión interna la energía es liberada por la quema u oxidación del combustible dentro del motor.

2.1 Clasificación de los motores de combustión interna

En un motor de combustión interna se introduce aire y combustible. En los motores de encendido por chispa, la mezcla de aire y combustible se preparaba antiguamente en el carburador y es luego conducida al cilindro, ahora es por medio de inyectores, lo que permite un ahorro de combustible y un mejor aprovechamiento del mismo; en los motores de encendido por compresión se realiza directamente en el cilindro, donde el combustible se inyecta después de haber introducido y comprimido el aire.

La mezcla comprimida en la cámara de combustión se transforma, por efecto de la combustión, en vapor de agua (H_2O), bióxido de carbono (CO_2) y nitrógeno (N). El nitrógeno, gas inerte contenido en el aire, no interviene en la combustión. El vapor de agua producido en la combustión se mantiene y se comporta como un gas permanente.

Entre los otros productos de la combustión se encuentran partículas de otros gases tales como: monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H_2), metano (CH_4) y oxígeno (O_2), cuando la combustión es incompleta. La cantidad de oxígeno que participa en el proceso está en razón directa del exceso de aire introducido con respecto al necesario para la combustión.

En consecuencia, el fluido de trabajo está formado inicialmente por el aire y el combustible y después, por el conjunto de gases producidos durante la combustión. Como es natural y evidente, su composición química varía en el curso del ciclo de trabajo. Los motores de combustión interna se pueden clasificar de acuerdo a la tabla 2.1.

Los sistemas de encendido eléctrico más utilizados son de encendido por magneto y el del distribuidor.

- a) En el encendido por magneto, se emplea un generador de corriente diseñado para generar un voltaje suficiente para hacer saltar una chispa en las bujías y así provocar la ignición de los gases comprimidos en un motor de combustión interna.
- b) El encendido por distribuidor es accionado por el árbol de levas girando el mismo número de vueltas que este y la mitad que el cigüeñal. La forma de accionamiento del distribuidor no siempre es la misma, en unos el accionamiento es por medio de una transmisión piñón-piñón, quedando el distribuidor en posición vertical con respecto al árbol de levas (figura 2.5). En otros el distribuidor es accionado directamente por el árbol de levas sin ningún tipo de transmisión, quedando el distribuidor en posición horizontal (figura 2.6).

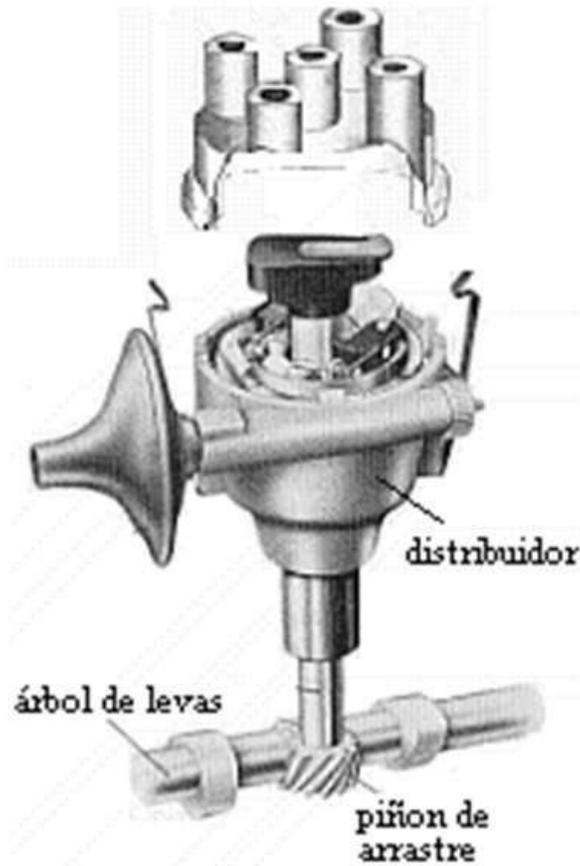


Figura 2.5 Encendido por distribuidor accionado por medio de una transmisión piñón-piñón

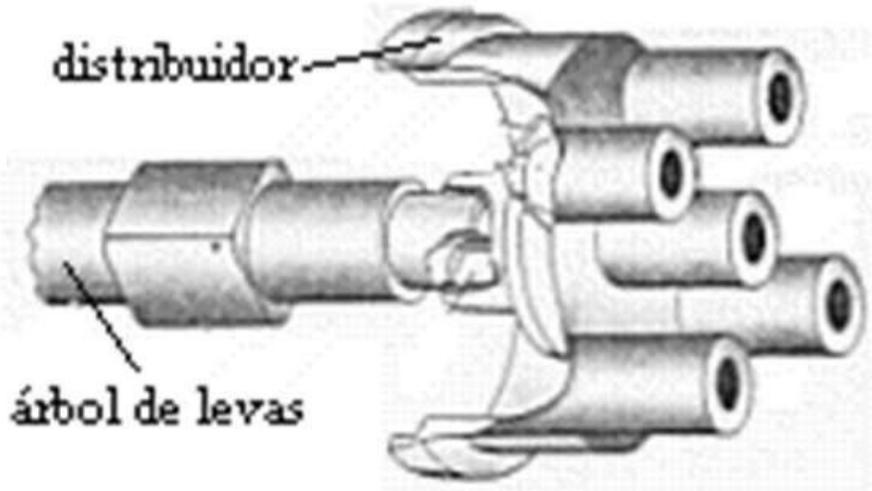


Figura 2.6 Encendido por distribuidor accionado por el árbol de levas

2.4.4 El motor encendido por compresión

El motor de encendido por compresión (*Compresión Ignition CI*) está basado en los trabajos de Rudolph Diesel, que realizó sus primeros motores alrededor del año 1892. En este tipo, la combustión se realiza a presión constante, según el ciclo que ha tomado el nombre de su inventor.

Los combustibles empleados son hidrocarburos líquidos de propiedades diferentes al hidrocarburo usado en motores de encendido por chispa, menos volátiles y con un peso específico superior, por lo cual se llaman combustibles pesados. El tipo más usado para los motores de los automóviles es el Diesel.

El Diesel es una mezcla de hidrocarburos obtenida por destilación fraccionada del petróleo, más pesada y menos volátil que la gasolina. Su principal característica es que se inflama bajo fuerte presión. También se utiliza un sistema de graduación para medir su calidad, en este caso con referencia a una mezcla de un hidrocarburo denominado cetano (grado 100) y el alfa metil naftaleno (grado cero).

La mayoría del Diesel para automóviles tiene un número de cetano cercano a 50. Frente a la gasolina, otra característica del Diesel es que la presencia de hidrocarburos específicos como ceras o parafinas, hacen que pueda helarse a temperaturas muy frías. Para evitarlo se añaden aditivos que mejoran su capacidad para fluir y evitan la congelación. El Diesel no es un combustible de clase inferior a la gasolina. Debe estar muy bien filtrado para no estropear los sistemas de inyección de alta presión, con inyectores que cuentan con orificios de milésimas de milímetro. La alimentación del combustible se efectúa exclusivamente por inyección.

Los motores de *CI* son similares, en importancia y variedad de aplicaciones, a los motores *SI*; pertenecen a esta vasta categoría los grandes motores Diesel lentos

El dinamómetro del banco de pruebas del IMT es un dinamómetro de motor. Que tiene la capacidad de medir potencias de hasta 250 HP.

3.1.2 Instrumentos de medición

Termopar

Un termopar es un dispositivo capaz de convertir la energía calorífica en energía eléctrica. Consta de dos metales diferentes sobre puestos en una junta; los cuales están conectados a dos diversos ensambles, uno para la temperatura y el otro para la referencia. La diferencia entre los dos ensambles se detecta y se mide el cambio en el voltaje (fuerza electromotriz, *fem*) a través de los metales diferentes en el ensamble de la media de la temperatura.

Los termopares son sensores que se emplean para medir la temperatura en procesos donde no se puede tomar directamente una lectura a través de un termómetro. Existen siete tipos de termopares conocidos, E, S, T, J, K, B y R. En la fabricación de termopares se utilizan diferentes materiales tales como: hierro-constantano, cobre-constantano o antimonio-bismuto.

El termopar está constituido por las siguientes composiciones químicas que se observan en las tablas 3.1 y 3.2.

Tabla 3.1 Tipo de termopares del Grupo I Metales Nobles

Tipo	Conductor (+)	Conductor (-)	Características
R	87% Platino - 13% rodio	platino	Adecuados para la medición de temperaturas de hasta 1300 °C. Su baja sensibilidad (10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) y su elevado precio quitan su atractivo
S	90% Platino - 10% Rodio	Platino	Ideales para mediciones de altas temperaturas hasta los 1300 °C, pero su baja sensibilidad (10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) y su elevado precio lo convierten en un instrumento no adecuado para el uso general. Debido a su elevada estabilidad, el tipo S es utilizado para la calibración universal del punto de fusión del oro (1064,43 °C).
B	70% Platino- 30% Rodio	94% Platino-6% Rodio	Son adecuados para la medición de altas temperaturas, superiores a 1800 °C. Los termopares tipo B presentan el mismo resultado a 0 °C y 42 °C debido a su curva de temperatura/voltaje, limitando así su uso a temperaturas por encima de 50 °C.

Por otro lado, los termopares tipo B, R y S son los más estables, pero debido a su baja sensibilidad (10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ aprox.) generalmente son usados para medir altas temperaturas (superiores a 300 °C).

Los termopares con una baja sensibilidad, como en el caso de los tipos B, R y S, tienen además una resolución menor. La selección de termopares es importante para asegurarse que cubren el rango de temperaturas a determinar.

Tabla 3.2 Tipo de termopares del Grupo II Metales Base

Tipo	Conductor (+)	Conductor (-)	Características
K	Cromel (Ni/Cr)	Alumel (Ni/Al)	Con una amplia variedad aplicaciones, está disponible a un bajo costo y en una variedad de sondas. Tienen un rango de temperatura de -200°C a $+1372^{\circ}\text{C}$ y una sensibilidad $41 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aproximadamente. Posee buena resistencia a la oxidación
E	Cromel (Ni/Cr)	Constantano (Cu/Ni)	No son magnéticos y gracias a su sensibilidad, son ideales para el uso en bajas temperaturas, en el ámbito criogénico. Tienen una sensibilidad de $68 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.
J	Hierro	Constantano (Cu/Ni)	Su rango de utilización es de $-270/+1200^{\circ}\text{C}$. Debido a sus características se recomienda su uso en atmósferas inertes, reductoras o en vacío, su uso continuado a 800°C no presenta problemas, su principal inconveniente es la rápida oxidación que sufre el hierro por encima de 550°C ; y por debajo de 0°C es necesario tomar precauciones a causa de la condensación de vapor de agua sobre el hierro.
T	Cobre	Constantano (Cu/Ni)	Ideales para mediciones entre -200 y 260°C . Resisten atmósferas húmedas, reductoras y oxidantes y son aplicables en criogenia. El tipo termopares de T tiene una sensibilidad de cerca de $43 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.
N	Nicrosil (Ni-Cr-Si)	Nisil (Ni-Si)	Es adecuado para mediciones de alta temperatura gracias a su elevada estabilidad y resistencia a la oxidación de altas temperaturas, y no necesita del platino utilizado en los tipos B, R y S, que son más caros.

Características del termopar tipo J

El termopar tipo J de composición hierro-constantano, termoelemento positivo: Fe 99.5%, termoelemento negativo: Cu 55%, Ni 45%. El margen de temperaturas es de -210°C a 760°C . La FEM producida es de -8.096mV a 42.919mV . El termopar, para ser conectado al motor de prueba, tiene en su punta un cople macho con rosca y una vaina que puede tener 24, 27 o 35 mm de longitud con 3mm de diámetro. El termopar, para ser conectado al cable de extensión, tiene un conector hembra. Para identificar los polos del conector hembra, se utiliza el color blanco para el polo positivo y el color rojo para el polo negativo.

VARIABLES		REGIMEN EN RPM				
		1500	2000	2500	3000	3500
Temperatura de Entrada de Aire	°C					
Temperatura de Aceite en el Carter	°C					
Temperatura del Combustible	°C					
Temperatura de Entrada de Agua	°C					
Temperatura de Salida de Agua	°C					
Presión de Aceite	PSI					
Par Torsional	lb-pie					
Volumen de Combustible	cm ³					
Tiempo de Consumo	s					
Potencia	HP					
C.E.C	g/HPh					
Potencia Corregida	HP					
Par Torsional Corregido	lb-pie					
C.E.C.C.	g/HPh					

4.3.3 Procedimientos para la corrección de datos

Para corregir los datos obtenidos es necesario realizar cálculos a través de fórmulas que permiten obtener los valores en condiciones reales en los que opera el motor de prueba, las fórmulas utilizadas son:

1. Potencia observada

$$bpo = \frac{(bto)(rpm)}{5252}$$

Dónde:

bpo: Potencia observada, [HP]

bto: Par torsional

rpm: Régimen del motor en revoluciones por minuto

Bibliografía

Clayton Industries, Engine Dynamometer CAM 250E Part low 1160

Carol, L.A., et al. "High Temperature Deactivation of three way catalysts" SAE Technical Paper Series 892040. 1989., 27 p.

Dante Giacosa, Motores Endotérmicos 3ra edicion, Editorial Dossat, S.A.

Diwell, A.F., et al. "The impact of sulphur storage on emissions from three way catalysts". SAE Technical Paper Series 872163 . 1987. 18 p.

Rafael Morales, M., y Guzmán Reynoso, C... "Manual para la Instrumentación del Banco de Pruebas de Motores de Combustión Interna", Documento Interno, Instituto Mexicano del Transporte, 2002.

Hawker, P.N., et al. "Metal supported automotive catalysts for use in Europe" SAE Technical Paper Series 880317. 1988., 69 p.

Henk M.G., et al. " Sulphur storage and release from Automotive Catalysts". SAE Technical Papers Series 872134 . 1987., 18 p.

Heywood, J. B., Internal Combustion Fundamentals. McGraw-Hill International Editions, 1989. 930 p.

Rafael Morales, M. Sánchez Nungaray, M. F y Mendoza Mosqueda, J Manual para la instrumentación del banco de pruebas de motores de combustión interna. Laboratorio de ahorro de energía y emisiones, Documento Interno, Instituto Mexicano del Transporte, 2002.

Manrique, J. A, Cárdenas, Termodinámica Ed. Harla, 1976

Mendoza Mosqueda, J., Rafael Morales, M. y Sánchez Nungaray, M. F. "Manual del Laboratorio de Ahorro de Energía y Emisiones", Documento Interno, Instituto Mexicano del Transporte, 1999

Öser, Polat. "Novel Autocatalysis Concepts and strategies for the future with emphasis on Metal supports". SAE Technical Paper Series 880319. 1988., 42p.

Summers, J. C. , et al. " Uses of palladium in automotive emission control catalysts" . SAE Technical Papers Series 880281. 1988., 19 p.

Taylor, K.C., Automobile Catalytic Converters. Springer Verlag. 1984. 197 p.

Wei, J. Catalysis for motor vehicle emissions. McGraw-Hill Publishing.1989. 129 p.



Medida de la compresión del motor de combustión con osciloscopio. Motores de gasolina y diesel.

Indice: [\[ocultar\]](#)

A tener en cuenta:

[Consideraciones para los motores diesel.](#)

Medida [CON OSCILOSCOPIO] de "...



A tener en cuenta:

Es esencial para el funcionamiento del motor que tenga suficiente compresión. La compresión proporcionada por la subida del pistón vendrá determinada por el área de barrido que se comprime en la zona de combustión: a esto se le conoce como relación de compresión. La compresión también viene determinada por la efectividad de la junta entre la pared del cilindro y el pistón; esta junta se sujeta gracias a los anillos de sellado. Lo mismo ocurre con los asientos de las válvulas de entrada y salida.

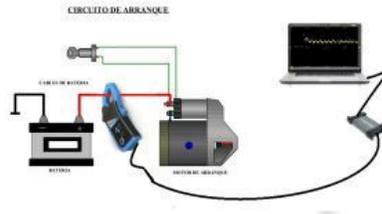
Los anillos del pistón están hechos de hierro fundido centrifugado que produce una presión radial formando el sello. El hierro fundido se utiliza también por sus excelentes propiedades autolubricantes.

Si una forma de onda de compresión relativa identifica un problema, será necesario realizar una prueba de compresión.

Al hacer una prueba de compresión en un motor de gasolina, es importante abrir completamente la válvula reguladora para permitir que pase una mayor cantidad de aire a los cilindros.

Nota: se recomienda desactivar el circuito de baja tensión del encendido para evitar que el motor de combustión arranque y por otro lado dañar el amplificador del módulo de control electrónico (ECM).

Ojo: No se trata de un procedimiento definitivo. (No sustituye la prueba de compresión física). Para determinar la compresión real hay que utilizar el manómetro correspondiente.



La medida de la compresión relativa es muy sencilla de realizar con osciloscopio y pinza amperimétrica. Con esta prueba medimos la corriente consumida por el motor de arranque cuando accionamos la llave de contacto.

El objetivo de esta practica es doble:

- Por un lado, medir la corriente necesaria para arrancar el motor.
- Por otro, evaluar la compresión relativa en cada uno de los cilindros.

En la figura siguiente se aprecia donde ha de conectarse la pinza para realizar la medición.

La pinza debe colocarse en uno de los dos cables de las conexiones de la batería (en el positivo o el negativo), la que facilite más la conexión, como se muestra en la figura anterior.

La pinza amperimétrica debe estar encendida y orientada hacia el lado correcto, en caso contrario la traza del osciloscopio se dibujará invertida.

Se ha de seleccionar en el osciloscopio la opción CC650 y seleccionar la escala de 50A por división (50 amperios por división). Es posible que sea necesario realizar un ligero ajuste a la base de tiempos (ms/división) para compensar velocidades de arranque más rápidas o lentas.

La forma de onda para el motor de arranque girando en vacío es como se muestra en la figura siguiente. Aquí, el motor eléctrico no arrastra el motor de combustión, y por supuesto, no hay compresión en los cilindros. Se puede apreciar que tras superar el momento inicial, la corriente que consume se mantiene prácticamente constante en el tiempo.

En la gráfica de la derecha, se muestra la forma de onda de la corriente consumida por el motor de arranque cuando todos los cilindros realizan compresión. Cada pico de corriente corresponde a la compresión de un cilindro. Podemos apreciar que los picos son homogéneos, lo que es indicativo de compresión en los cuatro cilindros similar. Esto es un síntoma de motor en buen estado. (Es poco probable que el motor pierda simultáneamente compresión en los cuatro cilindros)

El amperaje necesario para arrancar el motor dependerá en gran medida de muchos factores, incluyendo: la capacidad del motor, el número de cilindros, la viscosidad del aceite (la cual es función de su temperatura), el estado del motor de arranque, el estado del circuito de cableado del motor de arranque y la compresión de los cilindros.

La corriente para un motor de gasolina típico de 4 cilindros sería de alrededor de entre 90 y 250 amperios.

En la forma de onda de arriba, el pico de corriente inicial (aprox. 460 A) es la corriente necesaria para superar la fricción inicial y la inercia para girar el motor. Cuando el motor de arranque gira, la corriente desciende. También es importante mencionar el pequeño paso antes del pico inicial, provocado por la conmutación del relé del del motor de arranque.

Las compresiones pueden compararse entre sí mediante el control de la corriente necesaria para levantar cada cilindro en su carrera de compresión. Cuanto mejor sea la compresión, mayor será la demanda de corriente y viceversa. Por lo tanto, es importante que la corriente sea igual para todos los cilindros.

La forma de onda que aparece a la derecha, muestra un motor con pérdida de compresión en un cilindro. Se trata de un motor de Ford escort, con casi treinta años

de antigüedad. **Se puede apreciar que cada cuatro compresiones hay un cilindro donde el consumo de corriente es inferior, lo que quiere decir que en este cilindro hay menor compresión.**

Una compresión típica tendrá valores entre 120 y 200 psi. Una compresión baja puede deberse a:

- Una junta ineficaz entre el cilindro y el pistón.
- Un asentamiento deficiente de las válvulas de entrada y salida.
- Anillos de pistón rotos o enganchados.
- Sincronización incorrecta del árbol de levas.
- Toma de admisión obstruida.

En este caso, la compresión en uno de los cilindros es más baja que las demás, se puede realizar una prueba «mojada» rociando un poco de aceite en el cilindro y repitiendo la prueba de la compresión. El aceite garantiza el sello hermético entre el pistón y el agujero por lo que, si se recupera la compresión, significa que el fallo se encuentra dentro de los anillos de sellado del pistón. Si apenas hay cambios, el fallo se encuentra dentro de las válvulas.

No debe haber una diferencia superior al 25 % entre las lecturas de compresión máxima y mínima.

Si la compresión fuese superior a la media puede deberse a:

- Carbono acumulado en la cámara de combustión (reduciendo su área).
- «Roce» excesivo de la culata.
- Grosor incorrecto de la junta de culata.

En las gráficas siguientes se dan las siguientes circunstancias:

En la traza amarilla vemos que uno de los cilindros tiene compresión nula. (Se ha retirado la bujía), por lo que no existe compresión.

En la traza cian, podemos ver que la compresión es nula en dos cilindros, se han retirados dos bujías.

Consideraciones para los motores diesel.

Los motores diesel son más robustos y pesados que los de gasolina. Por otro lado, la compresión es mayor, por tanto esto se traduce en un incremento de la corriente consumida. Por lo demás, la formas de onda son similares de los de gasolina.

En las gráficas obtenidas, podemos comparar las compresiones entre sí mediante el control de la corriente necesaria para levantar cada cilindro en su carrera de compresión. Cuanto mejor sea la compresión, mayor será la demanda de corriente y viceversa. Por lo tanto, es importante que la corriente sea igual en todos los cilindros.

Debido a las dificultades de accesibilidad de los motores diésel, esta prueba puede resultar extremadamente útil para diagnosticar problemas de compresión/encendido del motor diésel.

Nota: al realizar pruebas de compresión en un motor diésel, asegúrese de que se utiliza el manómetro apropiado (los motores diésel tienen una compresión mucho mayor que los de gasolina). Asegúrese también de que el suministro de combustible a los inyectores se detiene aislando eléctricamente el solenoide de corte de combustible.

Como en los motores de gasolina, si una forma de onda de compresión relativa identifica un problema, será necesario realizar una prueba de compresión. Una compresión diésel típica puede variar de 19 bares (275 psi) a 34 bares (495 psi). Esta presión tiende a ser ligeramente inferior en los vehículos con inyección indirecta y superior en sistemas de inyección directa.

El motor diésel depende de la compresión para generar el calor necesario para encender el combustible atomizado. Cualquier reducción de compresión reducirá el calor generado y comprometerá el proceso de combustión. Si la compresión es demasiado baja, el cilindro acabará por no disparar. Por lo tanto, es esencial que la holgura de la válvula (si es ajustable) se configure según las especificaciones del fabricante.

Una compresión baja puede deberse a:

- Una junta ineficaz entre el cilindro y el pistón.
- Un asentamiento deficiente de las válvulas de entrada y salida.
- Anillos de pistón rotos o enganchados.



IMPRIMIR

ÍNDICE



ZOOM +

ZOOM -

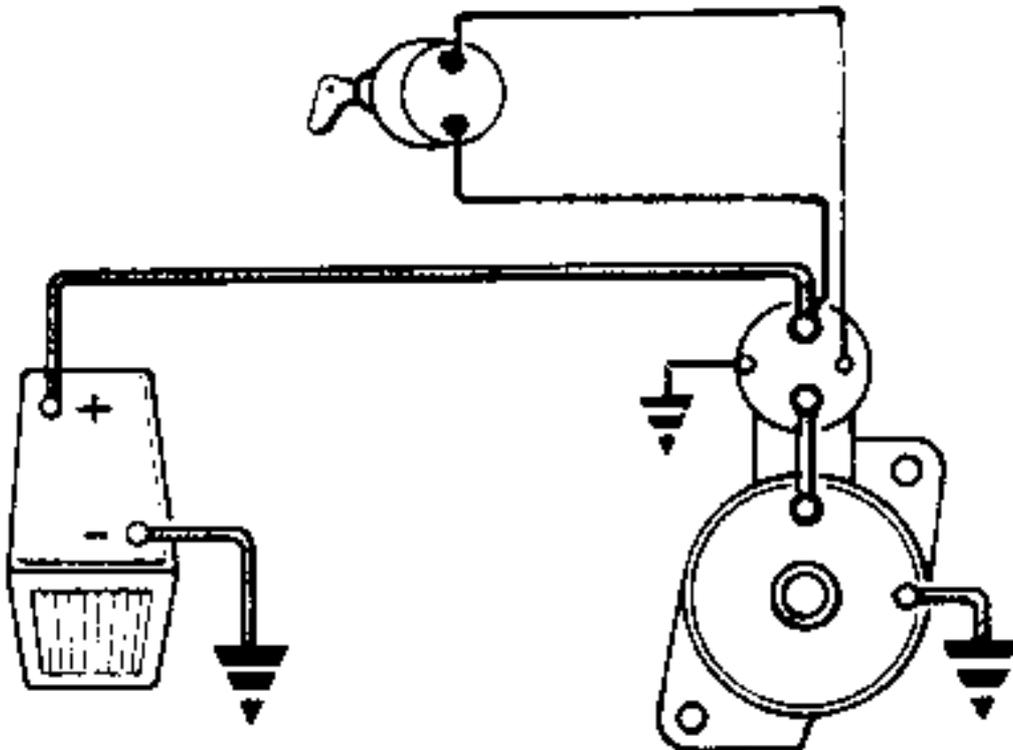


ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

MOTOR DE ARRANQUE

Los motores de combustión interna (gasolina, gasóleo, etc.) tienen el grave inconveniente de ponerse en marcha usando únicamente medios externos.

El medio utilizado en el pasado para la puesta en marcha era la fuerza muscular del hombre a la que le siguieron soluciones basadas en varios principios. No cabe duda sin embargo, que la solución más satisfactoria del problema está representada por el uso de una batería y un motor eléctrico convenientemente dimensionados.



Componentes del sistema de arranque de los motores de explosión



IMPRIMIR

ÍNDICE

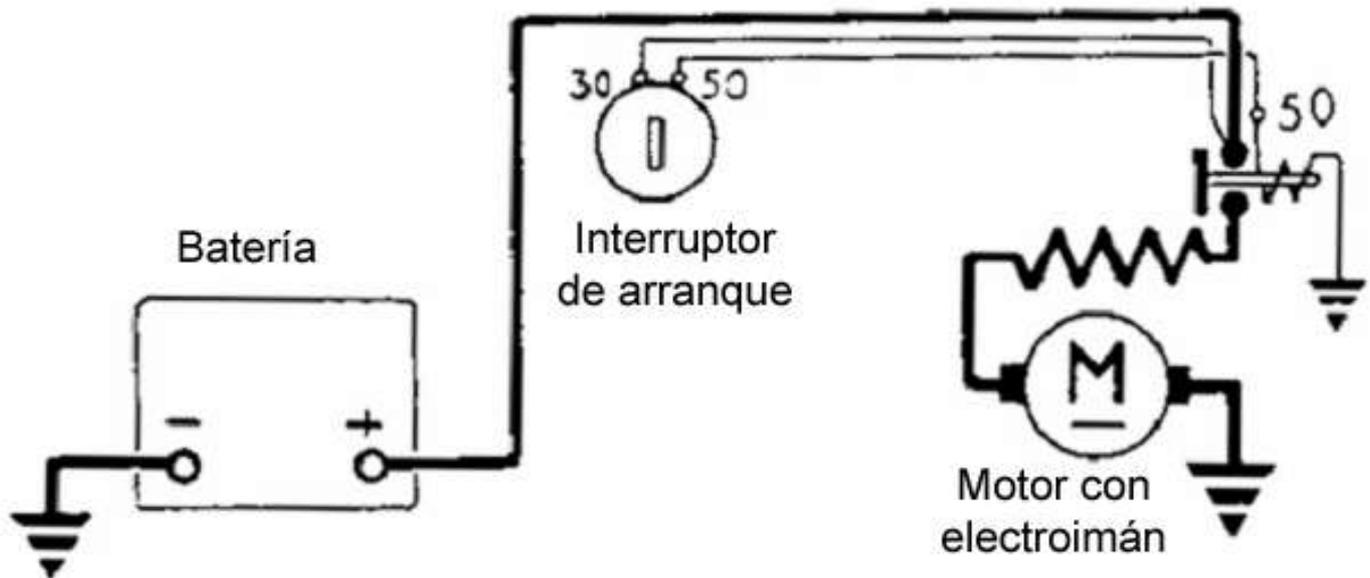


ZOOM +

ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE



Esquema eléctrico de un sistema de arranque para un motor de explosión

Por lo general, el sistema de arranque de los motores de explosión en automoción se compone de:

- La batería (de tipo, tensión, corriente y capacidad adecuadas).
- El grupo motor que realiza la puesta en marcha (*motor eléctrico* de potencia adecuada al motor térmico a poner en marcha con respectivos dispositivos de acoplamiento y accesorios, como, por ejemplo: el interruptor de mando mecánico o electromagnético).
- Los cables de conexión de la batería al motor de arranque.

Para poner en marcha los motores de tipo Diesel también se han utilizado medios *auxiliares de arranque*, como: bujía de incandescencia (y unidad electrónica de mando) y precalentadores.



IMPRIMIR

ÍNDICE



ZOOM +

ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

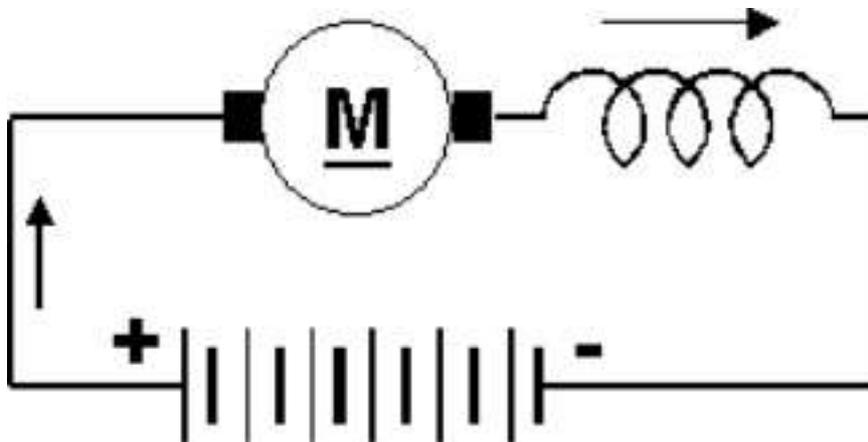
EXIGENCIAS DEL MOTOR TÉRMICO

Establecida la necesidad de ponerlo en marcha, es decir de poner en rotación el cigüeñal, hay que aclarar que éste debe alcanzar y mantener una cierta velocidad durante un determinado período de tiempo; *velocidad* y *tiempo* dependen del tipo de motor térmico, del estado en que se encuentra, de los lubricantes utilizados, de la temperatura ambiental, etc.

Por ejemplo: velocidad y tiempo son más elevados en el motor Diesel (la mezcla tiene que alcanzar la temperatura de auto-combustión) que en el motor Otto, y son más elevados para todos los motores durante la estación fría debido a la dificultad de formación de la mezcla de explosión, etc.

La función del motor de arranque es precisamente la de imprimir al motor térmico la llamada velocidad mínima durante el tiempo necesario para iniciar el proceso de combustión. En concreto, el motor eléctrico tiene que vencer la resistencia de la compresión, el rozamiento de los pistones, de los soportes, de las bielas y del cigüeñal con todas las implicaciones mecánicas y térmicas que conlleva.

CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR DE ARRANQUE



Esquema de motor c.c. excitado en serie

El motor eléctrico de corriente continua, con excitación en serie, es el que mejor responde a las exigencias de puesta en marcha de los motores de combustión interna, que necesitan un par máximo en el arranque y decreciente al aumentar la velocidad. Estas exigencias son:

- Par de arranque.
- Par motor.
- Consumo de corriente.
- Tensión de alimentación.
- Velocidad necesaria para el arranque.
- Duración del arranque.



IMPRIMIR

ÍNDICE



ZOOM +

ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

PAR MOTOR

Es el par necesario para poner en marcha los motores de combustión interna; éste no es constante incluso para el mismo motor. De hecho, depende, por ejemplo, de la temperatura, del rozamiento, de la lubricación y del estado de conservación de los órganos. Experimentalmente en los motores de automoción se necesita un par de $15 \div 30 \text{ N} \cdot \text{m}$ ($1,5 \div 3 \text{ kgm}$).

PAR DE ARRANQUE

Este par es el que el motor de arranque transmite al motor de combustión en el momento en que, tras el engrane del piñón con la corona dentada, es alimentado por corriente. El motor de corriente continua con excitación en serie suministra, con un tamaño mínimo, un buen par de arranque.

CONSUMO DE CORRIENTE

Es la corriente que el motor consume de la batería que, como sabemos, tiene un peso y un tamaño considerables. Pero es necesario que la transformación en potencia se produzca con un consumo mínimo: un consumo elevado implicaría disponer de una batería de mayor capacidad. En el arranque la batería está sujeta a una descarga violenta por lo que entra en juego, además de la capacidad, la autonomía de la batería.

TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN

La tensión de alimentación de los motores eléctricos de arranque, para automóviles, es de 12 voltios para vehículos de pequeña potencia; en los de mayor potencia, con el fin de contener las secciones de los conductores y limitar las caídas de tensión, se pasa a los 24 voltios.

Es importante que la tensión disponible en los terminales del motor eléctrico sea suficiente, es decir que no se produzca ninguna inadmisibles caída de tensión. De hecho, si la caída entre la batería y el motor eléctrico fuese demasiado elevada, el motor no podría suministrar toda la potencia demandada.



IMPRIMIR

ÍNDICE



ZOOM +

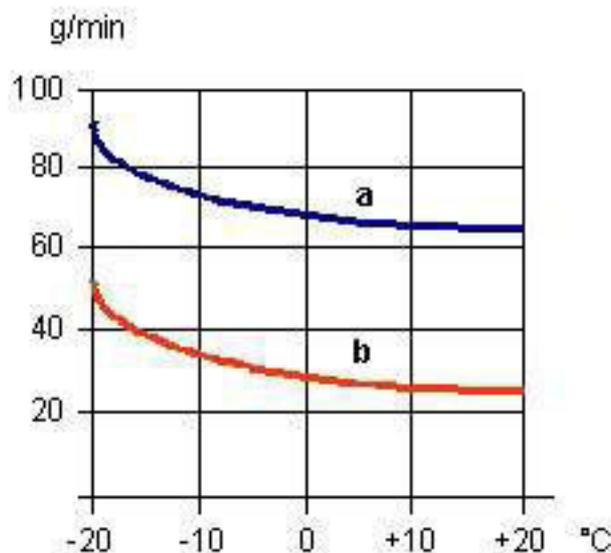
ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

VELOCIDAD NECESARIA PARA EL ARRANQUE

Es la velocidad que el motor eléctrico debe suministrar al motor térmico para su puesta en marcha incluso en las peores condiciones posibles, sobre todo de temperatura.



En el diagrama de la figura se muestra una curva que representa la velocidad mínima necesaria para poner en marcha un motor de explosión (curva a) y un motor de ciclo Diesel (curva b) en función de la temperatura.

Si no se alcanzan estas velocidades la inyección no es capaz de suministrar una mezcla adecuada para que se queme, mientras en el Diesel no se produce una temperatura de compresión lo suficientemente elevada para la combustión espontánea del combustible.

Por lo tanto, el dimensionado de la batería debe ser tal que, a la temperatura de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (malas condiciones), sea capaz de suministrar al motor eléctrico una tensión suficiente para alcanzar la velocidad necesaria para poner en marcha el motor térmico. De hecho, es sabido que, conectando una carga a la batería durante un largo período de tiempo, la tensión disminuye primero lentamente y después más rápidamente: la duración de la caída de tensión lenta es proporcional a la capacidad de la batería. Si por varias causas, se repite bastante a menudo el arranque, es necesario que la batería tenga una capacidad tal que no le haga ceder rápidamente la tensión inmediatamente después del primer arranque: en resumen, la batería tiene que disponer de una reserva suficiente para el arranque.



IMPRIMIR

ÍNDICE

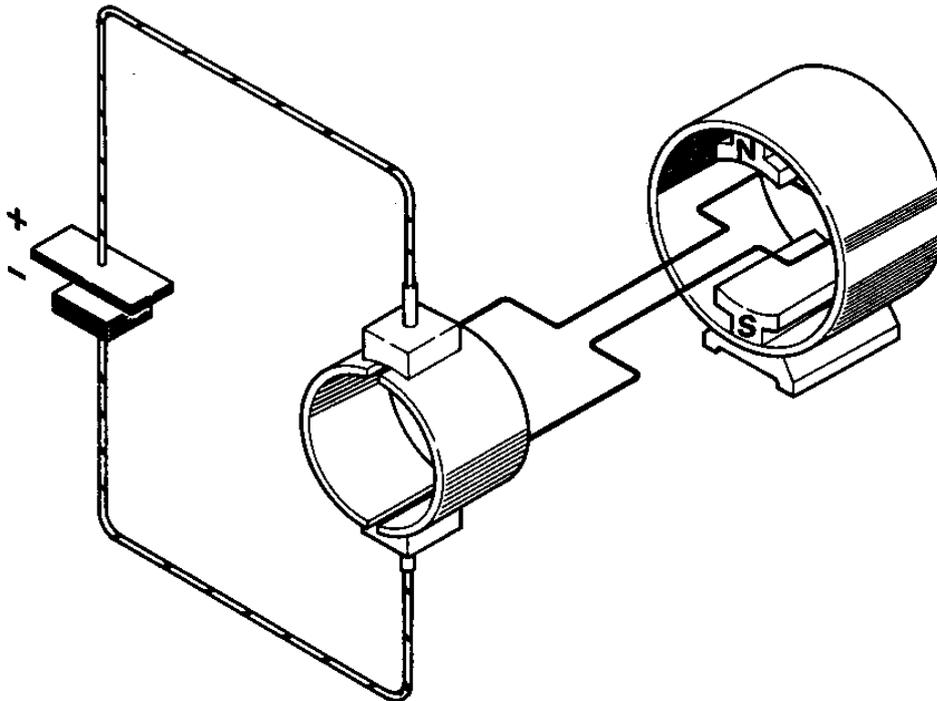


ZOOM +

ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE



El motor excitado en serie, en vacío, puede alcanzar valores de velocidad de fuga que comprometerían su propia eficiencia mecánica por efecto de reacciones centrífugas. No se puede dejar funcionar durante mucho tiempo, en estas condiciones, un motor excitado en serie.

CONCLUSIÓN: El motor excitado en serie tiene un par de arranque muy elevado y, además, está sujeto a grandes variaciones de velocidad dependiendo de la carga; en vacío, su velocidad alcanza un máximo llamado "velocidad de fuga", opuestamente al motor excitado en derivación, cuya velocidad alcanza un determinado régimen que conserva con cualquier carga.



IMPRIMIR

ÍNDICE



ZOOM +

ZOOM -

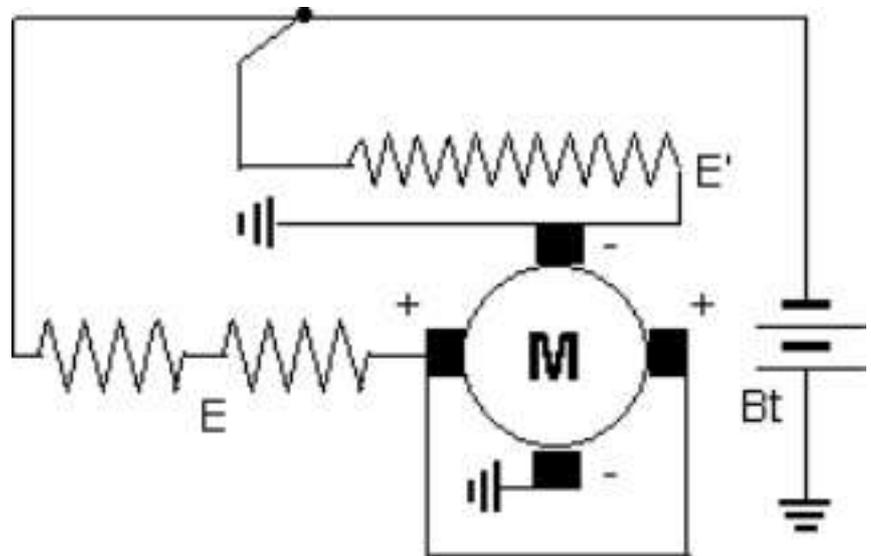


ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

MOTOR DE EXCITACIÓN COMPUESTA

Al igual que para la dinamo, se dicen de excitación compuesta los motores con una parte de la excitación en serie con el inducido y una parte en paralelo. Según como se efectúen estas conexiones se obtiene:

- Motor de flujo diferencial.
- Motor de flujo adicional.



M = Motor.
E = Excitación en serie.
E' = Excitación en derivación.
Bt = Batería.

Motor de corriente continua de excitación compuesta



IMPRIMIR

ÍNDICE



ZOOM +

ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

MOTOR DE EXCITACIÓN COMPUESTA DE FLUJO ADICIONAL

En este tipo de motores los flujos que producen los dos devanados de excitación se suman, en lugar de restarse, al estar arrollados en el mismo sentido. Este tipo de motor encuentra mayores aplicaciones que el de flujo diferencial:

- Cuando el motor gira en vacío (en este caso la corriente es mínima) el flujo producido por el devanado en serie es casi nulo, mientras que el del devanado en paralelo es máximo; de este modo se obtienen prácticamente las condiciones de un motor de excitación en derivación consiguiendo una velocidad en vacío que no alcanza la peligrosa de fuga sino que tiende a estabilizarse a un valor más bajo (*figura A*).
- Cuando el motor funciona bajo carga, en el flujo producido por el devanado en serie, el principal, predominan las características del motor en serie; es decir, la velocidad disminuye (mientras la corriente aumenta) y el par disponible en el eje aumenta (*figura B*). De este modo se consigue un fuerte par con un consumo de corriente menor al de un motor idéntico excitado en derivación.
- Par motor superior al de un motor idéntico con excitación en derivación.

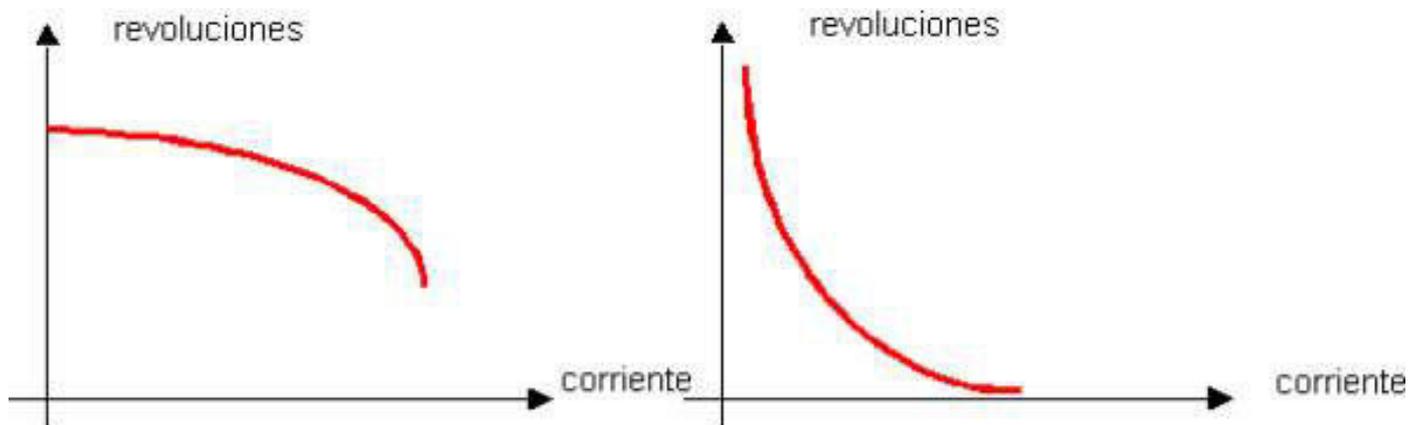


Figura A - Paralelo

Figura B - Serie

Tras producirse el arranque, sólo hay que soltar el pulsador para conseguir que los órganos vuelvan a la posición de reposo.



IMPRIMIR

ÍNDICE



ZOOM +

ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

CARACTERÍSTICAS GENERALES

El motor de arranque es un dispositivo utilizado en el automóvil para arrancar el motor térmico. Su función es acelerar el cigüeñal, inicialmente parado, hasta alcanzar y mantener un régimen de rotación suficiente para que el motor térmico pueda autoalimentarse.

La energía necesaria para la función de arranque se toma de la batería, que debe estar dimensionada en función de la potencia requerida por el motor de arranque.

ESTRUCTURA

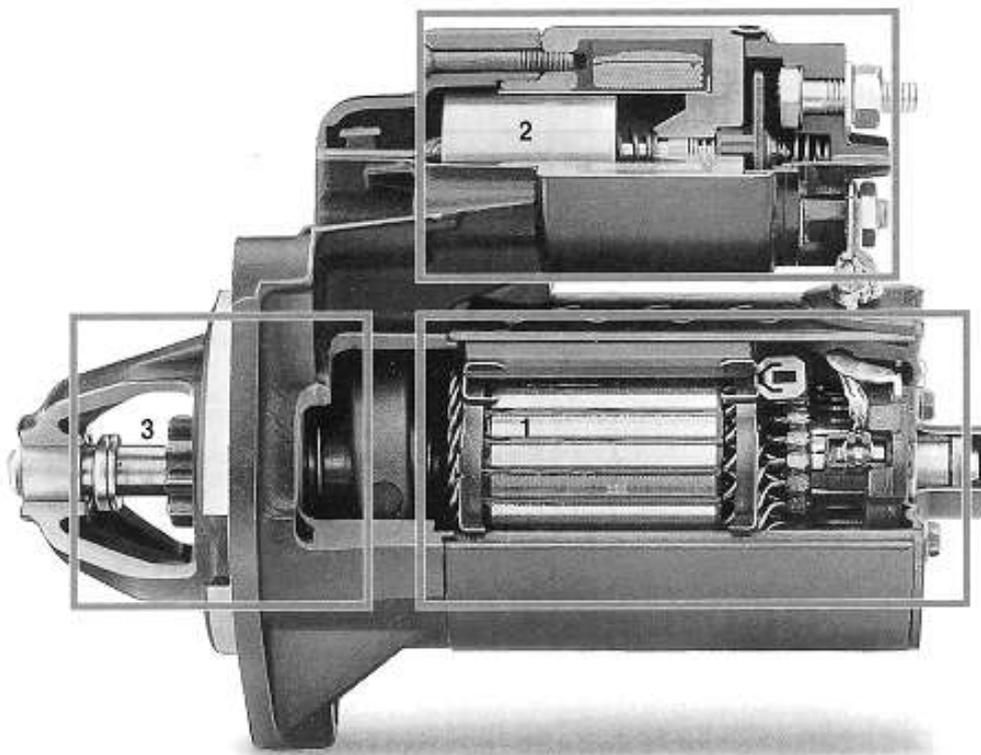


Imagen cedida amablemente por Bosch

El motor de arranque, cuya estructura se ilustra en la figura, está constituido fundamentalmente por:

1. Motor eléctrico de corriente continua.
2. Telerruptor de acoplamiento.
3. Grupo de acoplamiento.



IMPRIMIR

ÍNDICE

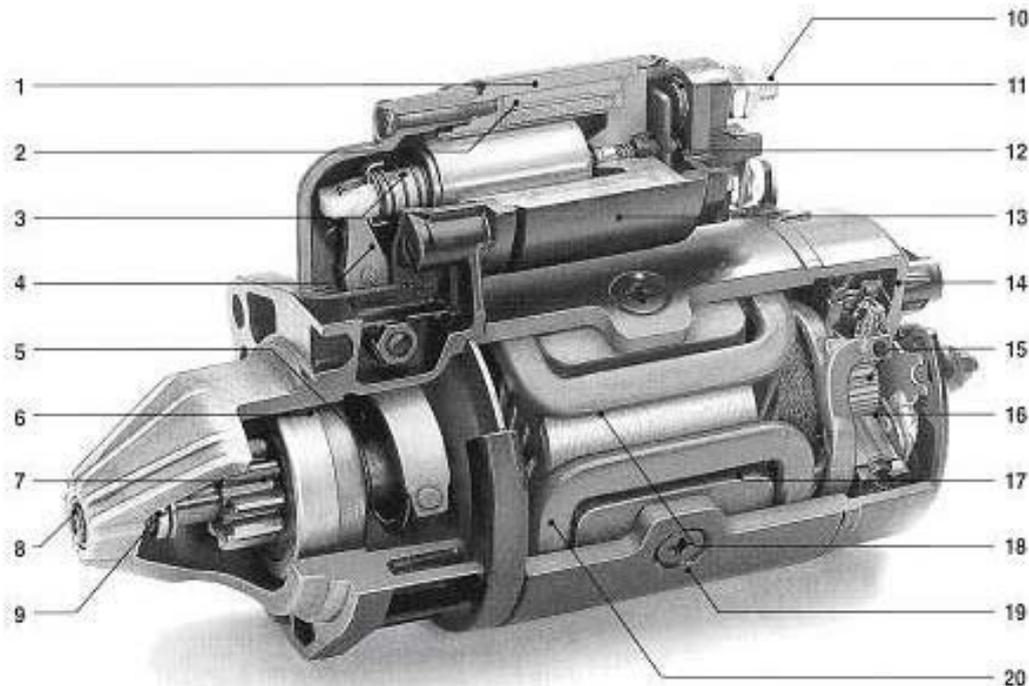


ZOOM +

ZOOM -



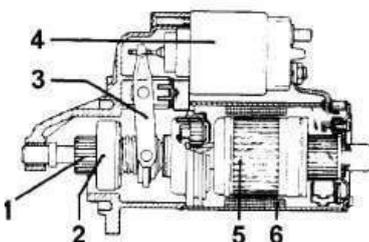
ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE



- | | | |
|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1. Devanado de retención. | 8. Eje del inducido. | 15. Colector. |
| 2. Devanado de atracción. | 9. Anillo de tope. | 16. Portaescobillas. |
| 3. Muelle de recuperación. | 10. Conexión eléctrica. | 17. Zapata polar. |
| 4. Palanca de acoplamiento. | 11. Contacto. | 18. Inducido. |
| 5. Muelle de engrane. | 12. Contacto móvil. | 19. Carcasa polar. |
| 6. Acoplamiento libre de rodillos. | 13. Relé de engrane. | 20. Devanado de excitación. |
| 7. Piñón. | 14. Cojinete del colector. | |

Imagen cedida amablemente por Bosch

1. Piñón
2. Rueda libre
3. Palanca de acoplamiento
4. Telerruptor de acoplamiento
5. Inducido
6. Estator





IMPRIMIR

ÍNDICE



ZOOM +

ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

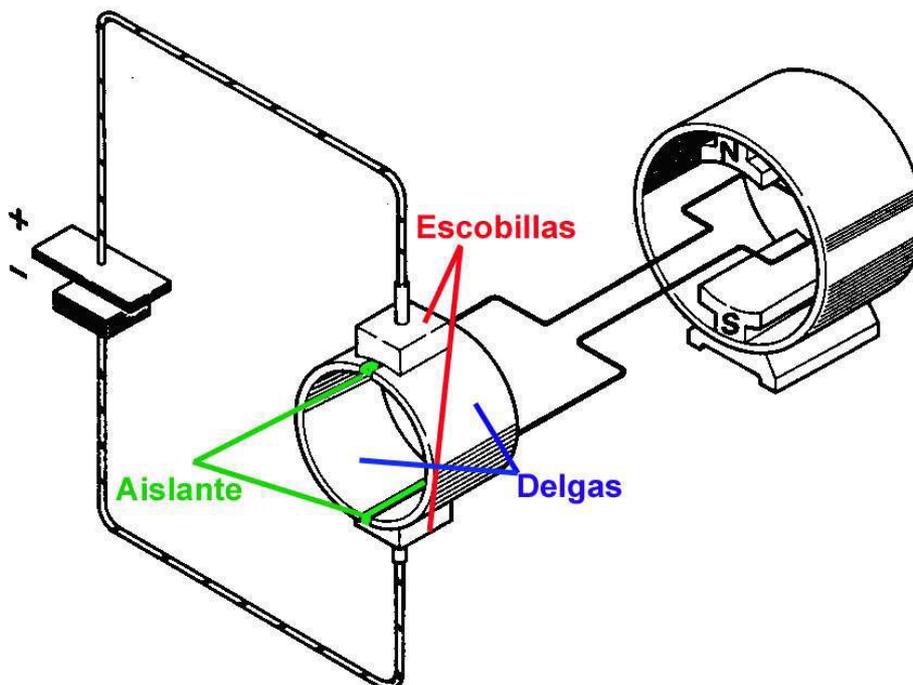
SOPORTES, INDUCIDO Y EXPANSIONES POLARES

Las expansiones polares o los imanes permanentes están fijados a la carcasa, en cuyo interior gira el eje del inducido, sobre cojinetes o casquillos autolubricantes alojados en los dos soportes.

Al soporte, lado acoplamiento, está fusionada la brida de fijación al cambio y los alojamientos de sujeción del electroimán y del pivote para la palanca de mando del acoplamiento.

En el otro soporte están los portaescobillas con las escobillas presionadas sobre el colector por unos muelles específicos.

ESCOBILLAS Y COLECTOR



El colector está hecho con embarrados de cobre de sección trapezoidal (delgas), unidos con forma de cilindro, con láminas aislantes interpuestas entre cada embarrado. Los devanados del inducido están bloqueados en su alojamiento por resinas especiales que protegen los devanados de posibles daños provocados por las altas velocidades que puede alcanzar el inducido (hasta 30.000 rpm).

Las escobillas permiten el paso de intensidad a través de los devanados del inducido. Están hechas con una mezcla de polvos sinterizados con alto porcentaje de carbono y cobre. Variando los porcentajes de los materiales varía la resistencia de las escobillas, que es muy importante para la intensidad de cortocircuito.



IMPRIMIR

ÍNDICE



ZOOM +

ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

EL REDUCTOR



1. Eje portasatélites.
2. Rueda dentada interna.
3. Satélites.
4. Planetario sobre eje inducido.
5. Inducido.
6. Colector.

Imagen cedida amablemente por Bosch

El reductor es un dispositivo que permite incrementar el par suministrado al piñón, introduciendo una relación de transmisión entre inducido y piñón que reduce la velocidad de rotación del piñón respecto a la del inducido. El reductor puede ser:

- Coaxial.
- De ejes paralelos.

La ventaja de usar el reductor, cuando la potencia nominal es superior a 1 kW, es una sensible reducción de peso y volumen.



IMPRIMIR

ÍNDICE



ZOOM +

ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

CONSTITUCIÓN DEL TELERRUPTOR DE ACOPLAMIENTO

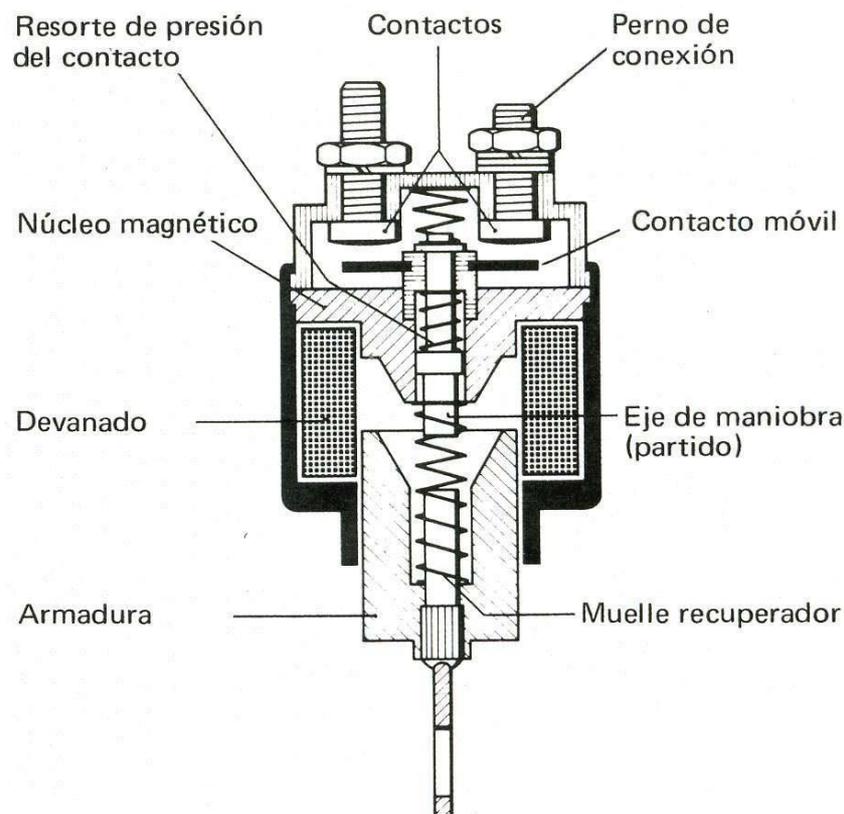


Imagen cedida amablemente por Bosch

El electroimán está compuesto principalmente por:

- Devanado inductor.
- Núcleo magnético fijo.
- Núcleo magnético móvil o inducido (armadura).
- Contactos fijos.
- Contacto móvil o puente con muelle de presión.
- Muelle antagonista.

Todo está dentro de una carcasa de acero de la que por un lado sobresale la parte móvil del inducido, con el anclaje de la palanca de acoplamiento en cabeza, y por el otro lado está cerrada con una tapa de plástico con los terminales de alimentación del devanado inductor.



IMPRIMIR

ÍNDICE



ZOOM +

ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

DEVANADO INDUCTOR DEL TELERRUPTOR DE ACOPLAMIENTO

1. Armadura.
2. Devanado de lanzamiento.
3. Devanado de retención.
4. Núcleo magnético.
5. Muelle.
6. Contactos fijos.
7. Conexión eléctrica.
8. Contacto móvil.
9. Eje de conexión (partido).
10. Muelle de recuperación.

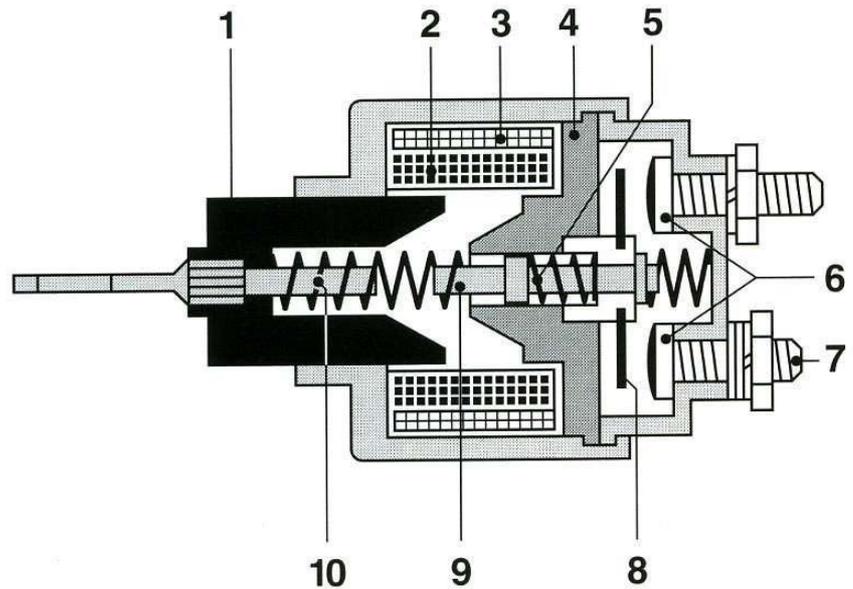
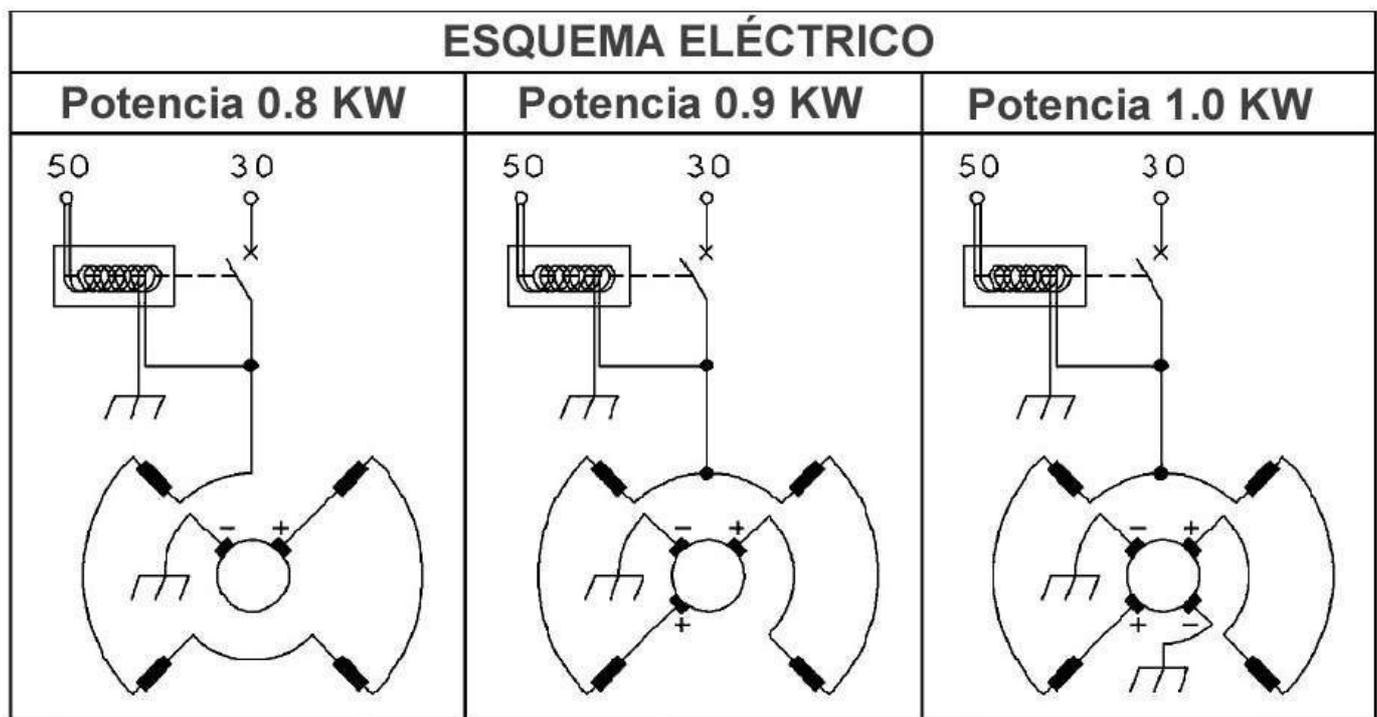


Imagen cedida amablemente por Bosch

ESQUEMA ELÉCTRICO



En la figura se muestran tres posibles esquemas eléctricos de conexión en serie de inductores eléctricos para motores de arranque con tres potencias distintas. Nótese cómo al pasar de potencias del motor más bajas a potencias más elevadas, los devanados están conectados en paralelo y no en serie.



IMPRIMIR

ÍNDICE



ZOOM +

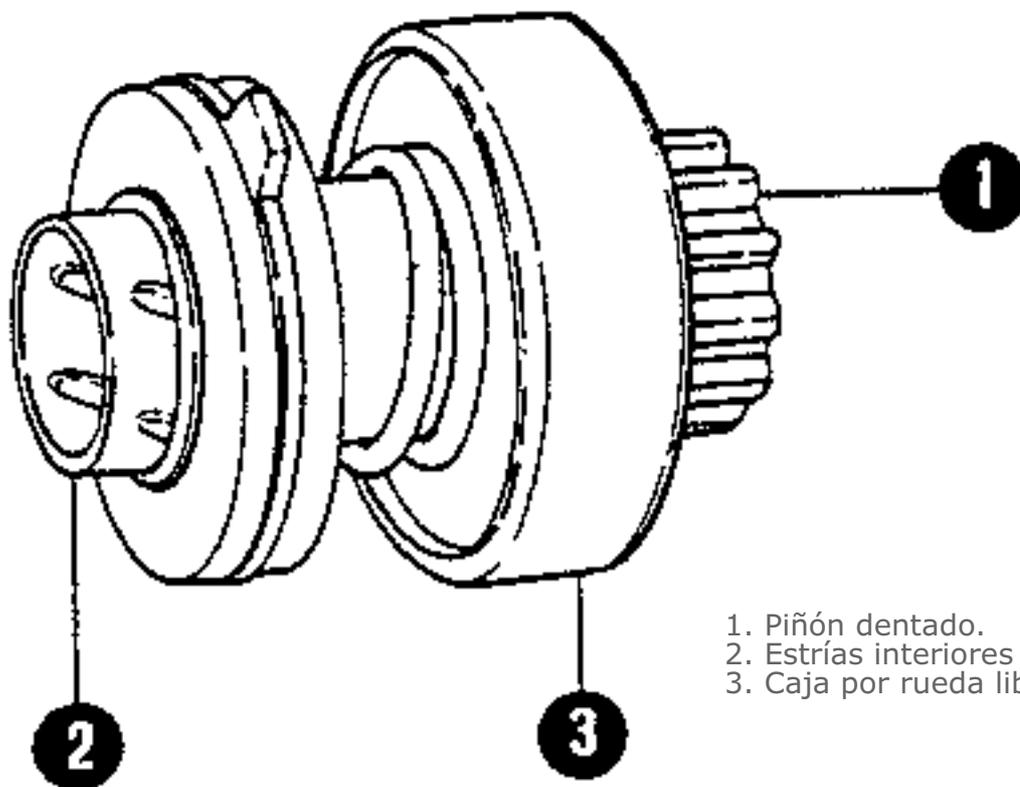
ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

RUEDA LIBRE

Al objetivo de evitar que el motor de arranque sea arrastrado por el motor térmico cuando este último ha arrancado, han sido estudiados y realizados adecuados aparatos de acoplamiento, que permiten el engrane solo durante el período necesario por el arranque.



1. Piñón dentado.
2. Estrías interiores
3. Caja por rueda libre a rodillos.



IMPRIMIR

ÍNDICE



ZOOM +

ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

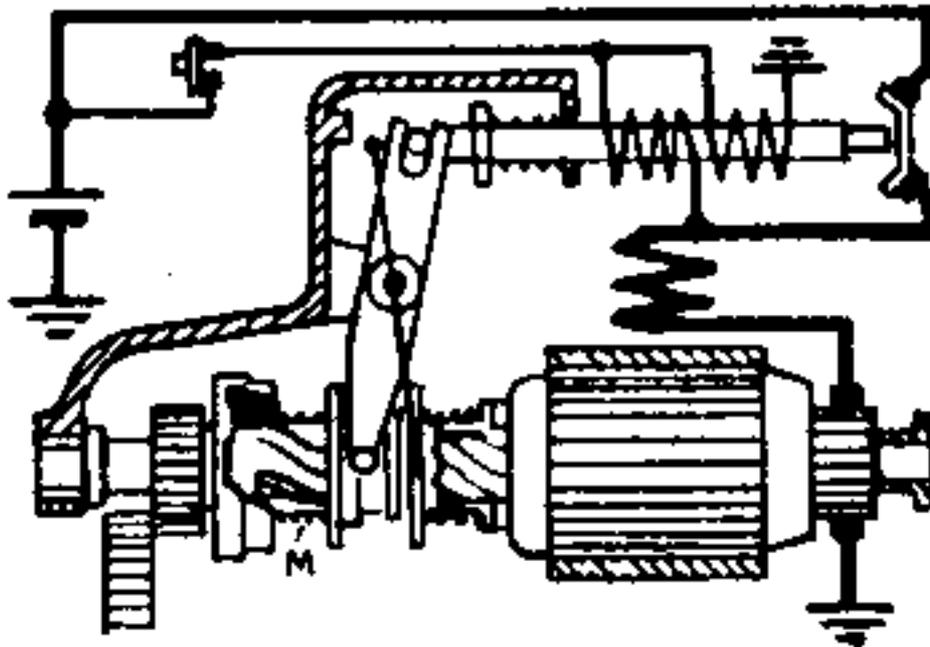


Fig. C - Motor de arranque con acoplamiento a mando electromagnético

En el caso en que el piñón golpee contra la corona sin engranar, el núcleo del electroimán continúa su carrera mientras la palanca comprime un muelle en espiral M, hasta que, cuando se hayan cerrados los contactos del interruptor, como en el caso anterior, el inducido comience a girar (*fig. C*).



IMPRIMIR

ÍNDICE



ZOOM +

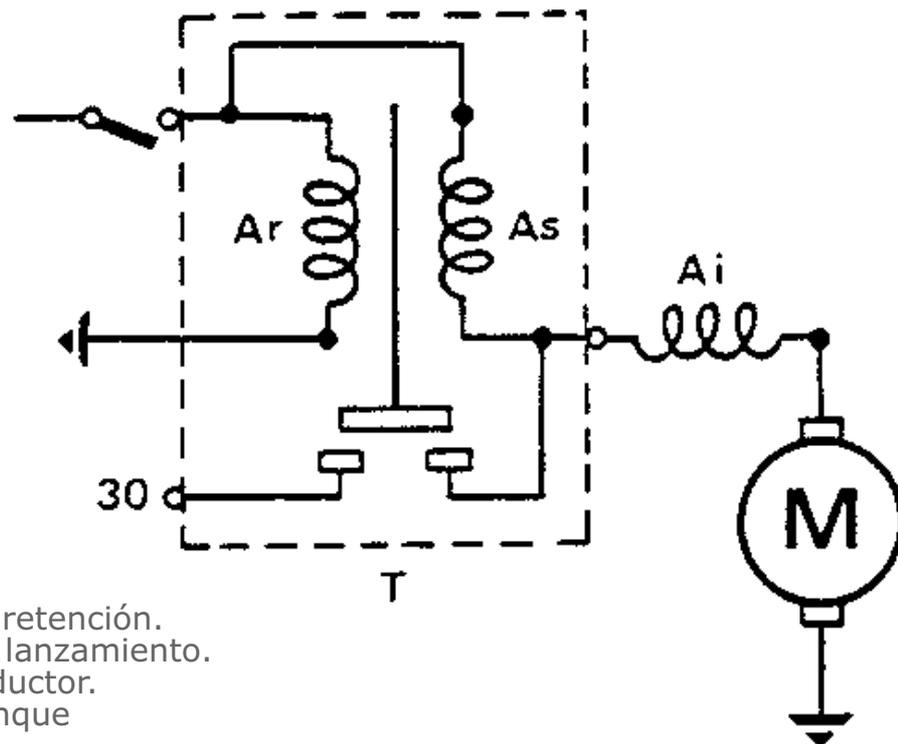
ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

El devanado inductor, normalmente, está formado por dos devanados distintos:

- Devanado de lanzamiento.
- Devanado de retención.



T = Electroimán.
Ar = Devanado de retención.
As = Devanado de lanzamiento.
A i = Devanado inductor.
M = Motor de arranque

Inicialmente son alimentados los dos devanados, ya que hay que generar un campo magnético suficiente para vencer las resistencias de acoplamiento y atraer al inducido. Una vez realizada esta función, se comprueba el cierre de los contactos, con el que se cortocircuita el devanado de lanzamiento (As); en este segundo tiempo la acción magnética sólo la ejerce el devanado de retención (Ar), que es capaz de retener el núcleo móvil el tiempo que sea necesario.

Al finalizar el proceso de puesta en marcha, cuando el devanado de retención se desexcita, los muelles antagonistas devuelven el núcleo móvil a la posición de reposo.



IMPRIMIR

ÍNDICE



ZOOM +

ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

CAMPO MAGNÉTICO

El campo magnético del inductor, como ya se ha dicho, puede ser generado por imanes o por un devanado atravesado por intensidad.

A continuación se presentan las ventajas y desventajas de estas dos propuestas tecnológicas.

VENTAJAS DE LA EXCITACIÓN MAGNÉTICA

El par de aceleración depende del flujo magnético inductor y éste último, en el caso de excitación eléctrica (devanado en serie), tiende a disminuir siguiendo la curva de la tensión de batería (caída en resistencia interna), mientras que en el caso de los imanes permanentes éste permanece constante.

VENTAJAS DE LA EXCITACIÓN ELÉCTRICA

Durante la fase de aceleración se alcanza la saturación magnética del inductor ya que el flujo generado desde un cierto valor de intensidad en adelante tiende a mantenerse constante. Así pues, el par de aceleración es muy elevado incluso sin necesidad de reductor de revoluciones, que sin embargo sí es necesario en el caso de la excitación magnética.

ASPECTOS PROBLEMÁTICOS DE LA EXCITACIÓN MAGNÉTICA

El aspecto problemático de un motor eléctrico de corriente continua es el estado (transitorio) de cortocircuito, que para el motor de arranque es funcional, verificándose en cada activación. En condiciones de cortocircuito se verifica una violenta reacción del inducido, cuyo efecto desmagnetizante se debe combatir con una adecuada fuerza coercitiva del imán.

Los imanes permanentes pueden perder cualidades por las siguientes causas externas:

- Campos desmagnetizantes.
- Permanencia a temperaturas demasiado elevadas o demasiado bajas.
- Golpes.
- Vibraciones.
- Envejecimiento.
- Presencia de campos electromagnéticos de elevada intensidad.

Muchas de estas causas pueden neutralizarse, tras el proceso de magnetización por saturación, con complejos y costosos tratamientos estabilizantes.



IMPRIMIR

ÍNDICE



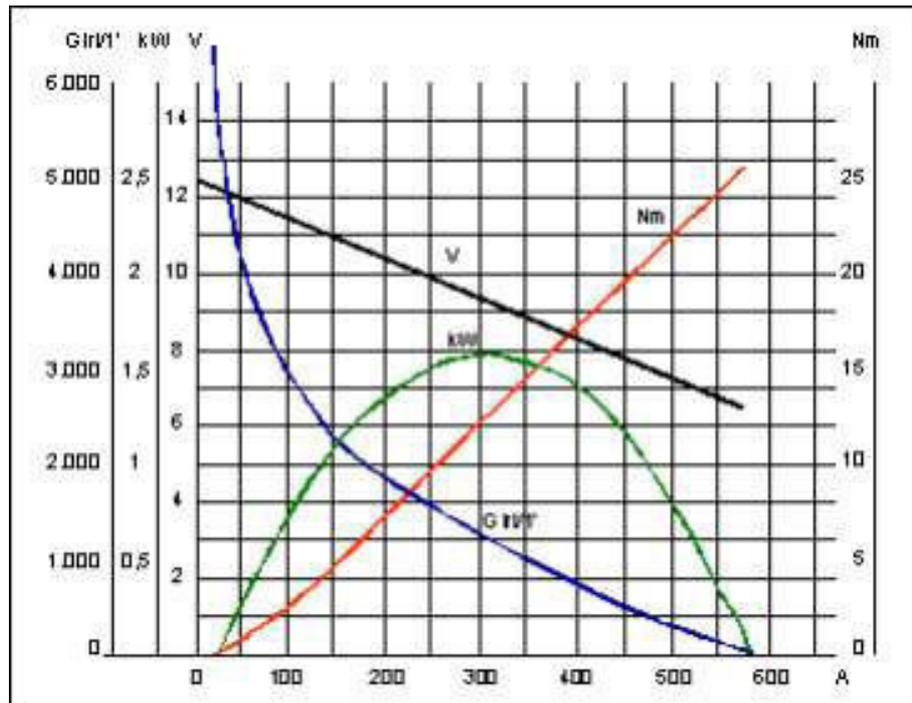
ZOOM +

ZOOM -



ACUMULADORES,
RECARGA Y ARRANQUE

DIAGRAMA PRESTACIONES DEL MOTOR M. MARELLI E 100 – 1,5 KW – 12 V



Curvas características de un motor de arranque

En las abscisas:

- Intensidad de corriente (A)

En las ordenadas:

- Velocidad (rpm)
- Potencia (kW)
- Tensión (V)
- Par (N • m)

El diagrama de la figura muestra las curvas características de un motor de arranque. El par motor – en N • m – sube rápidamente al aumentar la intensidad de la corriente de excitación.

La velocidad de rotación es inversamente proporcional a la intensidad del flujo inductor y, por lo tanto, a la intensidad de la corriente de excitación; por consiguiente, el número de revoluciones está representado por una curva como la del diagrama. La potencia – en kW – es igual al producto de la velocidad angular, en función del número de revoluciones, por el par. Por consiguiente será igual a cero en dos puntos: máximo número de revoluciones para el que el par es nulo y máximo par al que le corresponde un número de revoluciones nulo.

AEADE
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA
DE ENTRENADORES DE AUTOMÓVILES



A N U A R I O 2 0 1 8



A N U A R I O 2 0 1 8

EQUIPO AEADE



De izquierda a derecha arriba: Alberto Reza, Gabriel Guano, Julio Rodríguez, Stéfany Uzcátegui, Karla Reinoso, Byron Coronel, Genaro Baldeón, Doménica Zapata, Mauricio Larco, Vanessa Coronel, María de Fátima Miño, Richard Guano, Marco Villarreal.
De izquierda a derecha abajo: María Grazzia Pérez, Mónica Chipantasi, Doménica Pardo, Melany Corella, Bárbara Moya.



**El sector
automotor**

en el contexto
internacional

El papel que cumple la industria automotriz en la economía de los países desarrollados

Behzad Saberi

Presidente de la economía nacional de la Universidad Rusa de la Amistad de los Pueblos, URAP, Rusia.

La industria automotriz es intensa, tanto a nivel de capital como de conocimiento. Desempeña un papel importante en el desarrollo socioeconómico de un país. En la actualidad, la industria está en auge: un creciente número de países se han sumado a la producción de automóviles, mientras que la alineación de fuerzas en el mercado automotor está cambiando constantemente. El papel de la industria automotriz en la evolución de la economía moderna y los prospectos de su desarrollo se determinan por el lugar del transporte motorizado en la infraestructura de la economía nacional. Este artículo habla sobre el progreso histórico de la industria automotriz en los países desarrollados, analiza la situación actual, expone previsiones y destaca sus principales tendencias.

Actualmente, es difícil imaginar el desarrollo de la economía de un país sin el de la industria automotriz. Según

la Organización Internacional de Constructores de Automóviles (OICA), en 2017, en el mundo, se fabricaron 73,4 millones de automóviles y 23,84 millones de camiones. Según los cálculos internacionales, la facturación anual promedio de la industria automovilística a nivel mundial es de más de 2,75 billones de euros, lo que corresponde al 3,65% del PIB mundial. En los últimos diez años (2007-2017), la industria automotriz tuvo un 25% de incremento en producción. Los automóviles son uno de los productos de exportación más importantes del mundo, superando los réditos del petróleo. Por ejemplo, en 2016 las exportaciones mundiales de automóviles por país se estimaron en 698,2 mil millones de dólares americanos. **La industria es también un agente principal de innovación, con la inversión de más de 84 mil millones de euros en investigación, desarrollo y producción.** Entre las 2500 empresas líderes en inversión en I+D, dominan tres sectores principales: productos farmacéuticos y biotecnología, producción de equipos de procesos y la industria automotriz. Vale recalcar que el ingreso fiscal de los fabricantes de automóviles en 26 países industrializados es de más de 430 mil millones de euros al año.

La industria automotriz consume acero, hierro, aluminio, plástico, vidrio, moquetas, textiles, chips informáticos, caucho y mucho más. Según las estadísticas, aproximadamente la mitad del consumo mundial de petróleo y caucho, alrededor de 1/4 de la producción de vidrio y 1/6 de la producción de acero se utiliza en esta industria y que hoy se ubica en segundo lugar, después de la construcción aeronáutica, en cuanto al volumen de consumo de productos de otras industrias. En la economía de los países desarrollados, el crecimiento de la industria automotriz del 1 % conlleva a un crecimiento del PIB del 1,5 %. El impacto indirecto en el PIB se fortalece a través de las industrias relacionadas por medio de las órdenes provenientes de la industria automotriz.

La industria automotriz en los países desarrollados es el campo principal de construcción de maquinaria.

No existe una sola potencia económica que no tenga una fuerte industria automotriz en su territorio. Por lo tanto, su porcentaje en el PIB de los países desarrollados oscila entre el 5 y el 10 %. La participación de este sector en la producción de maquinaria en Alemania es 14 %, en Japón 12 % y Corea del Sur 10 %. Un dólar invertido en la industria automotriz aumenta el producto interno bruto en USD 3 (multiplicador promedio). Según este indicador, no existe otra industria igual a la automotriz. Según varios pronósticos, para el 2030 el ingreso bruto para este sector será significativamente mayor. La industria producirá un ingreso adicional de 1,5 billones (un incremento del 30 % en los ingresos). Del mismo modo, los ingresos de las ventas tradicionales de automóviles, mantenimiento posventa y ventas de repuestos serán de aproximadamente 5,2 billones de dólares americanos. En 2015, esta cifra fue de solo 3,5 billones de dólares. Juntos, estos ingresos pueden acelerar el crecimiento anual de la industria automotriz en un 4,4 %. Su desempeño agregado ha logrado que OICA pueda compararse con la sexta economía más grande del mundo.

Los fabricantes modernos y expertos del mercado automotor prevén que las tasas de crecimiento anual de esta industria a escala mundial rodearán un 3,6%, lo que corresponde aproximadamente a la dinámica del PIB mundial.





PABLO CAMPANA: HACIA UN CAMBIO DE MODELO¹

AEADE: ¿Cuál es la línea de pensamiento detrás de la decisión del Gobierno nacional de promover una política a favor de los acuerdos comerciales con otros países u otros bloques?

Pablo Campana: La decisión del Gobierno de promover acuerdos comerciales se basa en la necesidad de un cambio de modelo que busca una inserción estratégica de Ecuador en los mercados internacionales y que tenga como pilares la atracción de inversiones y el fomento de las exportaciones.

Uno de los mecanismos para lograr la inserción es a través del impulso de la apertura de mercados para los productos de exportación de Ecuador.

¹ Pablo Campana Sáenz es Ministro de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca de Ecuador.

Para ello se ha estructurado una hoja de ruta sobre la base de criterios como: tamaño de mercado, capacidad de ingreso, dinámica del consumo de los productos ecuatorianos, igualar las condiciones de competencia de los países competidores de nuestro país, profundización del intercambio comercial con la región, posibilidad de diversificar mercados, complementariedad productiva, entre otros factores, que coadyuven a que los acuerdos comerciales contribuyan a mayor inversión, generación de divisas, empleo y una mayor internacionalización de la economía ecuatoriana.

Los acuerdos comerciales ofrecen oportunidades pero también retos, en particular para aquellos productos que tienen ciertos grados de sensibilidad ante la apertura comercial. Estamos conscientes de esta realidad, por eso la política es que los acuerdos comerciales consideren elementos que permitan precautelar dichas sensibilidades, otorgar los plazos necesarios para que estos sectores se adapten.

De igual forma, con la fusión del Ministerio de Comercio con las carteras de Industrias y Pesca, se ha logrado tener y consolidar una política común entre los intereses comerciales y los productivos, de tal forma que los sectores productivos tengan certezas a mediano y largo plazo de una política comercial y productiva que mejore su competitividad y esté preparado para los procesos de apertura.

AEADE: ¿Puede mencionar cuáles son sus objetivos con respecto a los plazos que se ha puesto el Ministerio para concretar los acuerdos comerciales?

Pablo Campana: Los acuerdos comerciales tienen sus tiempos de negociación y dependen también de las contrapartes con las cuales se negocian; en ese contexto, esperamos concretar nuevos acuerdos de distinto alcance en los próximos dos años, tanto a nivel regional como extra regional, que brinden nuevas oportunidades a los sectores productivos del país.



2019: un año de desafíos para la economía en general

y para el sector automotor en particular

2019: un año de desafíos para la economía en general y para el sector automotor en particular

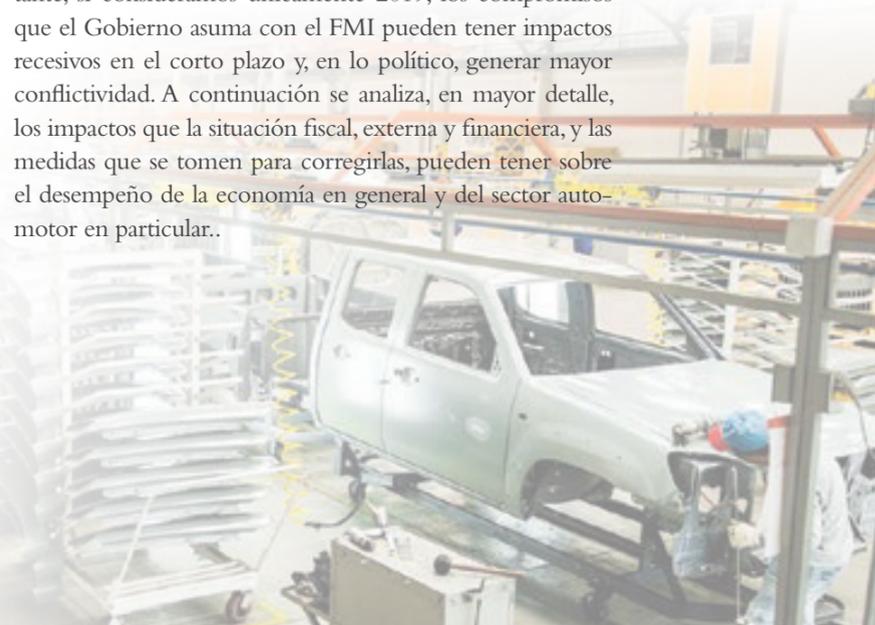
Por José Hidalgo Pallares, director general de CORDES

Según las últimas estimaciones disponibles al momento de redactar este artículo, en 2018 la economía ecuatoriana habría alcanzado una tasa de crecimiento apenas superior al 1%¹. Eso significa que en tres de los últimos cuatro años el crecimiento económico estuvo por debajo del crecimiento de la población, que ronda el 1,6% anual. Las proyecciones para 2019 no son mucho mejores: el Banco Central cree que este año la economía crecerá 1,4%, mientras que el FMI se muestra mucho menos optimista: su proyección es de 0,7%. Estas previsiones, que estarían dando cuenta de un pobre desempeño del consumo privado, anticipan un año de retos para el sector automotor, que también podría verse afectado, en el corto plazo, por la necesidad de corregir los desequilibrios que acarrea la economía ecuatoriana.

El bajo crecimiento económico esperado para 2019 se explica, en parte, por la necesidad de que el ajuste fiscal, que se ha limitado básicamente al gasto de inversión del Gobierno Central, se extienda también al gasto corriente y al resto del sector público (compuesto por gobiernos seccionales, seguridad social y empresas públicas). Pero ese no es el único motivo que permite anticipar un estancamiento en el

nivel de actividad. Hay otros dos desequilibrios que también se deben incluir en el análisis de la economía ecuatoriana para el presente año. El primero de ellos es coyuntural: desde 2017 los créditos que entregan los bancos han venido creciendo a un ritmo mucho mayor al de los depósitos y esto no se puede mantener así indefinidamente. El segundo desequilibrio es más estructural: por el fortalecimiento del dólar y también como consecuencia de medidas de política interna que elevaron los costos de producción, el Ecuador ha perdido competitividad frente a sus socios comerciales, lo que ha restado dinamismo a las exportaciones (medidas en volumen) y, a su vez, ha impulsado a las importaciones. Esto, sin embargo, tampoco es sostenible, ya que, ante la ausencia de otras fuentes permanentes de divisas, el déficit en la cuenta corriente de la balanza de pagos está provocando una caída sostenida en las reservas internacionales del Banco Central, que solo se recuperan cuando el Gobierno consigue financiamiento en el exterior.

El anuncio de que el Ecuador llegó a un acuerdo preliminar con el FMI es, sin dudas, una noticia importante, ya que un acuerdo de ese tipo, además de los fondos que genere (se habla de más de \$10.200 millones en desembolsos para los próximos tres años, \$4.200 millones procedentes del FMI y \$6.000 millones de otros multilaterales), podría empujar al Gobierno a tomar acciones más decididas para afrontar los desequilibrios fiscal y externo y así generar mejores condiciones económicas para los años subsiguientes. No obstante, si consideramos únicamente 2019, los compromisos que el Gobierno asuma con el FMI pueden tener impactos recesivos en el corto plazo y, en lo político, generar mayor conflictividad. A continuación se analiza, en mayor detalle, los impactos que la situación fiscal, externa y financiera, y las medidas que se tomen para corregirlas, pueden tener sobre el desempeño de la economía en general y del sector automotor en particular.



1 Tanto el Banco Central como el FMI estiman que en 2018 el crecimiento del PIB fue de 1,1%.

Ajuste fiscal

Una de las peores consecuencias de la expansión fiscal llevada a cabo por el gobierno anterior, más allá de la acumulación de déficits fiscales y el consecuente crecimiento de la deuda pública, fue que en los años de bonanza petrolera, cuando el gasto público llegó a representar el 44% del PIB, la economía en su conjunto desarrolló una suerte de dependencia hacia el Estado. Es decir, la economía se mostraba más dinámica cuando el gasto público se expandía, pero a la vez el nivel de actividad se desaceleraba o incluso se contraía si había un ajuste fiscal, como el que se dio a raíz de la caída del precio del petróleo. Esta dependencia de la economía en su conjunto hacia el gasto público, que no se percibía en los primeros años de dolarización, explica en parte el pobre

crecimiento del PIB en 2018. En ese año, según información del Ministerio de Economía y Finanzas, el gasto del Presupuesto General del Estado (PGE, que se refiere básicamente al Gobierno Central) se contrajo 1,3% respecto a 2017 (Tabla 2). No obstante, si se analiza solo el gasto de capital el ajuste fue mucho mayor: 21%. A su vez, ese resultado se explica por una caída de más del 40% en el gasto de inversión que ejecuta directamente el Gobierno, mientras que las transferencias de capital a los gobiernos seccionales siguieron creciendo (17,3%). También siguió creciendo el gasto corriente, que en 2018 fue casi 10% mayor que en 2017. Si bien una buena parte de ese crecimiento se explica por el aumento de las transferencias y el pago de intereses (rubros sobre los que el Gobierno tiene poco control), también creció el gasto en sueldos, salarios y en bienes y servicios de consumo.

Pese a esto, el déficit del PGE mostró en 2018 una notable reducción frente a 2017. Eso respondió no solo al ya mencionado ajuste en el gasto de inversión, sino también a un crecimiento de 11,1% en los ingresos, que a su vez se explica principalmente por un aumento en los ingresos tributarios y petroleros.

Para 2019 el Gobierno espera seguir reduciendo el déficit del PGE, que según las estimaciones oficiales cerraría el año en \$3.637 millones, es decir, 2,9% menos que en 2018. Para llegar a ese resultado el Gobierno prevé un crecimiento de 10,3% en los ingresos totales que permitiría más que compensar el alza de 8,2% en los gastos. No obstante, las proyecciones oficiales en cuanto a los ingresos lucen demasiado optimistas. En primer lugar, el Gobierno espera que los ingresos tributarios en este año sean mayores que en el anterior, pese a que las propias proyecciones oficiales hablan de un modesto crecimiento económico y, sobre todo, pese a que la mayor parte de los \$1.101 millones que, según el SRI, se recaudaron por concepto de la remisión tributaria se concentraron en 2018. Si bien el acuerdo con el FMI puede incluir también una reforma tributaria,

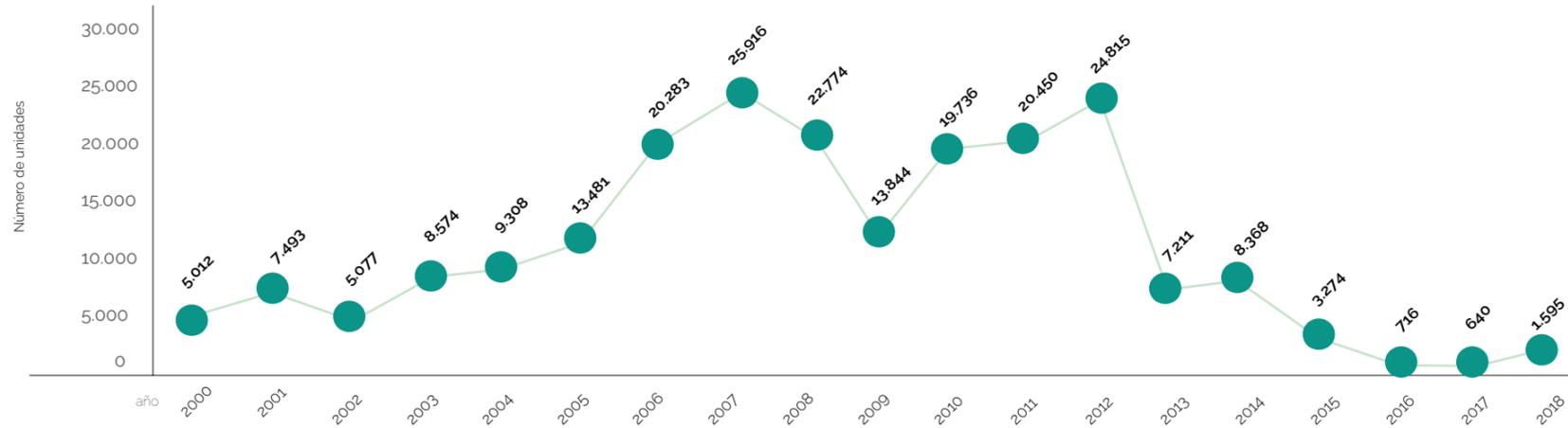
Tabla 2. Ejecución del PGE 2018 vs 2017

	2017	2018	2018 / 2017
Ingresos	18.256	20.280	11.1%
Tributarios	13.849	15.002	8.3%
Petroleros	1.579	1.979	25.3%
No tributarios	2.105	2.331	10.7%
Otros	723	968	33.9%
Gastos	24.347	24.027	-1.3%
Corriente	15.664	17.168	9.6%
Sueldos	9.140	9.451	3.4%
Bienes y servicios	2.116	2.419	14.3%
Transferencias ctes.	1.687	2.016	19.5%
Intereses	2.516	3.027	20.3%
Otros ctes.	205	255	24.4%
De capital	8.683	6.859	-21.0%
GADs	3.060	3.588	17.3%
Otros	5.623	3.271	-41.8%
Déficit	(6.091)	(3.747)	-38.5%
Déficit primario	(3.575)	(720)	-79.9%

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas, Observatorio de la Política Fiscal

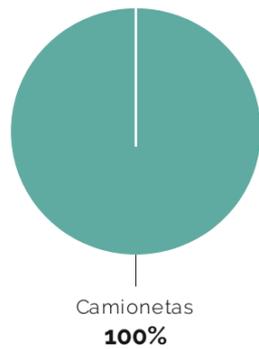
Exportación anual de vehículos en Ecuador

2000-2018
Unidades



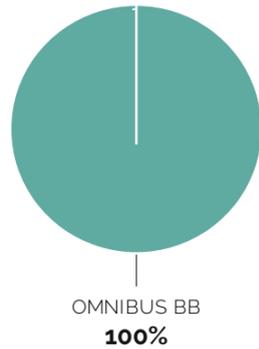
Exportación de vehículos por segmento

2018
% de participación



Exportación de vehículos por ensambladora

2018
% de participación



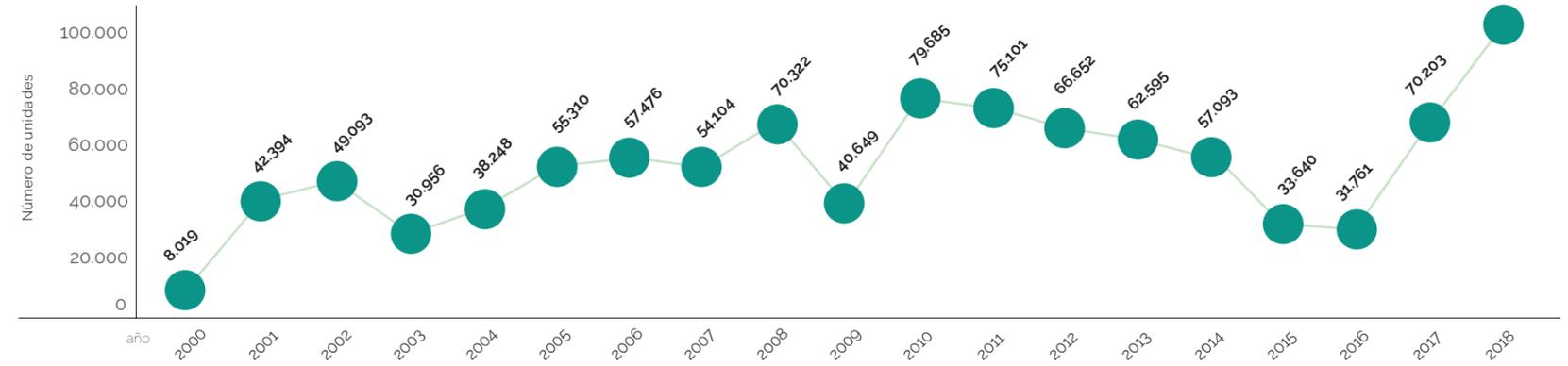
Exportación anual de vehículos por ensambladora y segmento

En unidades, 2015-2018

Ensambladora*	Camionetas				Automóviles				SUV				Van				Total			
	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018
AYMESA	-	-	-	-	730	-	-	-	400	-	-	-	-	-	-	-	1130	-	-	-
OMNIBUS BB	2.144	716	640	1.595	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.144	716	640	1.595
Total	2.144	716	640	1.595	730	-	-	-	400	-	3.274	716	640	1.595						

Importación anual de vehículos

2000-2018
Unidades



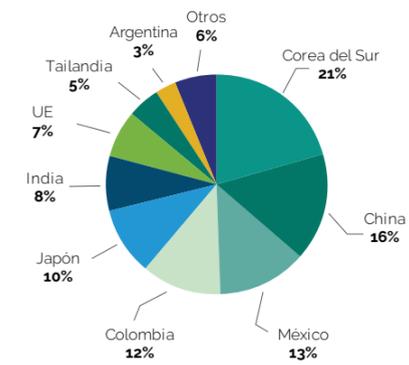
Importación anual de vehículos por segmento

En unidades, 2000-2018

Año	Automóviles	SUV	Camionetas	Camiones	VAN	Buses	Total
2000	4.137	1.491	1.277	923	85	106	8.019
2001	21.213	5.153	5.136	7.533	2.491	868	42.394
2002	25.403	5.714	6.078	8.152	2.807	939	49.093
2003	14.830	4.317	3.779	5.063	2.384	583	30.956
2004	19.979	6.251	4.289	5.358	1.754	617	38.248
2005	31.870	10.301	3.138	6.927	2.276	798	55.310
2006	30.525	11.555	4.379	8.375	1.678	964	57.476
2007	22.485	13.401	6.212	9.081	1.879	1.046	54.104
2008	32.585	13.569	9.038	12.654	1.915	561	70.322
2009	15.709	12.779	5.343	5.327	919	572	40.649
2010	38.418	15.807	13.964	7.390	2.938	1.168	79.685
2011	32.090	15.088	9.782	11.148	5.264	1.729	75.101
2012	27.545	12.908	10.064	11.930	2.692	1.513	66.652
2013	20.099	14.945	6.292	14.281	5.082	1.896	62.595
2014	18.820	14.530	5.292	12.615	5.367	469	57.093
2015	10.846	8.107	2.948	8.716	2.672	351	33.640
2016	13.145	8.213	2.242	4.378	2.358	1.425	31.761
2017	30.956	22.698	6.304	5.046	3.455	1.744	70.203
2018	44.218	35.079	8.026	7.766	4.886	1.441	101.416

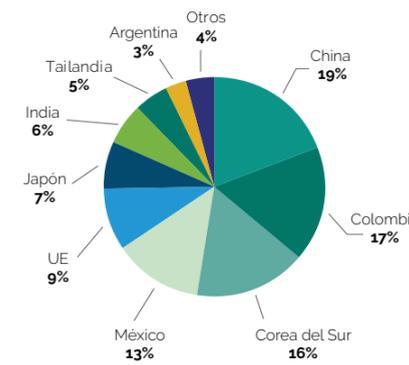
Importación de vehículos por origen

2017
% de participación



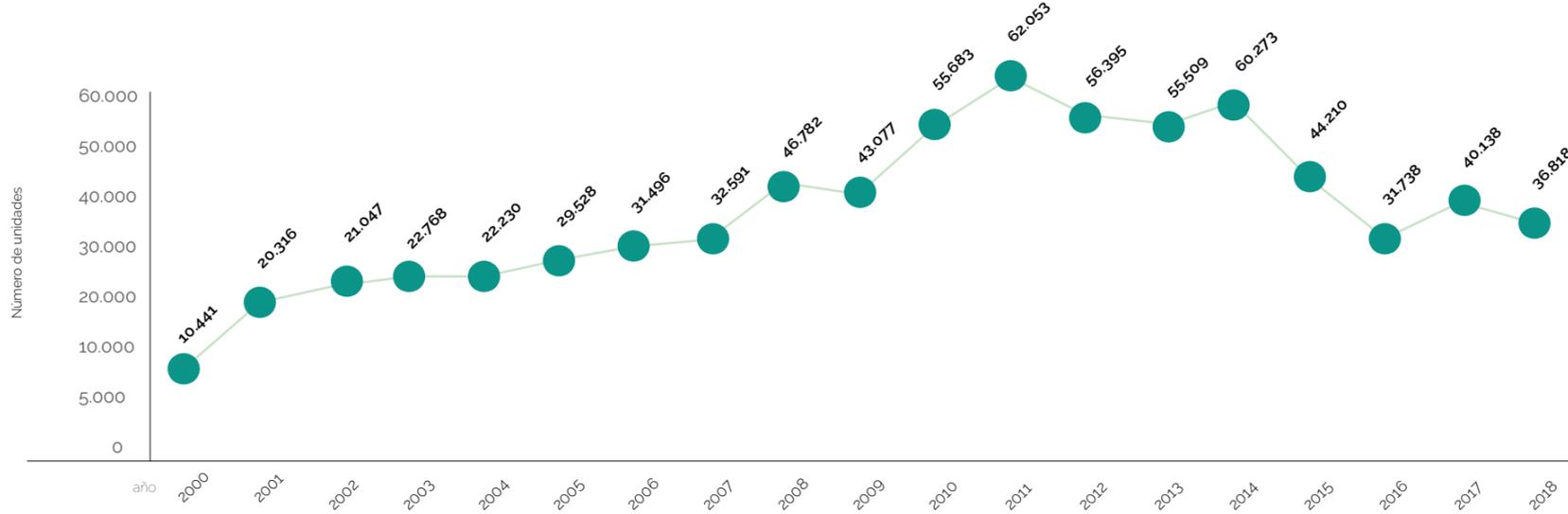
Importación de vehículos por origen

2018
% de participación



Venta anual de vehículos ensamblados en Ecuador

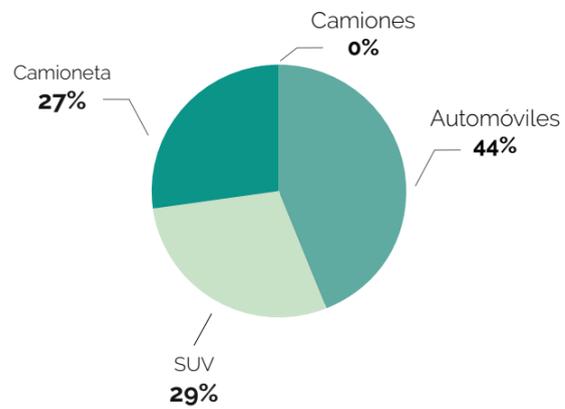
2000-2018
Unidades



Venta de vehículos por segmento

2018

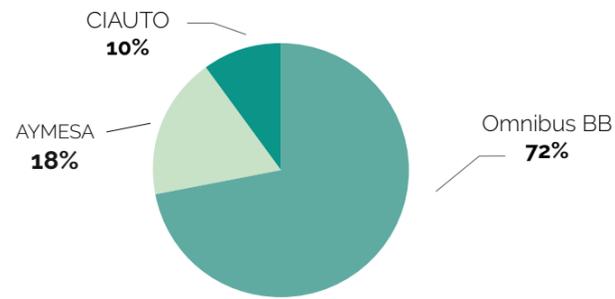
% de participación



Venta de vehículos por ensambladora

2018

% de participación



Venta anual de vehículos ensamblados en unidades por ensambladora y segmento, 2015-2018

Ensambladora*	Automóviles				SUV				Camionetas				Camión				Total			
	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018	2015	2016	2017	2018
AYMESA	1.631	975	995	294	2.836	2.103	5.356	5.633	-	-	-	773	-	-	-	16	4.467	3.078	6.351	6.716
CIAUTO	-	-	-	-	1.159	1.718	2.187	2.562	1.005	797	1.361	1.143	55	-	-	-	2.219	2.515	3.548	3.705
MARESA	-	-	-	-	-	-	-	-	3.375	2.079	144	-	-	-	-	-	3.375	2.079	144	-
OMNIBUS BB	17.862	14.396	18.500	15.899	8.544	3.647	3.631	2.462	7.743	6.023	7.964	8.036	-	-	-	-	34.149	24.066	30.095	26.397
Total	19.493	15.371	19.495	16.193	12.539	7.468	11.174	10.657	12.123	8.899	9.469	9.952	55	-	-	16	44.210	31.738	40.138	36.818

Todo es más fácil *cuando* alguien te acompaña a tu destino.



Asegúrate: Rápido y...



SEGUROS:

■ AUTOS ■ HOGAR ■ VIDA ■ EMPRESAS

MAPFRE | ATLAS

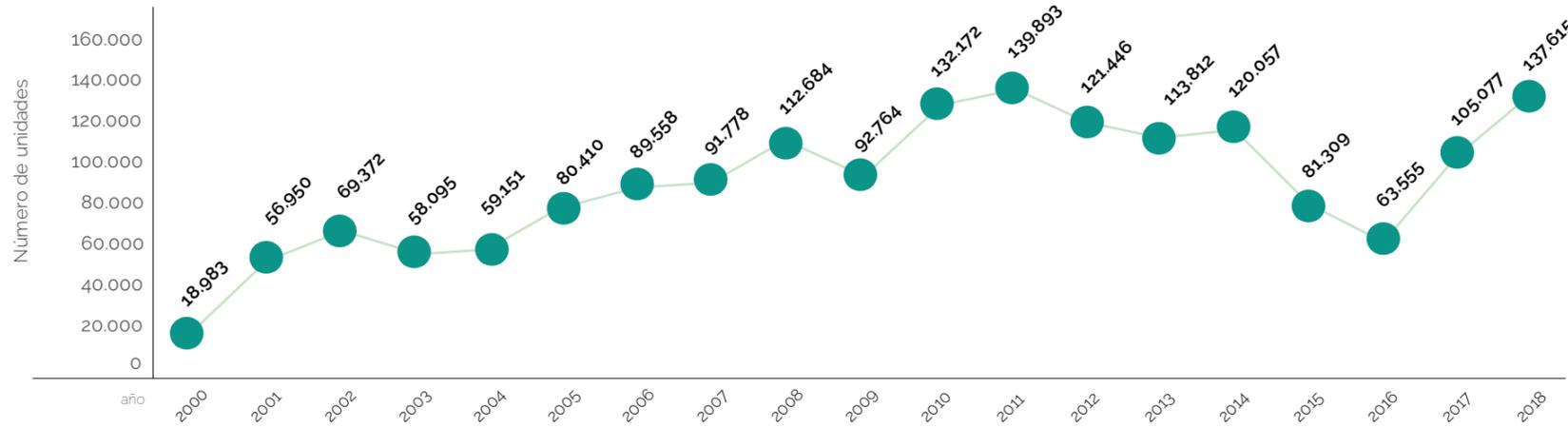
Tu aseguradora global de confianza

www.mapfreatlas.com.ec

Ventas anuales de vehículos

2000-2018

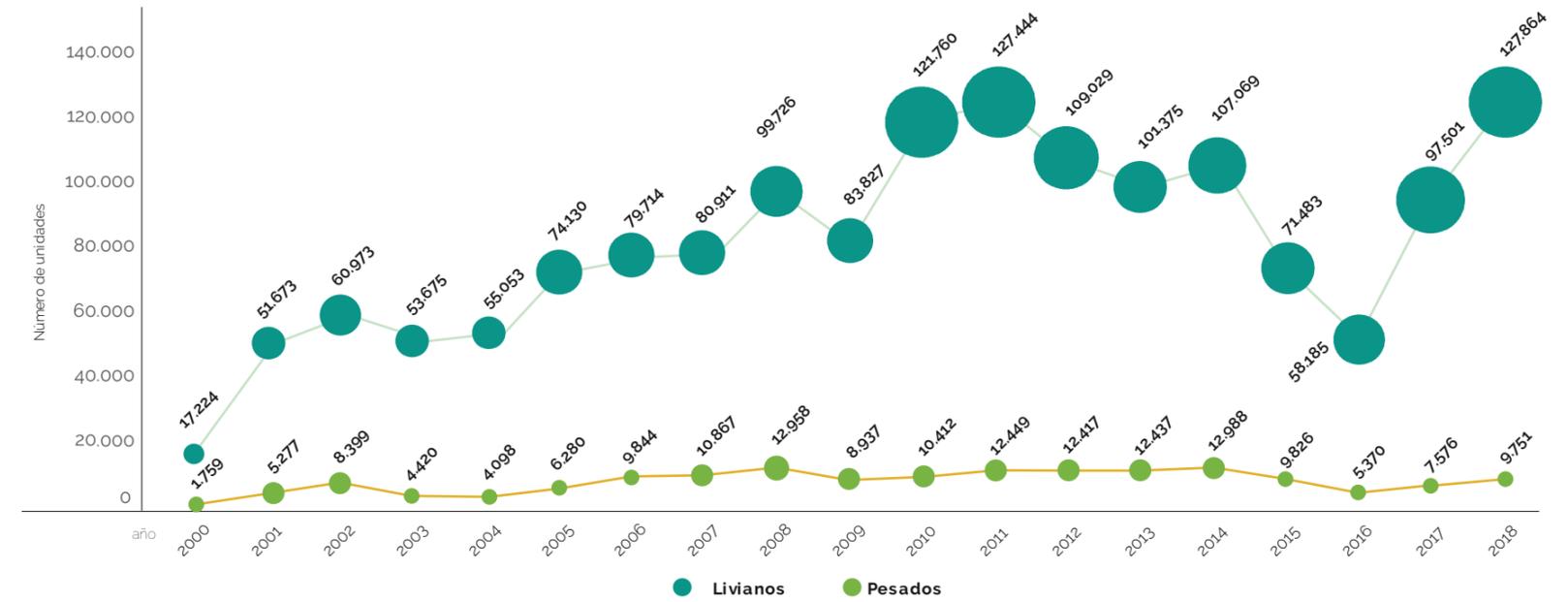
Unidades



Ventas anuales de vehículos livianos y pesados

2000-2018

Unidades



● Livianos ● Pesados

Composición de las ventas de vehículos En unidades / porcentaje de participación 2000-2018					
Año	Ensamblaje local	%	Importación	%	Total
2000	10.441	55,00%	8.542	45,00%	18.983
2001	20.316	35,67%	36.634	64,33%	56.950
2002	21.047	30,34%	48.325	69,66%	69.372
2003	22.768	39,19%	35.327	60,81%	58.095
2004	22.230	37,58%	36.921	62,42%	59.151
2005	29.528	36,72%	50.882	63,28%	80.410
2006	31.496	35,17%	58.062	64,83%	89.558
2007	32.591	35,51%	59.187	64,49%	91.778
2008	46.782	41,52%	65.902	58,48%	112.684
2009	43.077	46,44%	49.687	53,56%	92.764
2010	55.683	42,13%	76.489	57,87%	132.172
2011	62.053	44,36%	77.840	55,64%	139.893
2012	56.395	46,44%	65.051	53,56%	121.446
2013	55.509	48,77%	58.303	51,23%	113.812
2014	60.273	50,20%	59.784	49,80%	120.057
2015	44.210	54,37%	37.099	45,63%	81.309
2016	31.738	49,94%	31.817	50,06%	63.555
2017	40.138	38,20%	64.939	61,80%	105.077
2018	36.818	26,75%	100.797	73,25%	137.615

Ventas anuales de vehículos por segmento En unidades, 2000-2018							
Año	Automóviles	SUV	Camionetas	Camiones	Van	Buses	Total
2000	7.645	4.514	4.588	1.527	477	232	18.983
2001	22.936	13.541	13.765	4.580	1.431	697	56.950
2002	29.296	12.910	16.103	7.290	2.664	1.109	69.372
2003	27.565	9.050	14.113	3.837	2.947	583	58.095
2004	28.474	10.009	14.198	3.557	2.372	541	59.151
2005	41.695	12.647	17.734	5.264	2.054	1.016	80.410
2006	42.932	15.968	19.251	8.669	1.563	1.175	89.558
2007	38.565	19.769	20.660	9.570	1.917	1.297	91.778
2008	46.846	22.710	27.963	11.521	2.207	1.437	112.684
2009	35.869	24.727	21.336	7.919	1.895	1.018	92.764
2010	57.278	32.972	27.808	9.180	3.702	1.232	132.172
2011	62.585	31.712	27.469	10.788	5.678	1.661	139.893
2012	53.526	27.118	23.922	10.954	4.463	1.463	121.446
2013	47.102	27.067	22.047	11.085	5.159	1.352	113.812
2014	47.596	31.025	23.262	11.594	5.186	1.394	120.057
2015	30.344	21.664	15.071	8.263	4.404	1.563	81.309
2016	27.771	17.045	11.071	3.948	2.298	1.422	63.555
2017	45.696	33.736	15.203	5.722	2.866	1.854	105.077
2018	58.854	45.139	19.464	7.844	4.407	1.907	137.615

t-Student. Usos y abusos

Reinaldo Alberto Sánchez Turcios*

RESUMEN

La prueba t-Student se fundamenta en dos premisas; la primera: en la distribución de normalidad, y la segunda: en que las muestras sean independientes. Permite comparar muestras, $N \leq 30$ y/o establece la diferencia entre las medias de las muestras. El análisis matemático y estadístico de la prueba con frecuencia se minimiza para $N > 30$, utilizando pruebas no paramétricas, cuando la prueba tiene suficiente poder estadístico.

Palabras clave: t-Student, distribución de normalidad, estadística.

INTRODUCCIÓN

Con el seudónimo de estudiante (Student), William Sealy Gosset desarrolló la prueba t y la distribución t.¹ Esta prueba se usa con frecuencia en las publicaciones médicas indexadas nacionales e internacionales y se han observado errores consistentes (*The New England Journal of Medicine, Lancet y British Medical Journal*).²

El objetivo de esta comunicación es plantear correctamente la prueba y distribución t. La distribución t es un conjunto de curvas estructurada por un grupo de datos de unas muestras en particular. La contribución de esta prueba, específicamente, es para comparar dos muestras de tamaño ≤ 30 . La primera presunción es formular la hipótesis nula y la hipótesis alterna, que establece que no hay diferencias en la media de las dos muestras independientes y que de existir esta diferencia, sólo se debe al azar.³ Si la t calculada que se origina de las dos muestras es desmesurada (valor de p que se encuentra en las tablas respectivas), entonces se rechazaría la hipótesis nula (error tipo I). Es importante mencionar que este valor depende del valor de significancia establecido con

ABSTRACT

Student's t test is based on two premises; first: normality of distribution and second: the independence of the samples. This allows comparing samples $N \leq 30$ and/or establishes the differences between the means of the two samples. The mathematical and statistical analysis of the test is frequently minimized $N > 30$, using non parametric tests, when the test has enough statistical power.

Key words: Student's t, normal distribution, statistic.

anterioridad de lo que se quiere probar,⁴ para la diferencia entre las medias de las dos muestras. Este valor de significancia es la probabilidad de rechazar erróneamente la hipótesis nula.

NATURALEZA DE LA t-STUDENT

La t de Student, inicialmente se diseñó para examinar las diferencias entre dos muestras independientes y pequeñas que tengan distribución normal y homogeneidad en sus varianzas (en el artículo original, el autor no define qué es una muestra grande y/o pequeña). Gosset hace hincapié en la normalidad de las dos muestras como crucial en el desarrollo de la prueba.

METODOLOGÍA DE LA t-STUDENT

1. Probar que cada una de las muestras tiene una distribución normal;[‡]
2. Obtener para cada una de las muestras: a) el tamaño de las muestras (n_1 y n_2), b) sus respectivas medias (m_1 y m_2), c) sus varianzas (v_1 y v_2);
3. Probar que las varianzas sean homogéneas;

* UMAE Hospital de Cardiología, Centro Médico Nacional Siglo XXI, IMSS.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medigraphic.com/revmexcardiol>

‡ La t-Student es una prueba poderosa, en la que aunque una de las muestras no tenga distribución normal pero la otra sí y la razón de la varianza más grande a la más pequeña sea < 2 , esta prueba resulta adecuada al comparar dos medias.

†4. En caso de homogeneidad en esas varianzas: a) establecer la diferencia entre las medias: $m_1 - m_2$, b) calcular la varianza común de las dos muestras.

$$vc = ((n_1 - 1)v_1 + (n_2 - 1)v_2) / (n_1 + n_2 - 2)$$

Es decir, la varianza común (vc) es igual a un promedio pesado de las varianzas de las dos muestras en donde los pesos para ese promedio son iguales al tamaño, menos uno ($n - 1$) para cada una de las muestras, c) con esa varianza común, se calcula el error estándar de la diferencia de las medias $ESM = \sqrt{((vc)(n_1 + n_2) / (n_1 n_2))}$; 5. Finalmente, la *t-Student* es igual al cociente de la diferencia de medias entre el ESM anterior; 6. De acuerdo con nuestra hipótesis nula y alterna se debe demostrar que existe diferencia entre las medias de las muestras, se consulta una tabla de *t-Student* con grado de libertad igual a $n_1 + n_2 - 2$ y se calcula el valor de P .⁵

Ejemplo

De un universo de 44,000 niños, a los que se les registró el peso, talla e índice de masa corporal, se tomó una muestra de 56 adolescentes (21 niñas y 35 niños), del subgrupo de niñas y niños de 14 años de edad, para comparar las medias tomando exclusivamente el índice de masa corporal (IMC).

IMC en niñas y niños de 14 años de edad

Paso 1: prueba de normalidad de cada una de las muestras.

N	\bar{x}	S	V
Niñas 21	21.775	4.225	17.852
Niños 35	20.850	3.798	14.428

Niñas: $p = 0.071$, hay normalidad.

Niños: $p = 0.0008$ no hay normalidad.

Paso 2: en este caso se hace la prueba *t-test* aun sabiendo que una de las muestras (los niños) no tiene normalidad.

Paso 3: prueba para la homogeneidad de varianzas; se pueden considerar que son homogéneas debido a que la $p = 0.570$.

Paso 4: (i) diferencia de medias = 0.025, (ii) vc a las muestras.

$$\begin{aligned} vc &= ((n_1 - 1)v_1 + (n_2 - 1)v_2) / (n_1 + n_2 - 2) \\ &= \frac{20 \times 17.852 + 34 \times 14.428}{21 + 35 - 2} \\ &= \frac{357.040 + 490.552}{54} \\ &= \frac{847.592}{54} \\ &= 15.696 \end{aligned}$$

(iii) Error estándar de las diferencias de las medias

$$\begin{aligned} ESM &= \sqrt{(vc) \frac{n_1 + n_2}{(n_1)(n_2)}} \\ &= \sqrt{(15.696) \left(\frac{56}{(735)} \right)} \\ &= \sqrt{(15.696) (0.076)} \\ &= \sqrt{1.196} \\ &= 1.094 \end{aligned}$$

Paso 5: el valor de la *t-test* será:

$$t = (\text{diferencia de las medias}) / (ESM)$$

$$t = \frac{0.925}{1.094}$$

$$t = 0.846$$

Paso 6: hipótesis:

H_0 : el IMC es igual en niños y niñas.

H_1 : El IMC es diferente entre los niños y las niñas.

Los grados de libertad, para consultar la tabla de *t-Student* son $21 + 35 - 2 = 54$, consultando el valor de p es 0.401.

Por lo tanto, no existe diferencia entre el IMC entre los niños y niñas de 14 años.

COMENTARIO

En la masa crítica de información científica, principalmente en el área médica, cuando no hay normali-

† En este caso se debe utilizar una modificación a la *t-Student* dada por Satterthwaite y Welch.^{6,7}

dad en ambas muestras se pretende sustituir a esta prueba por la U de Mann-Whitney, pero puede ser cierta esta sustitución cuando las muestras tienen distribución similar y cuando una curva está desplazada con respecto a la otra y sólo en estos casos darían resultados verosímiles a la diferencia entre las dos muestras. Desde otra óptica se ha usado estadística no paramétrica en muestras grandes cuando la t-Student (si se cumplen las condiciones) daría mejor resultado que el uso de las pruebas anteriores.

CONCLUSIONES

1. Es necesario mencionar que la distribución t-test es similar a la distribución de Gauss cuando las muestras > 30 .
2. El poder estadístico tiene mayor magnitud cuando las condiciones que se necesitan lo cumplen ambas muestras, independientemente del tamaño.
3. La prueba original demostró que existe una curva que describe el comportamiento de la diferencia de medias y permite calcular el área bajo la curva que representa la probabilidad de la diferencia entre ellas.

BIBLIOGRAFÍA

1. By Student. The probable error of a mean. *Biometrika*. 1908; 6: 1-25.
2. Fagerland MW. t-tests, non-parametric tests, and large studies-a paradox of statistical practice? *BMC Med Res Methodol*. 2012; 12: 78-85.
3. Dawson-Saunders B, Trapp Robert G. *Bioestadística Médica*. México, Editorial Manual Moderno, 1993.
4. Wayne W. Daniel. *Bioestadística base para el análisis de las ciencias de la salud*. 4ª ed. México, Limusa Wiley. 2002.
5. Zar Jerrold H. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall. Inc. Fifth edition. New York, USA, Prentice Hall, 2010.
6. Satterthwaite FE. An approximate distribution of estimates of variance components. *Biometrics Bul*. 1946; 2: 110-114.
7. Welch BL. Generalization of "student's" problem when several different population variances are involved. *Biometrika*. 1947; 34: 28-35.

Dirección para correspondencia

Dr. Reinaldo Alberto Sánchez Turcios

Tepec Núm. 113-610,

Col. Roma Sur,

Del. Cuauhtémoc, México, D.F. 06760

E-mail: rturcios@live.com.mx