

**MODELO DIDÁCTICO DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR Y TREN DE
POTENCIA, PARA EL TALLER DE AUTOMECATRONICA DE LA
UNIVERSIDAD LOS LIBERTADORES.**

HERNAN ANTONIO AVILA NAVAS

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TÉCNICA PROFESIONAL AUTOMOTRIZ
BOGOTÁ D.C.
2015**

**MODELO DIDÁCTICO DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR Y TREN DE
POTENCIA, PARA EL TALLER DE AUTOMECATRONICA DE LA
UNIVERSIDAD LOS LIBERTADORES.**

HERNAN ANTONIO AVILA NAVAS

**Proyecto de Grado T.P.A presentado como requisito para optar
Al título de Técnica Profesional Automotriz**

**Director Proyecto
RODRIGO SORZANO DUEÑAS
Ingeniero Mecánico**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TÉCNICA PROFESIONAL AUTOMOTRIZ
BOGOTÁ D.C.
2015**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado 1

Firma del Jurado 2

Bogotá D.C., Noviembre de 2015

A todos aquellos que me
Acompañaron hasta el final.
A mi familia y profesores.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos aquellos que me rodean y a las personas que me han brindado el conocimiento, para realizar un trabajo de este tipo.

A mi familia que me brindaron todo el apoyo necesario.

A la Fundación Universitaria Los Libertadores, facultad de ingeniería en representación de profesores y directivas por el aporte de sus enseñanzas y Valiosos conocimientos.

A mi director de tesis, Ing. Rodrigo Sorzano Dueñas
y a todos aquellos que aportaron
Conocimientos y sabiduría para poder culminar con éxito este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	12
OBJETIVOS	15
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
JUSTIFICACION.....	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1 MARCO TEORICO	18
EI CICLO OTTO.....	18
RELACIONES DE LA TRANSMISIÓN AUTOMÁTICA	19
1.1 GLOSARIO.....	22
1.1.1 CONCEPTOS FÍSICOS APLICADOS EN LOS MOTORES	22
1.1.2 EL CICLO DE CUATRO TIEMPOS.....	24
1.1.3 CICLO REAL DEL MOTOR	25
1.2 EL MOTOR REFRIGERADO POR FLUIDOREFRIGERANTE.....	27
1.3 MOTOR EN LINEA	29
2. TECNICA DEL PROYECTO	31
2.1 DESARME, REPARACIÓN Y ARMADO DEL MOTOR.....	31
2.2 BANCO DEL MOTOR.....	47
2.3 SISTEMA ELÉCTRICO DEL MODELO DIDACTICO	49
3. RESEÑA HISTORICA DEL MOTOR BMW M10 Y M20.....	52
3.1 FICHA TECNICA DEL MOTOR M20.....	53

4. SISTEMA DE ENCENDIDO ELECTRONICO	56
4.1 PLANOS DE LOS DISTINTOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DEL MODELO DIDACTICO.....	61
5. TREN DE POTENCIA.....	63
5.1 TRANSMISIÓN AUTOMÁTICA.....	63
5.2 TRACCIÓN.....	68
6. PRESUPUESTO PARA EL PROYECTO	70
6.1 DIFERENCIA VALOR PRESUPUESTO/ GASTO ECONÓMICO	74
CONCLUSIONES	76
BIBLIOGRAFÍA.....	77
ANEXOS	79

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Ciclo Otto.....	18
Figura 2 Ciclo Otto.....	19
Figura 3 Ciclo Real del Motor Admisión.....	25
Figura 4 Ciclo Real del Motor Expansión.....	26
Figura 5 Ciclo Real del Motor Escape.....	27
Figura 6 Sistema de Refrigeración.....	29
Figura 7 Instalación de la culata del motor.....	43
Figura 8 Secuencia de la Instalación de la culata del motor.....	44
Figura 9 Banco del Motor	48
Figura 10 Motor BMW M20	52
Figura 11 Bujía.....	59
Figura 12 Bujía con resistencia.....	59
Figura 13 Instalación de Alta para Motor	60
Figura 14 Plano Eléctrico del Arranque del Modelo Didáctico.....	61
Figura 15 Plano Eléctrico del Alternador del Modelo Didáctico.....	61
Figura 16 Plano Eléctrico del Sistema de Encendido del Modelo Didáctico.....	62
Figura 17 Plano Eléctrico del Sistema de Encendido Electrónico.....	62
Figura 18 Relaciones de la Transmisión Automática.....	66
Figura 19 Tren Epiciloidal, 1 Satélites, 2 Corona 3 Planeta.....	67

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Ficha Técnica Motor M20 BMW.....	54
Tabla 2. Evaluación económica del proyecto.....	70
Tabla 3. Gastos anteproyecto.....	72
Tabla 4. Materiales y gastos.....	72
Tabla 5. Costo de los materiales proyecto.....	72
Tabla 6. Diferencia presupuesto.....	74

LISTA DE FOTOS

Pág.

Fotos. Armado del motor

1.....	31
2.....	31
3.....	32
4.....	32
5.....	32
6.....	33
7.....	33
8.....	34
9.....	34
10.....	34
11.....	34
12.....	35
13.....	35
14.....	36
15.....	36
16.....	37
17.....	37
18.....	38
19.....	38
20.....	39
21.....	39
22.....	40
23.....	40
24.....	41
25.....	41
26.....	41
27.....	41
28.....	42
29.....	42
30.....	46
31.....	46
32.....	46
33.....	46

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Manual de taller y procedimiento, BMW E21, limussina, 320 M20, modelo 1981. (Archivo adjunto)

Anexo B. Cd con video del proceso de ensamblaje

Anexo C. Tablas de unidades de medida utilizadas con los motores

RESUMEN

En el desarrollo del siguiente trabajo se mostraran las técnicas y el procedimiento metodológico seguido para crear y construir un modelo didáctico de transmisión de potencia de un vehículo BMW 320 modelo 1981, para el taller de automecatronica de la Universidad Los Libertadores, el cual contendrá un sistema de tracción trasera, describiendo a su vez el proceso llevado a cabo para el desarmado y nuevo armado de un motor de las características anteriormente descritas.

En este modelo se aprecian adicionalmente diversos sistemas tales como el de combustible; un sistema de refrigeración por fluido refrigerante y un sistema eléctrico básico al cual se anexaran el de carga de batería con su respectivo testigo, el de arranque y el testigo de lubricación, todos los cuales también serán descritos en este documento.

INTRODUCCIÓN

La motivación principal del proyecto, es darle solución a un problema que se presenta en el taller de Automecatrónica de la Universidad Los Libertadores y que consiste en que se hace necesaria la elaboración de un modelo didáctico que permita ilustrar el correcto funcionamiento de un sistema de transmisión de potencia de un automóvil, que ofrezca seguridad para el observador y el tripulante; así mismo se debe realizar la adecuación de las partes mecánicas que componen el sistema de transmisión de un automóvil, las cuales articulan con el motor del vehículo para su correcto funcionamiento, es decir la forma en que se deben instalar todas las partes mecánicas de un vehículo para su funcionamiento.

En este momento, el taller de Automecatronica de la Universidad Los Libertadores, carece de una maqueta o modelo completo que permita a sus estudiantes la observación directa del funcionamiento de la parte mecánica de un automóvil y que les facilite hacerse una idea general de la tecnología existente hasta la presente época, en esa materia.

Es decir que existen en este taller, algunos motores; transmisiones mecánicas y automáticas; diferenciales y demás componentes de un vehículo automotor, pero no así existe una maqueta que tenga todos esos elementos mecánicos integrados y funcionando de manera armónica como se presenta ordinariamente en un automóvil; razón por la cual es necesaria la creación de la misma con el fin de acercar al estudiante de TPA, a una realidad del funcionamiento mecánico del vehículo de manera general, para luego si entrar en cada uno de los elementos mecánicos de manera detallada y poder evidenciar la interacción de cada uno de ellos con los demás en el ordinario funcionamiento de un vehículo automotor de calle.

En consecuencia para cumplir con ese objetivo principal de elaborar un modelo didáctico de un motor de combustión interna, en interacción con el tren de potencia tal y como funcionaria en un vehículo automotor, es necesario el desarrollo de distintas actividades prácticas de manera progresiva y organizada iniciando por la documentación del funcionamiento del sistema de transmisión de potencia del vehículo BMW 320 modelo 1981; seguidamente con la documentación de la elaboración, empleo de materiales y resistencia de una estructura o banco para la instalación en ella, del sistema de transmisión de potencia del vehículo BMW 320 modelo 1981.

Se obtendrá un motor, una caja de velocidades y una transmisión de un vehículo BMW 320 modelo 198, para la elaboración del proyecto; siendo necesario elaborar una estructura metálica (banco) para la instalación del sistema de transmisión de potencia del vehículo BMW 320 modelo 1981.

Adicionalmente se instalará en el citado banco metálico, el motor, caja, cardan y transmisión de un vehículo BMW 320 modelo 1981, para que funcione de manera autónoma mediante la potencia que arroje el motor, cuyo funcionamiento debe involucrar todos sus componentes mecánicos. Con todos sus elementos mecánicos de la misma manera como se encontraría instalado en un vehículo automotor.

Será necesario también elaborar un manual de operación, mantenimiento y seguridad Industrial.

Y finalmente se entregará debidamente instalado en la estructura metálica y funcionando, todo el sistema de transmisión de potencia del automóvil a semejanza de cómo funciona en un automóvil de serie, determinando el costo del proyecto.

La elaboración de este trabajo ha enfrentado distintas dificultades, que han sido superadas de manera evolutiva, tales como la inicial consecución de los distintos elementos mecánicos necesarios para su construcción, debiendo ser obtenidos mediante la compra de autopartes provenientes de vehículos en proceso de chatarrización; también fue necesaria la reparación del motor que genera la potencia del modelo didáctico, la cual desarrollamos los miembros de este grupo de trabajo, asumiendo lógicamente los costos que la misma ha conllevado; igualmente se han presentado dificultades en la elaboración del banco metálico que debe soportar el modelo didáctico, específicamente por la falta de colaboración de las distintas directivas que manejan el servicio de los talleres de Automecatronica y Hangar de la Universidad los Libertadores, impidiendo el fácil y normal desplazamiento de elementos mecánicos entre estas dos sedes, que ha sido necesario para la elaboración correcta de las citadas bases metálicas, a pesar que la propiedad de los mismos elementos mecánicos radica en cabeza de los autores del proyecto, encontrándose en consecuencia, un excesivo procedimiento tramitológico que genera moras y trabas para la elaboración del proyecto, que lentamente hemos venido superando.

Finalmente se han presentado dificultades de ajuste entre los distintos elementos mecánicos que conforman el modelo didáctico y de cumplimiento del cronograma inicialmente planeado, que también han sido superadas.

El trabajo ha sido organizado por etapas, siendo la primera de consecución de todos los elementos mecánicos necesarios para elaborar el proyecto; seguidamente la reparación y puesta a punto de cada uno de esos elementos; luego la elaboración de las bases metálicas que soportaran el modelo; posteriormente el montaje de las partes mecánicas en los bancos o estructuras; seguidamente la puesta en funcionamiento e interacción de todos los componentes del modelo didáctico; finalmente elaboración e instalación de protecciones y limitantes de seguridad industrial y por último el trabajo estético para la presentación del proyecto junto con la elaboración de los manuales de seguridad industrial que lo acompañan.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Elaborar un modelo didáctico de transmisión de potencia de un vehículo BMW 320 modelo 1981, para el taller de automecatronica de la Universidad Los Libertadores.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Documentar el funcionamiento del sistema de transmisión de potencia del vehículo BMW 320 modelo 1981.

Documentar la elaboración, empleo de materiales y resistencia de una estructura o banco para la instalación en ella, el sistema de transmisión de potencia del vehículo BMW 320 modelo 1981.

Obtener un motor, una caja de velocidades y una transmisión de un vehículo BMW 320 modelo 1981.

Elaborar una estructura metálica (banco) para la instalación del sistema de transmisión de potencia del vehículo BMW 320 modelo 1981.

Instalar el motor, caja, cardan y transmisión de un vehículo BMW 320 modelo 1981, para que funcione de manera autónoma mediante la potencia que arroje el motor, cuyo funcionamiento debe involucrar todos sus componentes mecánicos. Con todos sus elementos mecánicos de la misma manera como se encontraría instalado en un vehículo automotor.

Elaborar un manual de operación, mantenimiento y seguridad Industrial.

Entregar debidamente instalado en una estructura metálica y funcionando, todo el sistema de transmisión de potencia del automóvil a semejanza de cómo funciona en un automóvil de serie.

Determinar el costo del proyecto.

JUSTIFICACIÓN

Su justificación es netamente académica y como herramienta de aprendizaje para las futuras generaciones del programa de Técnica Profesional Automotriz de la Universidad Los Libertadores. Con el presente proyecto se suple el problema de la carencia de un modelo didáctico de la mecánica automotriz de que adolece el taller de Automecatrónica.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema principal que ha dado lugar a la presentación de este trabajo, ha radicado en la carencia absoluta de un modelo didáctico o maqueta que permita al estudiante de TPA, la observación de manera general, de los distintos sistemas mecánicos que integran un automóvil para su correcto funcionamiento y la interacción de los mismos.

Es decir que en el taller de Automecatronica de la Universidad Los Libertadores, no existe una herramienta suficiente que le permita al estudiante tener una apreciación panorámica de los componentes mecánicos que conforman un vehículo de combustión interna. En el taller se observan distintas partes o piezas mecánicas aisladas que conforman o que integran un vehículo automotor, las cuales cumplen distintas funciones, pero ninguna de ellas instaladas de manera integral a fin que el estudiante pueda visualizar su funcionamiento en conjunto lo cual permite la correcta operación de un vehículo automotor.

Para dar solución a este inconveniente, se han planteado al inicio del proyecto, un objetivo específico cual es la creación o elaboración de esa maqueta o modelo didáctico que supla la falencia de la cual adolece el taller de Automecatronica de TPA, y que consiste en crear un modelo que contenga un motor de combustión interna; una caja de cambios; un cardan o árbol de tracción; un diferencial y dos ejes que transmitan la potencia del motor hasta las ruedas del vehículo, para así ilustrar cual es el funcionamiento y fin específico de un vehículo automotor.

1. MARCO TEÓRICO

- **El Ciclo Otto.**

Los motores nafteros a cuatro tiempos se denominaban genéricamente **Otto** en honor a su inventor, el alemán **Nikalous August Otto**. Se basan en la existencia de cuatro movimientos en el funcionamiento del motor: admisión, compresión, expansión, y expulsión de los gases quemados. Ideado para combustibles ligeros, capaces de vaporizarse, se trata de motores de chispa, es decir, que necesitan la ayuda de una chispa para iniciar la combustión.

La posibilidad de obtener energía mecánica a partir de la expansión del vapor de agua o del aire caliente era conocida desde la Antigüedad, **200 años** antes de **Cristo, Arquímedes** ya utilizó dicho principio en el cañón, pero hubo que esperar hasta **1775** para que **James Watt** idease su motor de vapor y se obtuviera el primer motor válido para la automoción.

Estos motores a vapor eran de combustión externa, bajo rendimiento y poco aptos para vehículos ligeros. Aunque con ellos se construyeron antepasados del automóvil, los investigadores trataron rápidamente de crear motores de mayor eficacia y trabajaron según un proceso ideado, en **1862**, por el físico e inventor francés **Alphonse-Eugène Beau de Rochas**.

La potencia se obtiene siempre por la expansión de un gas al aumentar la temperatura dentro de un recipiente cerrado en forma de cilindro. Una de las dos tapas del cilindro no es fija, sino móvil. Puede deslizarse a lo largo de las paredes del cilindro empujada por la presión del gas mediante un sistema de biela-manivela que transmite la fuerza al cigüeñal y, finalmente, a las ruedas.

Mediante una combustión violenta (explosión) de una mezcla de aire y combustible, ésta aumenta de temperatura y volumen, incrementado así la presión en el interior del cilindro y empujando el pistón.

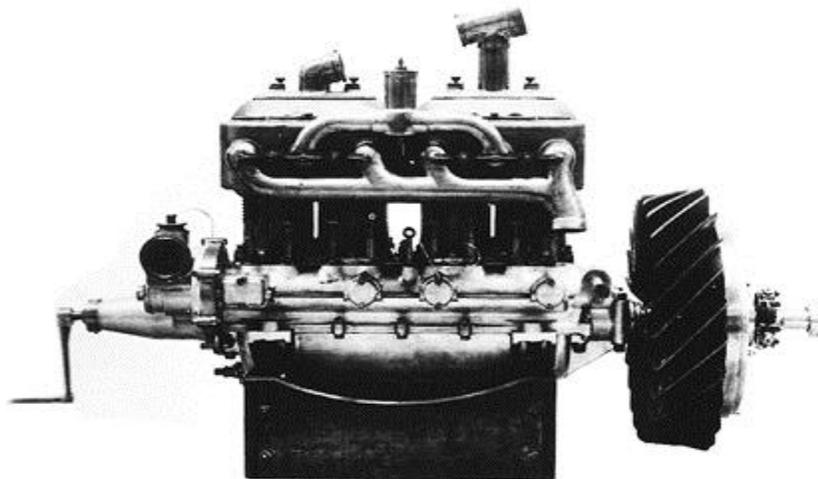


Figura 1 .Ciclo Otto

Fuente: cochesmiticos.com/el-motor-otto-historia. **Motor de 4 cilindros de 1906.**

También depende de la existencia de una bujía cuya chispa desencadena el proceso en el instante oportuno. Por eso también se llaman motores de encendido por chispa.

La teoría es sencilla. Sin embargo, en la práctica, los movimientos no pueden ser nunca instantáneos y existen limitaciones debidas a muchos factores, motivo por el cual son necesarias pequeñas desviaciones sobre el ciclo teórico para que éste funcione. Por ejemplo, las válvulas no se cierran justo cuando el pistón está en su punto más alto o bajo, sino que se abren un poco antes de lo que teóricamente sería necesario y se cierran un poco después.

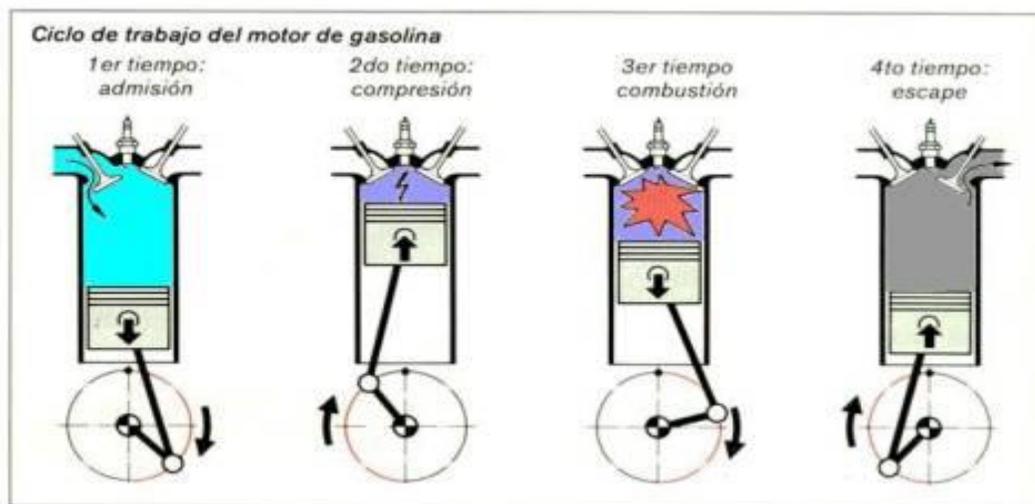


Figura 2 .Ciclo Otto

Fuente: www.oni.escuelas.edu.ar/2001/santa-fe-sur/motor/Esquema/otto.htm

• RELACIONES DE LA TRANSMISIÓN AUTOMÁTICA

La transmisión automática que posee el modelo didáctico expuesto en el presente trabajo, corresponde a la referencia Voith R115/722, la cual posee los siguientes datos y parámetros para calcular la velocidad de cada uno de sus trenes. “¿Si se tiene el engranaje planeta que gira a una velocidad de 700rpm en sentido de las manecillas del reloj, se cuestiona saber a cuánto giraría el brazo y el satélite, si se bloquea la corona?”.

Por lo tanto tenemos las siguientes definiciones:

- e = relación de transmisión
- n_l = velocidad del último engranaje.
- n_a = velocidad del brazo o porta satélites
- n_f = primer engranaje.
- Ecuación: $E = \frac{n_l - n_a}{n_f - n_a}$ → Fórmula de relación de transmisión.

Por lo tanto, si el engranaje gira en sentido del reloj, la velocidad es negativa y en el caso contrario, esta sería positiva. También, la relación de transmisión será positiva cuando el engranaje de entrada gira en el mismo sentido que el de salida, pues de no ser así, es negativo.

Calculamos la relación de transmisión: $E = \frac{45 - 17}{17 - 76}$ $E = \frac{45}{-76}$ $E = - 0,59$

A hora se aplica lá fórmula: $E = \frac{n_l - n_a}{N_f - n_a}$

$$- 0,59 = \frac{0 \text{ r.p.m.} - n_a}{- 700 - n_a}$$

Se despeja - na: $-0,59 \times (- 700 \text{ r.p.m.} - n_a) = 0 \text{ r.p.m.} - n_a$

$$= 413 \text{ r.p.m} + 0,59 n_a = - n_a$$

$$= 413 \text{ r.p.m.} = - 1,59 n_a$$

$$n_a = \frac{413}{- 1,59}$$

$$n_a = - 259,74 \text{ r.p.m.}$$

Ahora se procede a hallar la velocidad del satélite:

$$E = \frac{- 45}{17} \quad E = - 2,64$$

Remplazar nuevamente en la fórmula original:

$$E = \frac{n_l - n_a}{n_f - n_a} \quad - 2,64 = \frac{n_l - (- 259,74 \text{ r.p.m.})}{- 700 \text{ r.p.m.} - (- 259,74 \text{ r.p.m.})}$$

$$- 2,64 \times (- 700 \text{ r.p.m.} + 259,74 \text{ r.p.m.}) = n_l + 259,74 \text{ r.p.m.}$$

$$1848 \text{ r.p.m.} - 685,71 - 259,74 \text{ r.p.m.} = n_l$$

$$n_l = 902,55 \text{ r.p.m.}$$

Por lo tanto se deduce que los satélites giran a 902,55 r.p.m. en sentido contrario a las manecillas del reloj.

Teniendo los datos del segundo tren epicicloidal, se proceden a realizar los cálculos de este, teniendo en cuenta que el número de dientes en los engranajes varía.

$$\text{Se calcula la relación de transmisión: } E = \frac{-35}{76} \quad E = -0,46$$

$$\text{Se aplica la fórmula: } E = \frac{n_l - n_a}{n_f - n_a}$$

$$-0,46 = \frac{0 \text{ r.p.m.} - n_a}{-700 - n_a}$$

$$\text{En donde se despeja } -n_a: -0,46 \times (-700 \text{ r.p.m.} - n_a) = 0 \text{ r.p.m.} - n_a$$

$$= 322 \text{ r.p.m.} + 0,46 n_a = -n_a$$

$$= 322 \text{ r.p.m.} = -1,46 n_a$$

$$n_a = \frac{322}{-1,46}$$

$$n_a = -220,54 \text{ r.p.m.}$$

Ahora se procede a hallar la velocidad del satélite:

$$E = \frac{-35}{20} \quad E = -1,75$$

Se reemplaza nuevamente en la fórmula original:

$$E = \frac{n_l - n_a}{n_f - n_a} \quad -1,75 = \frac{n_l - (-220,54 \text{ r.p.m.})}{-700 \text{ r.p.m.} - (-220,54 \text{ r.p.m.})}$$

$$-1,75 \times (-700 \text{ r.p.m.} + 220,54 \text{ r.p.m.}) = n_l + 220,54 \text{ r.p.m.}$$

$$1225 \text{ r.p.m.} - 385,94 - 220,54 \text{ r.p.m.} = n_l$$

$$n_l = 618,52 \text{ r.p.m.}$$

Por lo tanto se deduce que los satélites giran a 618,52 r.p.m. en sentido contrario a las manecillas del reloj.

Fuente: información brindada por el ingeniero Rodrigo Sorzano Dueñas.

1.1 GLOSARIO

1.1.1 CONCEPTOS FÍSICOS APLICADOS EN LOS MOTORES

- **Torque**

El primer concepto a tener en cuenta en este capítulo será por la torsión, este concepto se refiere a la fuerza que producen los cuerpos en rotación, recordemos que el motor produce fuerza en un eje que se encuentra girando. A mayor cantidad de fuerza de giro que puede hacer el motor a cierto número de revoluciones, se le conoce con el nombre de torque o par máximo. Matemáticamente, el torque es la fuerza que se aplica multiplicada por el largo de la palanca (distancia), es decir; $\text{Torque} = F \times D$, y se mide en unidad de Newtons por Metro.Nm

- **Potencia**

La potencia es la rapidez con que se efectúa un trabajo, es decir, el trabajo por unidad de tiempo ($\text{Potencia} = \text{Trabajo} / \text{tiempo}$). Tomando los conceptos básicos de física sabemos que $\text{Trabajo} = \text{fuerza} \times \text{distancia}$, que son precisamente las unidades del torque. Además sabemos que la velocidad rotacional de un motor se mide en rpm (cuyas unidades son 1/min). Entonces si multiplicamos el torque por las rpms del motor tenemos $F \times D / t$ que es precisamente la potencia.

- **Presión**

Se le llama Presión, a la reacción inmediata que ejerce un cuerpo sobre otro en relación de peso o fuerza. Presión es la relación que existe entre la fuerza y el área en que se aplica $P=F/A$ y su unidad en el sistema internacional es el pascal (Pa) $1\text{Pa}=\text{N}/\text{m}^2$.

- **Fuerza**

La fuerza es cualquier acción, esfuerzo o influencia que puede alterar el estado de movimiento o de reposo de cualquier cuerpo. Esto quiere decir que una fuerza puede dar aceleración a un objeto, modificando su velocidad, su dirección o el sentido de su movimiento.

- **Vacío**

Se llama vacío a la ausencia total o parcial de aire, También podría decirse; presión inferior a la atmosférica.

Todo cuerpo, físico, líquido o gaseoso en movimiento, deja un vacío tras él; ese vacío es cubierto inmediatamente por el peso atmosférico.

Cuando la cámara de combustión, tiene las válvulas cerradas; y el pistón baja, se está creando un vacío. Al abrir las válvulas, el peso atmosférico empuja aire dentro del cilindro, dando la impresión de que el motor lo está succionando.

Los pistones en su carrera descendente generan una "succión" en el múltiple de admisión, a esto se le llama vacío.

Los motores de gasolina EN BUENAS CONDICIONES sin importar si son de 3, 4, 5, 6, 8 o más cilindros generan un vacío que va desde 17 a 22 pulg.hg

- **La cilindrada**

Cilindrada, denominación que se da a la suma del volumen útil de todos los cilindros de un motor alternativo. Es muy usual que se mida en centímetros cúbicos (cc) pero los vehículos norteamericanos usaban el sistema inglés de pulgadas cúbicas. (16.4cc equivalen a una pulgada cúbica. Un motor 250in³ equivale a 4.100 CC.)

La cilindrada se calcula en forma siguiente:

$$\text{Cilindrada Total} = \left[\frac{(\pi \times d^2)}{4} \right] \times (L \times \text{número de cilindros})$$

$$\text{Cilindrada Unitaria} = \left[\frac{(\pi \times d^2)}{4} \right] \times L$$

d = diámetro del cilindro, también llamado calibre

L = carrera del pistón

En otras palabras, cilindrada es el volumen geométrico ocupado por el conjunto de pistones desde el punto muerto inferior (PMI) hasta el más alto (PMS), también llamado punto muerto superior. La cilindrada da una buena medida de la capacidad de trabajo que puede tener un motor.

- **La relación de compresión**

La relación de compresión en un motor de combustión interna es el número adimensional que permite medir la proporción en volumen, que se ha comprimido la mezcla de aire-combustible (Motor Otto) o el aire (Motor Diésel) dentro de la cámara de combustión de un cilindro. Es decir el volumen máximo o total (volumen desplazado más el de la cámara de combustión) entre el volumen mínimo (volumen de la cámara de combustión) Para calcular su valor teórico se utiliza la siguiente ecuación:

$$RC = \frac{\frac{\pi}{4} * d^2 * s + V_c}{V_c}$$

Dónde:

- d = diámetro del cilindro.
- s = carrera del pistón desde el punto muerto superior hasta el punto muerto inferior
- Vc = volumen de la cámara de combustión.

- RC = es la relación de compresión y es adimensional.

1.1.2 EL CICLO DE CUATRO TIEMPOS

- **1-Primer tiempo o admisión:**

En esta fase el descenso del pistón aspira la mezcla aire combustible en los motores de encendido provocado o el aire en motores de encendido por compresión. La válvula de escape permanece cerrada, mientras que la de admisión está abierta. En el primer tiempo el cigüeñal gira 180° y el árbol de levas da 90° y la válvula de admisión se encuentra abierta y su carrera es descendente.

- **2-Segundo tiempo o compresión:**

Al llegar al final de la carrera inferior, la válvula de admisión se cierra, comprimiéndose el gas contenido en la cámara por el ascenso del pistón. En el 2º tiempo el cigüeñal da 360° y el árbol de levas da 180° , y además ambas válvulas se encuentran cerradas y su carrera es ascendente.

- **3-Tercer tiempo o explosión/expansión:**

Al llegar al final de la carrera superior el gas ha alcanzado la presión máxima. En los motores de encendido provocado o de ciclo Otto salta la chispa en la bujía, provocando la inflamación de la mezcla, mientras que en los motores diésel, se inyecta a través del inyector el combustible muy pulverizado, que se auto inflama por la presión y temperatura existentes en el interior del cilindro. En ambos casos, una vez iniciada la combustión, esta progresa rápidamente incrementando la temperatura y la presión en el interior del cilindro y expandiendo los gases que empujan el pistón. Esta es la única fase en la que se obtiene trabajo. En este tiempo el cigüeñal gira 180° mientras que el árbol de levas gira 90° respectivamente, ambas válvulas se encuentran cerradas y su carrera es descendente.

- **4 -Cuarto tiempo o escape:**

En esta fase el pistón empuja, en su movimiento ascendente, los gases de la combustión que salen a través de la válvula de escape que permanece abierta. Al llegar al punto máximo de carrera superior, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión, reiniciándose el ciclo. En este tiempo el cigüeñal gira 180° y el árbol de levas gira 90° .

1.1.3 CICLO REAL DEL MOTOR

El funcionamiento real de un motor de combustión interna no se realiza con exactitud y de acuerdo con el ciclo teórico, ya que existen pérdidas de presión, de calor y el llenado no siempre es completo, por lo que el rendimiento es menor.

Con el fin de mejorar el rendimiento del motor, las válvulas de admisión y de escape están sincronizadas para abrirse en tiempos antes o después de los PMI y PMS, denominando a este fenómeno, como el “traslape valvular”. Así como también el proceso de combustión no es instantáneo, es preciso modificar el tiempo de encendido, con el fin de que la energía sea aprovechada lo máximo posible sin golpeteo ni pérdidas de potencia a diferentes velocidades.

Por lo antes expuesto, el motor se comporta de la siguiente manera:

Admisión:

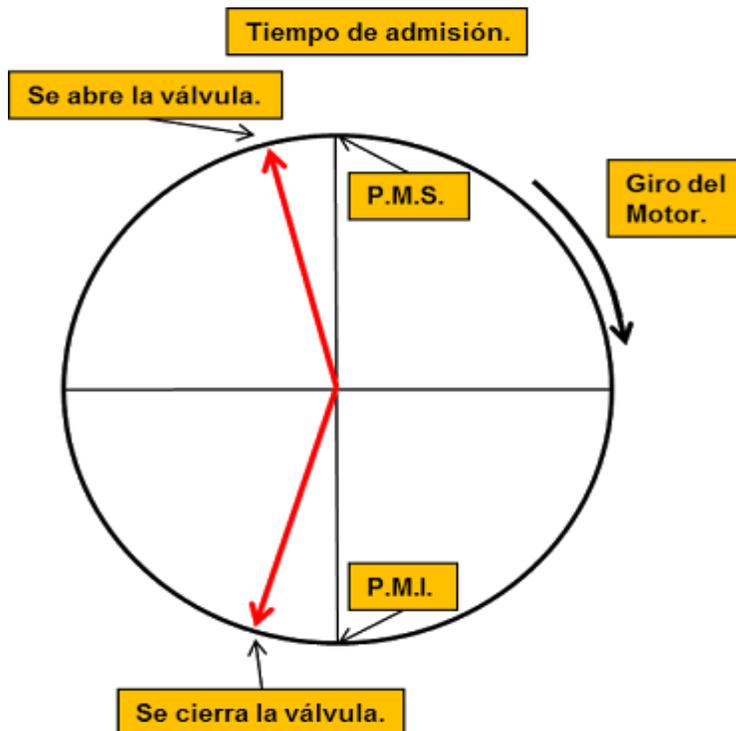


Figura 3. Ciclo Real del Motor, Admisión.

Fuente: <http://co.images.search.yahoo.com/>

El llenado del cilindro no es perfecto, ya que siempre existen pérdidas de succión a través de los anillos, además al hacer contacto con las paredes del cilindro es posible que los gases se condensen, disminuyendo su volumen, por lo que el valor de la presión es inferior a la presión atmosférica. Para compensar estas

pérdidas es necesario que la válvula de admisión se abra antes de que el pistón llegue al PMS (aprox. 20° medidos en giro del cigüeñal), permitiendo así que los gases comiencen a entrar antes de que el pistón comience a descender.

Para asegurar un mejor llenado, la válvula de admisión permanece abierta aun cuando el pistón se ya paso por el PMI, lo que permite que por inercia, los gases continúen entrando.

Compresión:

Lo mismo pasa con el ciclo práctico, la perdida de presión a través de los anillos del pistón y condensación de los gases por contacto con el metal del motor, provocan que la presión disminuya, obteniéndose valores inferiores a los deseados por los fabricantes.

Expansión:

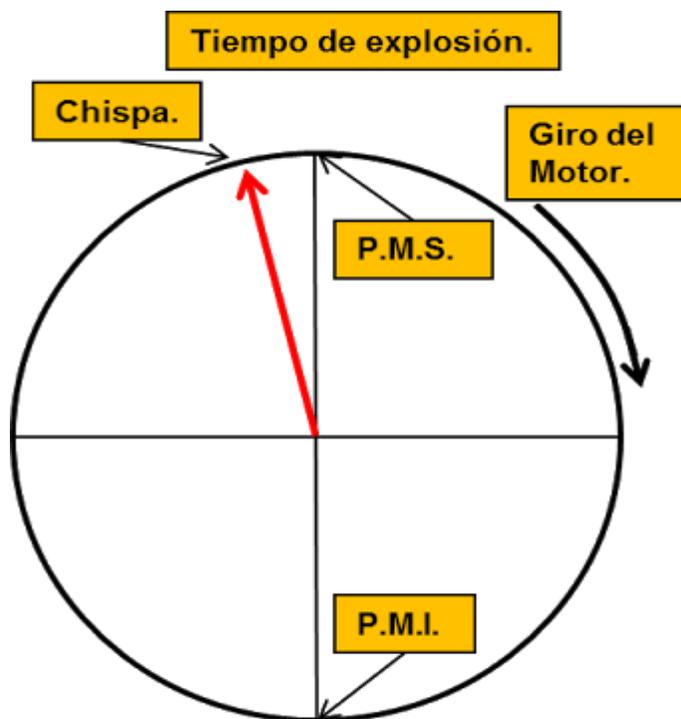


Figura. 4 Ciclo Real del Motor Expansión.

Fuente: <http://co.images.search.yahoo.com/>

Considerando que la quema de los gases no es instantánea, para maximizar el aprovechamiento de la combustión es necesario que la chispa salte antes de que

el pistón alcance el PMS, por lo que el ajuste del encendido permite que la onda expansiva golpee el pistón en el momento que comienza a descender.

Escape:

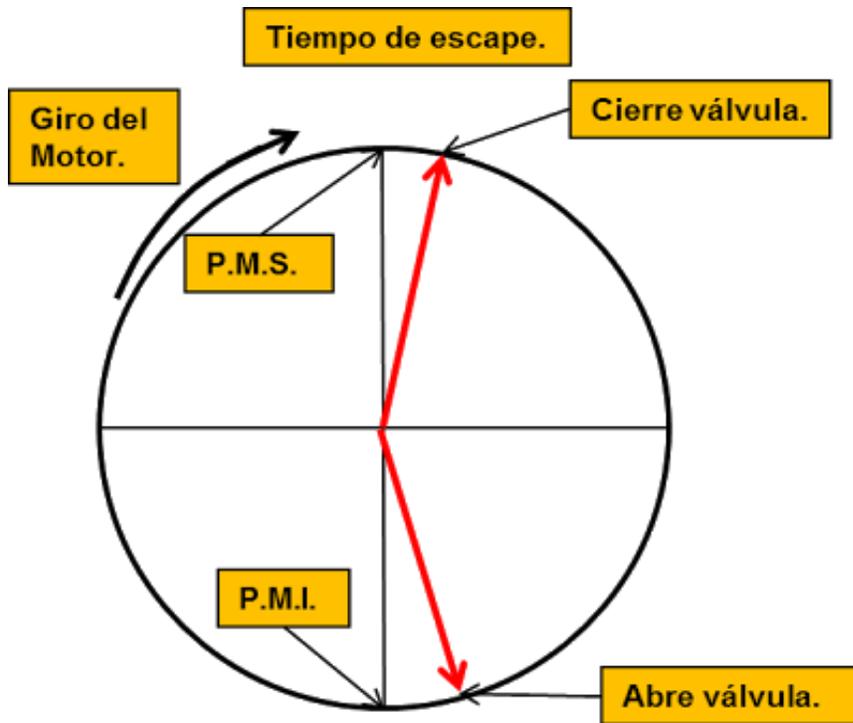


Figura 5. Ciclo Real del Motor Escape.

Fuente: <http://co.images.search.yahoo.com/>

Durante el escape es necesario expulsar los gases quemados, asegurándose que la expulsión sea lo más completa posible por lo que la válvula correspondiente, tendrá que abrirse unos grados antes de que el pistón se encuentre en el PMI, comenzando así la salida de gases, y permaneciendo abierta aun cuando el pistón paso por el PMS.

Traslapo o solape:

Expresado en grados de cigüeñal se le conoce así, al tiempo en que las válvulas de admisión y escape, se encuentran abiertas al mismo tiempo, lo cual está diseñado para un mejor llenado y expulsión de los gases.

1.2 EL MOTOR REFRIGERADO POR LIQUIDO REFRIGERANTE

Los motores refrigerados por líquido refrigerante utilizan como medio de extracción del calor, agua o refrigerante y en casos dependiendo de medio

ambiente al cual se encuentra expuestos utilizan anticongelante; el sistema opera bajo el principio adiabático y que consiste en que el calor generado al interior del bloque del motor por efecto de la explosión de la mezcla combustible, es extraído del mismo mediante el paso de líquido a través de distintas recamaras insertas en el interior del bloque del motor y colindante con los cilindros del mismo.

Inicialmente el motor refrigerado por liquido requiere de un bloque con cámaras internas que colindan con los cilindros de éste, diseñadas para el paso del líquido que va a extraer el calor producido en cada una de las cámaras de combustión del motor, también requiere de mangueras que transportan el líquido desde el bloque del motor hacia el radiador el cual está diseñado como un panel de finos tubos paralelos entre sí y con un tanque en cada extremo de la tubería a fin que el líquido procedente del motor llegue a la parte baja del radiador y circule por la tubería del radiador hasta el extremo alto y cuando llegue allí deberá estar fría nuevamente para volver al bloque de motor y otra vez extraer el calor que exista en su interior completando así el ciclo de refrigeración.

El líquido circula desde el motor y hacia el radiador impulsado por una bomba de aletas que lo empuja y que a su vez opera mediante impulso mecánico generado mediante una correa que se ubica en el extremo de la misma y que conecta con una polea situada en el cigüeñal del motor.

Adicionalmente al interior de una de las mangueras del sistema, se ubica el termostato el cual es una compuerta en cobre y parafina, que abre o cierra el paso del líquido que circula en el sistema y que opera gracias al efecto térmico, es decir que abre o cierra el paso del líquido dependiendo de la temperatura que posea el mismo al chocar con el termostato y que por regla general es de 90° pero que puede variar según diseño del fabricante.

El líquido que llega al radiador logra ser enfriado en razón a que en uno de los tanques se encuentra instalada un sensor de temperatura, que cuando se llena el radiador con líquido caliente, este sensor cierra un circuito eléctrico que activa el funcionamiento de un moto ventilador que gira rápidamente empujando aire del exterior a través del panel del radiador enfriando así la tubería y de la misma forma el líquido que se encuentre en el interior de ella.

De esta manera es extraído el calor que produce el motor con la combustión interna trasladándose del metal al líquido refrigerante y luego enfriado por acción del paso de aire que lo rodea.

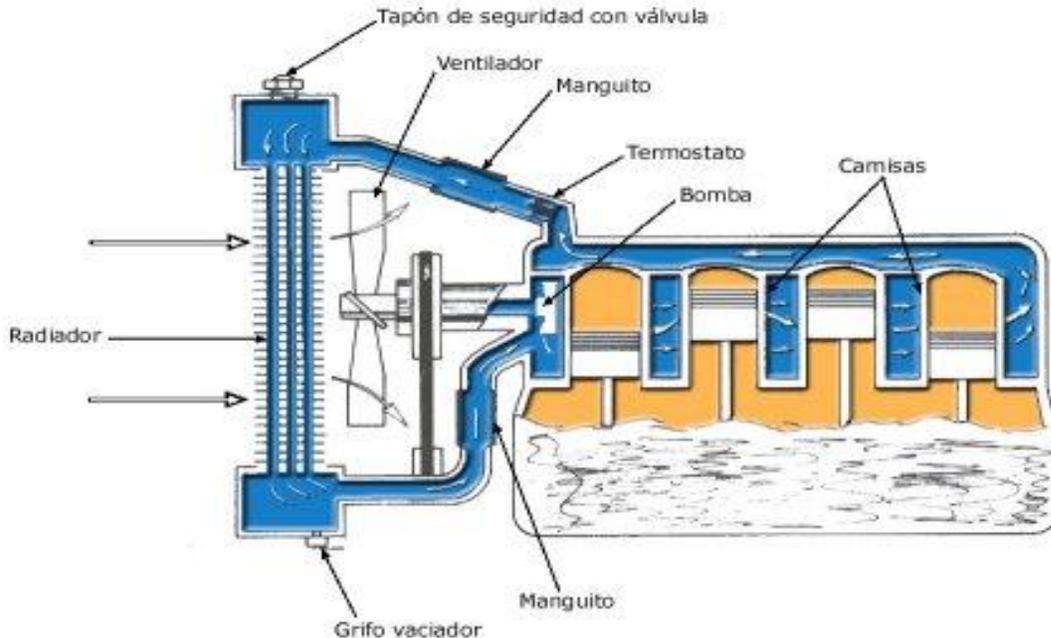


Figura 6. Sistema de Refrigeración por Líquido Refrigerante.

Fuente: Tecnología de la automoción 2.2 (Mecánica y Electricidad) Aut. Angel Sanz Gonzalez ed. Edebe/Don Bosco 1981 [ISBN 84-236-1551-0](https://www.isbn-international.org/number/84-236-1551-0)

1.3 MOTOR EN LINEA

Los motores en línea son aquellos de combustión interna con pistones múltiples que se mueven en un plano vertical; presentan un bloque con dos, cuatro, seis, ocho o doce cilindros, paralelos, dentro de los cuales se encuentran instalados los respectivos pistones que a su vez se conectan con un cigüeñal mediante las bielas y que su vez actúan de manera ascendente y descendente en pares. También existen motores en línea con número impar de cilindros, uno, tres y cinco.

Los hay de explosión cuyo combustible es la gasolina que explota en virtud de la ignición que le proporciona una chispa controlada cuando el pistón se encuentra en tiempo de compresión y térmicos cuyo combustible es el ACPM denominados motores diésel y que logran la explosión en virtud de la compresión que se ejerce sobre el aire, combinado con partículas de combustible ACPM, que a su mínimo volumen genera una temperatura suficiente para producir la ignición del combustible que estalla dentro del cilindro empujando el pistón hacia su punto opuesto.

Los motores en línea pueden ser de dos tiempos y cuatro tiempos, siendo de cuatro tiempos aquellos que completan un ciclo de trabajo en cuatro carreras del

pistón dentro del cilindro y dos giros del cigüeñal, y de dos tiempos los que cumplen ese mismo ciclo en dos carreras del pistón dentro del cilindro y un giro del cigüeñal. La carrera del pistón se cumple en el desplazamiento interno que efectúa dentro del cilindro de un extremo al otro del mismo y por cada dos carreras que efectúa el pistón dentro del cilindro, se produce un giro completo del cigüeñal al cual se encuentra adosado el pistón mediante la biela.

Cuando se genera la explosión de la mezcla combustible dentro del cilindro, los gases producidos deben salir del cilindro y se sustituyen por nueva mezcla lo que se denomina renovación de la carga, siendo así que este proceso se cumple en motores de cuatro tiempos mediante apertura y cierre de las válvulas y en motores de dos tiempos mediante un barrido que efectúa el mismo pistón al desplazarse al interior del cilindro.

Los motores en línea presentan trabajo de los pistones con una sola cara activa, es decir que solo en la parte superior del pistón, se tiene contacto con la mezcla combustible y solo en esa cara se percibe el efecto de la fuerza que genera la explosión, siendo así que solo en la carrera descendente del pistón dentro del cilindro es que se aprovecha la potencia de la detonación.

Existen igualmente motores atmosféricos cuya característica consiste en que la presión en el tiempo de admisión es igual o menor a la ejercida por la atmosfera y los turboalimentados o sobrealimentados cuya presión en el tiempo de admisión es proporcionada por un sobrealimentado de aire (turbo, supercargador) que ejerce una presión superior a la de la atmosfera generando mayor potencia en la explosión

La sobrealimentación es una característica del sistema de alimentación por inyección en virtud de las altas presiones que se requieren para una correcta mezcla y una eficiente explosión; en los motores alimentados por sistema de carburación, la cantidad de combustible que llega a cada uno de los cilindros presenta diferencia debido a que la cantidad depende de la distancia que existe entre el cilindro y el carburador, siendo así que los cilindros más próximos al carburador siempre obtendrá mayor riqueza de combustible que aquellos más alejados de él.

Un motor con disposición en línea un solo muñón tiene la función de controlar más de un pistón.

En los motores en línea, a fin de evitar un desequilibrio dinámico libre de fuerzas en el ciclo de cuatro tiempos, requieren del uso de contrapesos en el cigüeñal para equilibrar el peso de las piezas que generan movimientos alternativos.

Fuente: *Motores de combustión interna alternativos*, M.Muñoz, F. Payri, Sección de publicaciones de la E.T.S. de Ingenieros Industriales (Universidad Politécnica de Madrid), 1989.

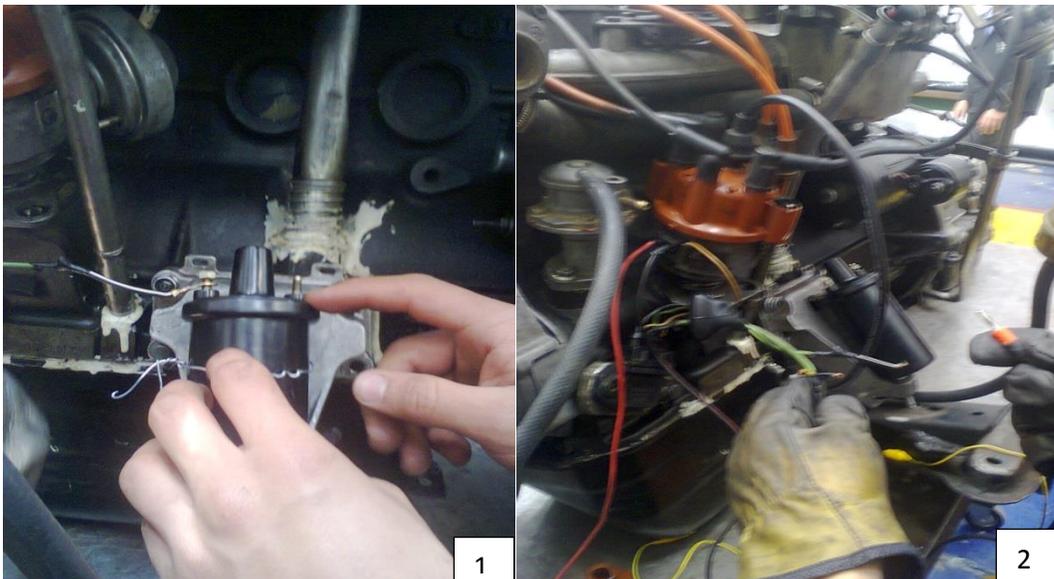
2. TECNICA DEL PROYECTO

2.1 DESARME, REPARACIÓN Y ARMADO DEL MOTOR

El principio del proyecto inicia con la consecución, reparación y puesta a punto del motor de un vehículo, como fuente de potencia del modelo didáctico; teniendo en cuenta que es este elemento el generador de toda la potencia que va a ser repartida a lo largo del modelo didáctico y que finalmente terminara en las ruedas de tracción del mismo.

En consecuencia, es adquirido un motor de combustión interna, a gasolina, de 6 cilindros en línea de la marca alemana BMW, creado en el año 1981, alimentado por un carburador de 4 Venturi, con una cilindrada de 2000 cm³, que se encuentra en regular estado de funcionamiento en razón a su desgaste natural y por haber sufrido un recalentamiento.

A fin de comprobar el real estado de funcionamiento del motor, se toma la decisión de encenderlo, para lo cual fue necesario empezar por armar el sistema eléctrico de encendido para prender el motor y diagnosticar si tiene más daños mediante pruebas de compresión y fugas.



Fuente: El autor.

Foto 1. Proceso de instalación de la bobina de encendido.

Foto 2. Proceso de cableado del sistema eléctrico de encendido del motor.



Fuente: El autor.

Foto 3 y 4. Prueba de medidas de compresión de cada uno de los cilindros del motor.

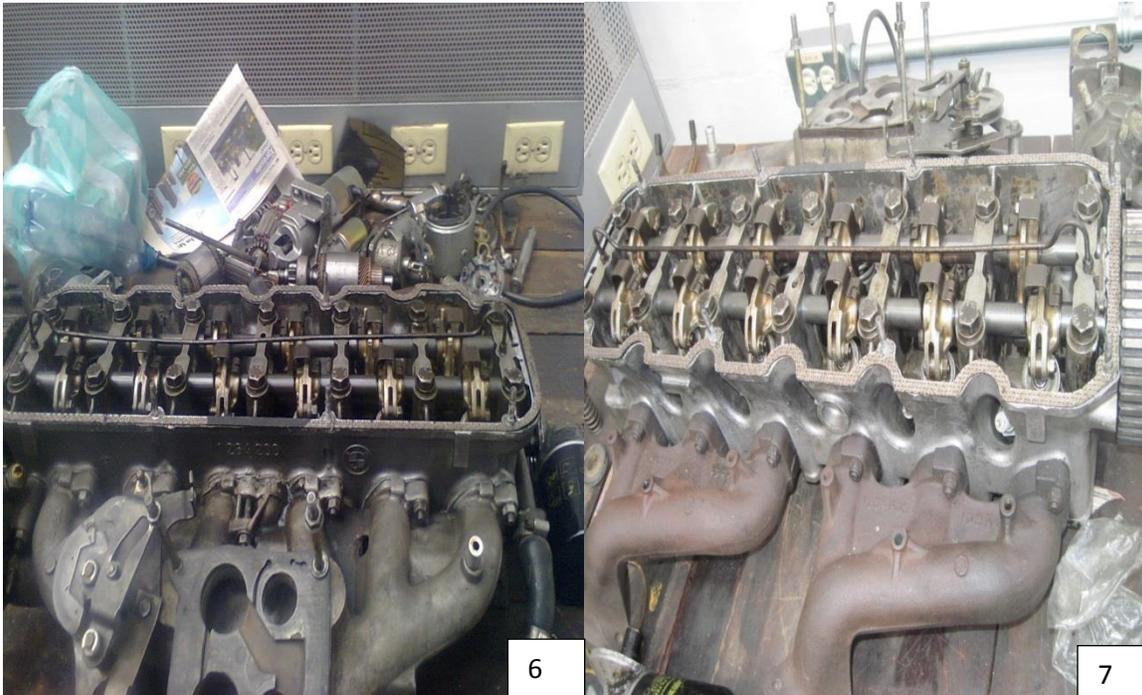
Después de encender el motor se evidencia que el aceite no sube a la parte superior del mismo (culata); razón por la cual se procede a desarmar el motor, siendo lo primero retirar el sistema eléctrico de encendido, y en segundo lugar sacar el aceite del motor que se encuentra alojado en el Carter.



Fuente: El autor.

Foto 5. Vaciado del aceite del motor.

Se desmonta la parte superior del motor (culata); retirando la culata con el sistema de admisión y escape (carburador, múltiple de admisión y múltiple de escape).



Fuente. El autor

Foto 6. Desmonte de la tapa de válvulas, sistemas de admisión y escape del motor.

Foto 7. Desmonte de la culata del motor.

Como se observa en las figuras subsiguientes, una vez desacoplada la culata del motor y retirada de su alojamiento, se procede a desmontar el filtro de aceite y el Carter para poder tener acceso a las tapas del cigüeñal y bielas.



8



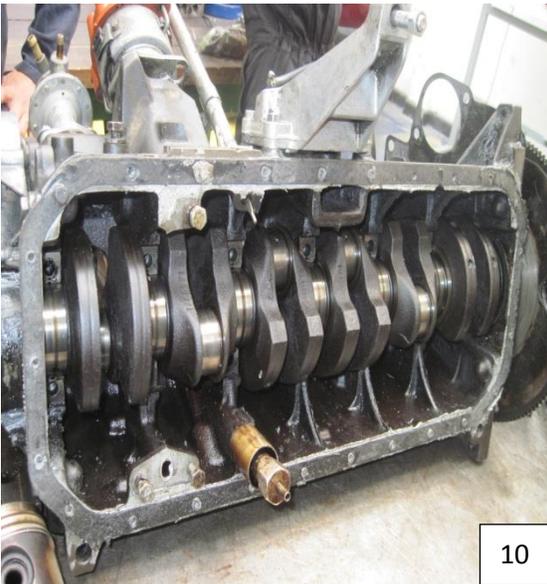
9

Fuente: El autor.

Foto 8. Proceso de desmonte del filtro de aceite y soporte del mismo.

Foto 9. Proceso de desmonte de las tapas del cigüeñal del motor.

Acto seguido, se procede a retirar los casquetes del cigüeñal para observar el daño que presenta por el recalentamiento.



10



11

Fuente: El autor.

Foto 10 y 11. Se retiran las tapas de cigüeñal para tener acceso a los casquetes del motor, los cuales se observan rayados y con total desgaste por recalentamiento.

Seguidamente se retiran del motor, los pistones para poder observar el estado de los anillos, e igualmente se le practica a las camisas del motor, la prueba de conicidad para observar su desgaste.

Los casquetes de biela y bancada son sustituidos por piezas nuevas, en razón a que han perdido la película deslizante que los recubre y que se denomina babe.

Estos casquetes nuevos, se instalan en las tapas del cigüeñal, una vez que se insertan los pistones en el bloque de motor con los nuevos anillos previamente montados en la cabeza del pistón.

Cada una de las tapas de cigüeñal se encarga de sujetar la biela de los pistones al cigüeñal permitiendo su giro de manera suave. Los casquetes permiten la lubricación del cigüeñal en virtud de sus ranuras y orificios, colaborando también en la labor de dar presión al aceite que gira en este sector del motor.



Fuente. El autor.

Foto 12. Corresponde a una fotografía de uno de los cilindros del motor en la que se observa su desgaste en el extremo superior.

Foto 13. Se muestra el montaje de los nuevos anillos de cada pistón.



14

15



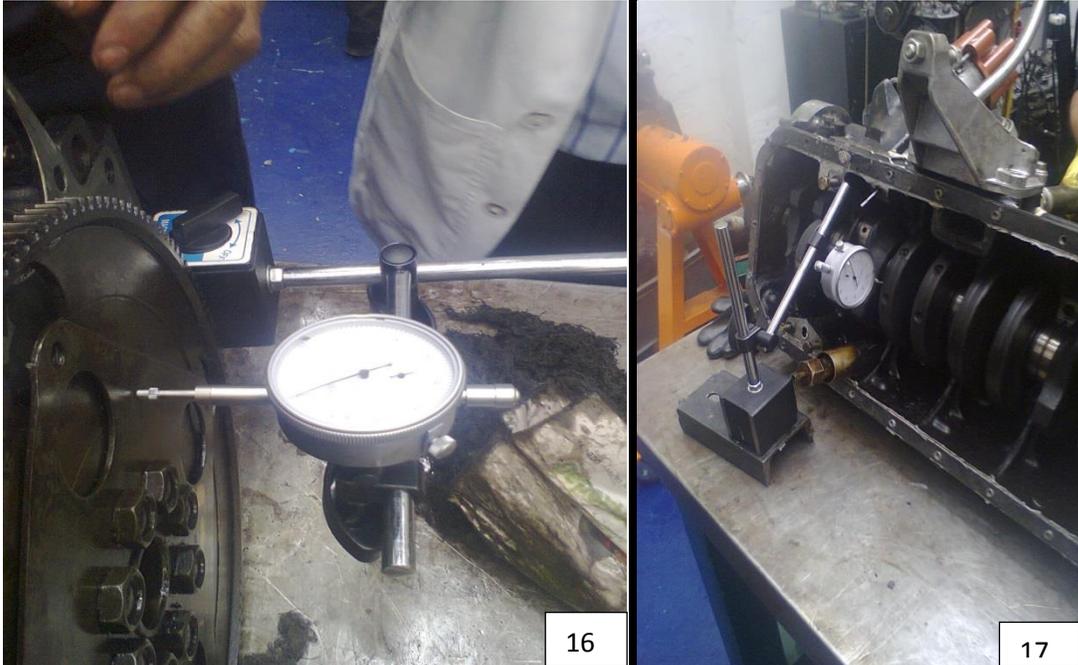
Fuente: El autor.

Foto 14. Práctica de la prueba de conicidad realizada a cada cilindro.

Foto 15. Práctica de la prueba de desgaste de cada cilindro en su extremo superior.

A cada uno de los cilindros del motor, se le practica una prueba de conicidad para verificar su desgaste durante el cuerpo del cilindro y de igual forma se determina o se mide el grado de desgaste que presente en su extremo superior, lo que se denomina la rebaba del cilindro.

Al cigüeñal le es realizada la prueba para verificar su juego axial y la prueba para observar su ovalamiento.



Fuente. El autor.

Foto 16. Prueba de ovalamiento del cigüeñal.

Foto 17. Prueba de juego axial del cigüeñal.

Una vez realizadas las pruebas descritas anteriormente y verificado el estado aceptable del motor para su nuevo ensamblaje, se monta el bloque de motor en un banco metálico fabricado en material de ángulo de 1 ½", el cual ha sido previamente manufacturado en el taller hangar, con forma rectangular y a una altura aproximada de un metro sobre la superficie del suelo, para poderle dar estabilidad al motor en el momento de encenderlo.

A este ángulo se le ha anexado debidamente fijado, un puente o soporte sobre el cual descansara el motor.



18

19



Fuente El autor.

Foto 18. Se observa el anclaje del bloque de motor al puente anexo al banco metálico

Foto 19. Se observa el bloque de motor debidamente montado en el banco metálico.

Antes de empezar a ensamblar las partes de motor, con una lija no muy gruesa se debe realizar una especie de bruñido a las camisas del motor, para que no queden tan lisas y el aceite se aloje en estas estrías y ayudar a lubricar los anillos del pistón.



Fuente: El autor.

Foto 20 y 21. Proceso de lijado y bruñido interno de cada cilindro.

Se inicia el proceso de ensamblaje del motor, con los pistones anillándolos ya que los anillos que tenía ya no servían por su excesivo desgaste. Los nuevos anillos se adquieren en medida de 0,25mm y es necesario recortarlos para que queden en medida estándar; para recortar los anillos se utiliza una lima y se empieza a limar por un lado del anillo (extremo) y se va midiendo por encima del cilindro entre tanto se sigue limando hasta que el anillo entre en el cilindro y con un abre anillos se coloca en el pistón, realizando este procedimiento con todos los pistones.

Teniendo en cuenta que cada anillo posee un extremo abierto, y que son tres los anillos instalados en cada pistón, se procede a ubicar dicha abertura de cada anillo, distante entre sí a una longitud de aproximadamente 45°, para evitar que estas aberturas lleguen a enfrentarse y producir pérdidas de compresión o fugas de lubricante.

Ya con los pistones anillados se procede a insertarlos dentro del bloque del motor, lubricando previamente las camisas y los pistones para que entre suavemente, utilizando la herramienta del cierra anillos; esta herramienta se utiliza para facilitar la entrada del pistón ya que los anillos en el pistón no cierran totalmente, y con el mango de un martillo se golpea suavemente la cabeza del pistón para que entre, así mismo es necesario irle dando vuelta al cigüeñal para poder ir asegurado los pistones con las tapas de biela.



Fuente: El autor.

Foto 22 y 23. Proceso de recorte y limado de los anillos que irán instalados en cada uno de los pistones del motor.



24



25



26

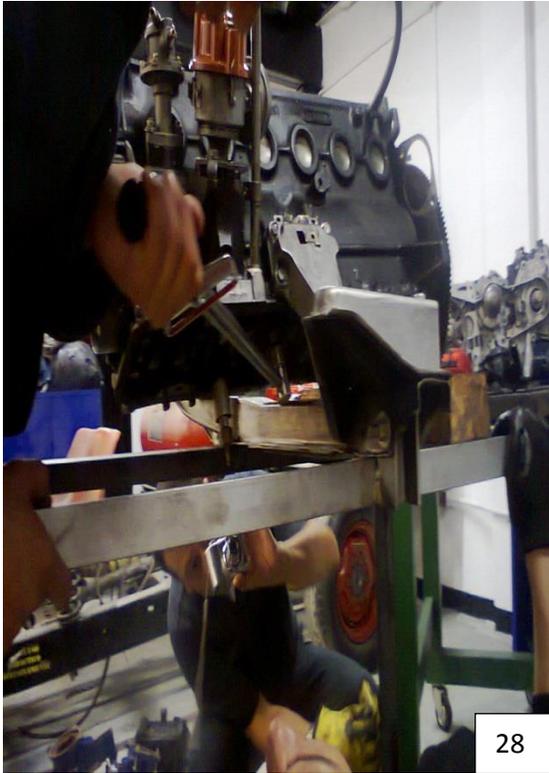


27

Fuente: El autor.

Foto 24 a 27. Evidencia el proceso de instalación de cada uno de los anillos, en los pistones del motor y montaje de los mismos en cada uno de los cilindros del motor mediante el uso de la herramienta denominada cierra anillos.

Ya con los pistones montados y asegurados, se procede a instalar las tapas de biela y bancada del cigüeñal del motor, las cuales se ajustan fuertemente y se requintan para que cuando el motor empiece a funcionar no se vayan a soltar y para que el cigüeñal no se valla a torcer.



28



29

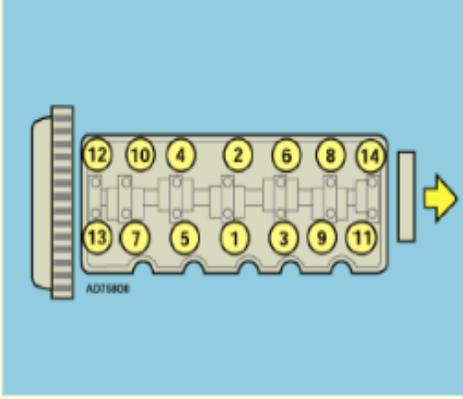
Fuente: El autor.

Foto 28 y 29. Proceso de montaje y ensamblaje de las tapas del cigüeñal.

Una vez instaladas las tapas del cigüeñal, se coloca nuevamente el Carter. A la culata no se le hizo ninguna clase de reparación debido a que ésta tuvo que ser reparada en una rectificadora de motores en donde le sustituyeron las válvulas de admisión y escape, le sustituyeron igualmente las guías de válvulas y le instalaron los sellos de válvulas, calibrándolas y entregándola armada para su ensamblaje.

Para montar la culata se engrasa muy bien la superficie del bloque, colocando el empaque y engrasando nuevamente las dos caras del empaque de culata; se procede entonces a instalar la culata sobre el bloque de motor, teniendo cuidado de no dañar las guías que están en el bloque del motor, mediante el empleo de una herramienta denominada “rache” acercamos los tornillos que sujetan la culata al bloque pero sin apretarlos; con un “torquimetro” se aprietan los tornillos como lo muestra la siguiente imagen:

Orden de apriete



Culata	
Etapa 1	Apretar: 30-35 Nm
Etapa 2	Apretar: Esperar 15 minutos
Etapa 3	Apretar: 60-65 Nm
Etapa 4	Apretar: Hagen funcionar el motor 25 minutos
Etapa 5	Apretar: 25°±5°

Figura 7. Instalación de la culata del motor.

Fuente: Imagen sacada de: <http://www.todoautos.com.pe/f9/torque-pernos-de-culata-bmw320-ano81-35889.html>

SECUENCIA BMW 6 CILINDROS LIBRAS PIE&GRADOS



2443cc Turbo Diésel [M21D24]12
válvulas **1985/86**

1er paso **22-29lbs pie**

2do
paso **50-
60lbs
pie**

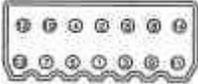
3er paso esperar 15 minutos

4to paso, **70-76lbs pie**

5to paso calentar el motor

6to paso, un adicional de **85-
95grados**

	2494cc SOHC [M20B25] 12 valvulas 1987/1993	Tornillos Hexagonales
		1er paso 29-33lbs pie
		2do paso esperar 20 minutos
		3do paso 43-47lbs pie
		4er caliente el motor
5to paso un adicional de 25-30grados		
Torx bolts		
2do paso , 90grados		
3er paso un adicional de, 90grados		

	2494cc DOHC [M54B25]24 valvulas 2001/2006	1er paso 29lbs pie
		2do paso 90grados
		3er paso un adicional de 90grados

	2494cc DOHC [M52B25]24 valvulas 1998/2000 [Cast Iron Block]	1er paso 22lbs pie
		2do paso 90grados
		3er paso un adicional de 90grados

	2494cc DOHC [M52B25]24 valvulas 1998/2000 [Aluminum Block]	1er paso 29lbs pie
		2do paso 90grados
		3er paso un adicional de 90grados

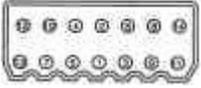
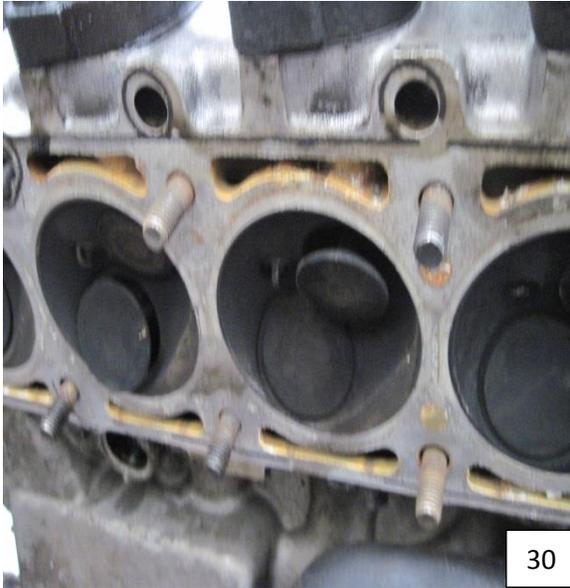
	2494cc DOHC [M50B25]24 valvulas 1991/95	<table border="1"> <tr><td>1er paso 24lbs pie</td></tr> <tr><td>2do paso 90-95grados</td></tr> <tr><td>3er paso un adicional de 90-95grados</td></tr> </table>	1er paso 24lbs pie	2do paso 90-95grados	3er paso un adicional de 90-95grados			
1er paso 24lbs pie								
2do paso 90-95grados								
3er paso un adicional de 90-95grados								
	1982/88:	<table border="1"> <tr><td>1er paso 29-33lbs pie</td></tr> <tr><td>2do paso, esperar 20 minutos</td></tr> <tr><td>3er paso 43-47lbs pie</td></tr> <tr><td>4to paso, calentar el motor</td></tr> <tr><td>5to paso un adicional de 25-30grados</td></tr> </table>	1er paso 29-33lbs pie	2do paso, esperar 20 minutos	3er paso 43-47lbs pie	4to paso, calentar el motor	5to paso un adicional de 25-30grados	
1er paso 29-33lbs pie								
2do paso, esperar 20 minutos								
3er paso 43-47lbs pie								
4to paso, calentar el motor								
5to paso un adicional de 25-30grados								
	2788cc SOHC [M30B28-128] 12valvulas 1979/81	<table border="1"> <tr><td>1er paso 25-32lbs pie</td></tr> <tr><td>2do paso 49-52lbs pie</td></tr> <tr><td>3er paso 56-59lbs pie</td></tr> <tr><td>4to paso , calentar el motor</td></tr> <tr><td>5to paso, repetir 56-59lbs pie</td></tr> <tr><td>y retorque después de 600 millas</td></tr> </table>	1er paso 25-32lbs pie	2do paso 49-52lbs pie	3er paso 56-59lbs pie	4to paso , calentar el motor	5to paso, repetir 56-59lbs pie	y retorque después de 600 millas
1er paso 25-32lbs pie								
2do paso 49-52lbs pie								
3er paso 56-59lbs pie								
4to paso , calentar el motor								
5to paso, repetir 56-59lbs pie								
y retorque después de 600 millas								

Figura 8. Secuencia de la Instalación Culata de Motor.

Fuente: Imagen sacada de: <http://www.automecanico.com/auto2009/bmw6cil1.html>

Cada uno de los tornillos se aprieta a un torque máximo de 60 libras, de manera gradual, primero a 20 libras, luego a 40 libras y finalmente a 60 libras, en el orden indicado en la figura anterior.

Posteriormente se instala la tapa de válvulas, con su empaque para evitar las fugas de lubricante en el sistema.



Fuente: El autor.

Foto 30. Fotografía de las válvulas de la culata, mostrando su estado óptimo.

Foto 31. Fotografía de los pistones debidamente montados en los cilindros del motor.

Por último, se coloca el filtro de aceite en el motor, se instala con su empaque la tapa del Carter y se llena el motor con aceite (5 cuartos); acto seguido se instala el sistema de encendido para poder prender el motor.



Fuente: El autor.

Foto 32. Fotografía del motor debidamente armado previo a su encendido.

Foto 33. Proceso de llenado de aceite a la caja del modelo didáctico.

Al motor, se le anexa mediante sus tronillos de sujeción, la caja de velocidades, debido a que la carcasa de la caja es la parte dispuesta para el montaje del motor de arranque eléctrico, que genera el impulso inicial al motor de combustión interna.

A esta caja de velocidades, se le agregó lubricante para transmisiones, como se muestra en la figura N° 41, a fin de lograr su correcto funcionamiento.

La caja de cambios automática, empleada en este modelo didáctico, no sufrió ningún tipo de intervención por parte nuestra dentro del presente proyecto, toda vez que al momento de adquirir el motor de combustión interna, esta caja de cambios venía anexa al motor y presentando un correcto estado de funcionamiento, razón por la cual tan solo fue separada del motor para la reparación del mismo y una vez se surtió su reparación, la caja de cambios se unió nuevamente con el motor mediante sus tornillos de sujeción, quedando en buen estado de funcionamiento.

2.2 BANCO DEL MOTOR

Materiales utilizados:

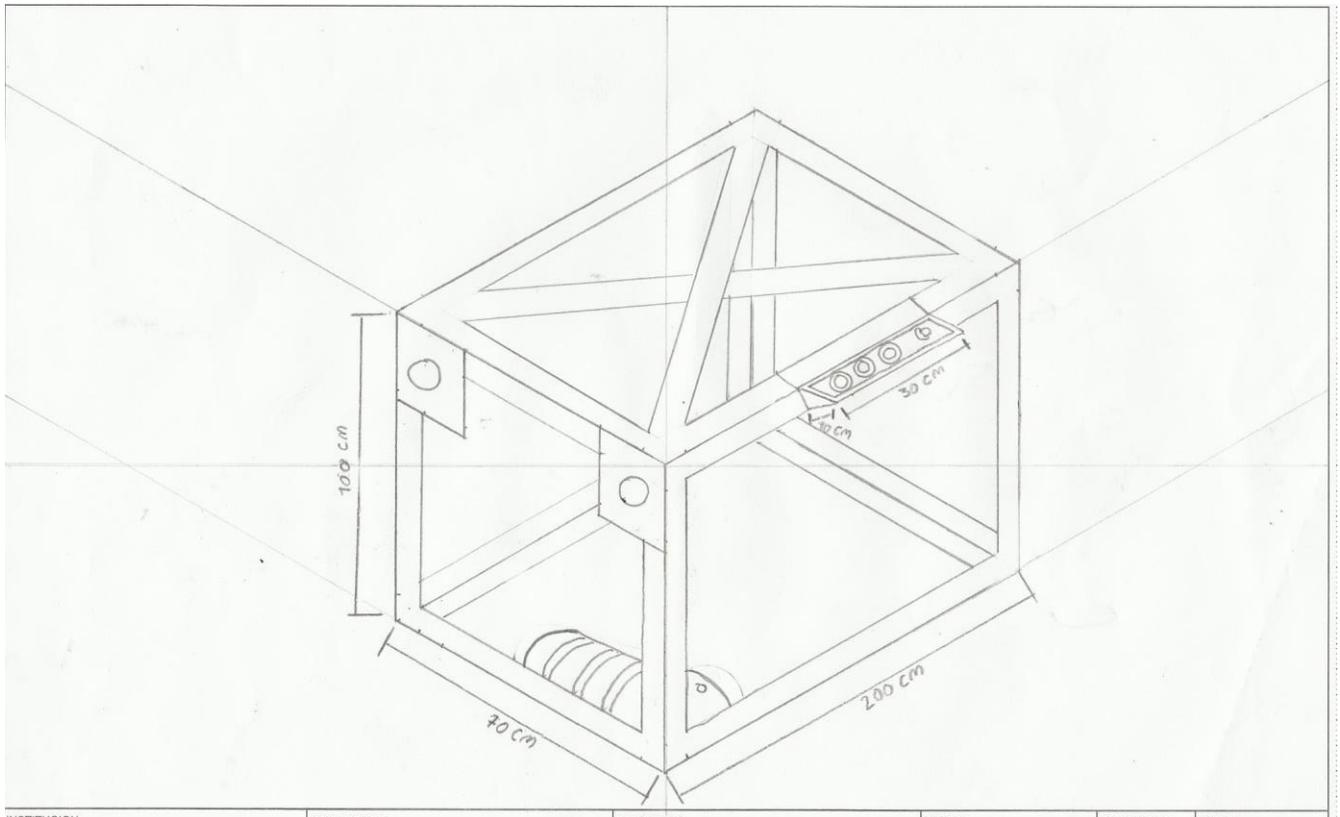
- * 8 Ángulos de acero de 1 x 1/2"
- * 16 Tornillos / 16 arandelas / 16 tuercas
- * 4 ruedas pequeñas
- * Un tanque de gasolina
- * 2 láminas de acero de 15 cm x 15 cm
- * 2 tiras de caucho

La extensión del banco es una estructura de forma rectangular que es construida para instalar en él los componentes del motor para conformar el montaje. La estructura hecha en acero con 4 ruedas le da un acceso más fácil a los estudiantes, para observar las dos caras del motor y la transmisión logrando de una manera organizada el aprendizaje en la clase; el banco es armado con piezas de acero y con ángulos que permiten darle estabilidad y evitar recargar el banco a un costado gracias a las tiras de acero en forma de "x", que ayudan a distribuir el peso en la base donde se unirán con tornillos, arandelas, tuercas en parte inferior de los ángulos del banco. En la mayor parte de la estructura existe un

reforzamiento con tiras de soldadura tipo MIG para terminar de proporcionar un refuerzo extra como medida de prevención, e igualmente cuenta en su costado izquierdo con dos láminas de 15 x 15 cms, que le sirven para su acoplamiento estructural de manera sólida unidas con soldadura MIG.

Adicionalmente, entre el banco y el motor existen dos bases de caucho que evitan que al encender el motor, la vibración que el mismo produce, pase a la estructura metálica. Utilizando un bloque de madera, se ha construido una pequeña base que está ubicada en la parte superior del banco donde se instala el tablero de instrumentos. Posteriormente y en la parte baja de la estructura metálica, se encuentra instalado un pequeño tanque de gasolina que esta acoplado en la parte delantera superior izquierda del banco para tener un fácil acceso a él.

El tanque esta asegurado al banco metálico; luego de montar los componentes del motor queda de una forma fácil el acceso a sus partes y con el mínimo de vibraciones lo cual ayuda en el momento que este puesto en marcha todo el sistema mecánico del modelo.



Fuente. El autor

Figura 9. Diseño del banco metálico que soporta el motor y sus accesorios.

Para el acoplamiento del motor y la transmisión automática al tren de potencia del modelo didáctico, se ha construido un segundo banco metálico de igual dimensión y características que el primero, en el cual se instala de manera fija la diferencial con sus ejes flotantes y ruedas, y el árbol de tracción o cardan en uno de sus extremos, mientras el otro extremo del citado cardan va unido a la salida o toma fuerza de la transmisión (caja de velocidades).

Los dos bancos metálicos se acoplan entre sí mediante tornillos con tuercas de seguridad, conformando una sólida estructura unificada.

Las medidas de cada uno de los bancos que conforman el modelo didáctico corresponden a 57cms de ancho; 81 cms de altura y 1,40 mts de longitud.

2.3 SISTEMA ELÉCTRICO DEL MODELO DIDACTICO

Materiales utilizados:

- Cable de color rojo calibre 12, 14 y 18
- Cable de color naranja calibre 14
- Cable de color café calibre 14
- Cable de color negro calibre 12
- Cable de color negro calibre 4
- Cable de color blanco calibre 18
- Cuatro metros de cable (en total)
- Dos terminales para batería (bornes)
- Funda para cableado
- Terminales eléctricas
- Cinta aislante de color negro

Elementos que lo componen:

- Testigos de tablero para indicar carga de batería y presión de aceite
- Pera para medir presión de aceite
- Interruptor (Switch) de ignición
- Alternador (generador) marca Bosch de 60 amp con regulador interno
- Bobina de encendido marca Bosch
- Motor de arranque marca Bosch
- Sistema de encendido electrónico (integrado) y distribuidor con magneto interno

El sistema eléctrico del modelo didáctico está compuesto por un arnés fabricado con los materiales anteriormente citados y ensamblados según lineamientos del plano eléctrico para constituir tanto el sistema de carga de batería como el sistema de encendido del motor.

Se inicia el sistema con el cableado que se conecta al alternador, se utiliza un metro de cable de color rojo, calibre 12 VDC, el cual está conectado entre el terminal positivo de la batería (acumulador) y el terminal de corriente del alternador (generador); previamente ya ha sido instalado el alternador (generador) a la estructura del modelo didáctico, encontrándose adherido de manera firme y en la polea del alternador (generador) ha sido instalada una correa que a su vez se instala sobre la polea del cigüeñal del motor, de manera tensa, a fin que cuando el motor gire esta correa gira también haciendo rotar el mecanismo interno del alternador (generador) que genera la corriente para cargar la batería (acumulador) y proveer los distintos accesorios del modelo didáctico.

Teniendo en cuenta que este alternador (generador) posee el regulador de manera interna, tan solo tiene una terminal (Nº 1), siendo así que esa terminal, es a su vez, uno de los extremos o puntos de contacto del regulador interno y la terminal Nº2 ya está conectada de manera interna a las escobillas del alternador (generador); en consecuencia la terminal Nº 1 se conecta al interruptor de ignición del modelo, en el punto "on" mediante otro cable de color rojo calibre 18, de igual manera y mediante otro cable de color rojo calibre 18, a este terminal se conecta el testigo de tablero a fin que cuando se dé giro a la llave de encendido pero no haya generación de corriente, el testigo alumbrará y dará señal de falla.

Adicionalmente, el alternador (generador) hará contacto con el polo negativo del circuito eléctrico, mediante su sujeción a la estructura del mismo, toda vez que del terminal negativo de la batería (acumulador) sale un cable de medio metro de longitud, de color negro y calibre 4 el cual se conecta con el banco del modelo didáctico, generando así la masa del sistema (polo a tierra).

Tanto el cable rojo del positivo a la batería (acumulador) como el negro al negativo de la misma, se conectan utilizando una sujeción de cobre o de plomo, cada uno y en su otro extremo se conectan utilizando una terminal de ojo en cobre debidamente soldada, en razón al amperaje que deben soportar estas dos conexiones por tratarse de puntos principales del sistema.

De otra parte, existe un motor de arranque eléctrico, que se encuentra instalado entre la "carcasa" de la caja de velocidades y el volante del motor de combustión interna y que se utiliza para generarle a este el movimiento inicial previo al encendido; este motor de arranque debidamente anclado, toma la carga negativa de su adhesión a la estructura (masa) y la carga positiva la toma mediante un metro de cable rojo calibre 12, el cual se conecta por una terminal cobrizada de ojo a uno de los terminales libres (Nº 90) del automático del arranque y del otro externo al terminal positivo de la batería (acumulador) mediante unión al cable ya existente que conecta con el alternador (generador).

Adicionalmente, del automático del arranque sale otro cable (terminal Nº 50) de medio metro de longitud, color rojo, calibre 18, el cual se conecta al interruptor de ignición en la función "started" (arranque), y que es el encargado de transmitir carga

positiva al automático para que cierre el circuito de arranque y permita el encendido del motor de arranque para generar mediante el “bendix”, el movimiento inicial del motor de combustión interna, previo a su encendido.

Desde el interruptor de encendido (posición on) sale un cable de color negro, en longitud de medio metro, calibre 12, al terminal positivo de la bobina de encendido, para energizarla al girar la llave de ignición, previo al “started” (arranconazo).

Teniendo en cuenta que este motor posee un sistema de encendido electrónico, se han tomado dos cables de medio metro de longitud cada uno, calibre 14, uno de color café y el otro de color naranja, los cuales y mediante terminales de cobre, se unen a dos salidas que tiene el distribuidor, el cual posee un sistema de magneto interior y aspas en el rotor que cada vez que gira sobre su eje, excita el magneto y produce pulsos de corriente al igual que la chispa que producen los platinos en un sistema tradicional.

Paralelamente se ha tomado un cable de color blanco, en medio metro de longitud, calibre 14 y se ha conectado mediante una terminal de ojo al polo negativo de la bobina de encendido y mediante dos cables de color negro de medio metro de longitud, calibre 14, se ha obtenido masa (polo a tierra) de la estructura del modelo didáctico, para así juntar seis cables con los cuales se ha fabricado un arnés que se conecta en sus externos libres a una pacha o terminal de seis pines y que a su vez se ensambla con un módulo electrónico de encendido marca Bosch para bmw 230, motor m20.

El módulo electrónico de encendido, recibe en los numerales 1 y 2 la carga negativa del sistema mediante la masa que le proveen los cables de color negro; en los numerales 5 y 6 recibe los pulsos de corriente provenientes del distribuidor mediante los cables de color naranja y café y en los numerales 3 y 4 recibe una carga de corriente proveniente de la bobina de encendido a través del cable negro y del cable blanco que están conectados al punto positivo y negativo de la bobina respectivamente.

Finalmente y con medio metro de cable color naranja, calibre 14, se conecta la pera de presión de aceite al testigo del panel de instrumentos, este cable transporta señal negativa y en el panel de instrumentos se conecta con un testigo que en extremo contrario posee señal positiva, siendo así que cuando la pera de aceite se encuentre vacía, es decir sin aceite en su interior, permite el paso de la señal negativa al testigo que alumbra generando alarma por no lubricación del motor.

Con cable de color negro, calibre 14, se realizan igualmente las conexiones de la pera de temperatura del motor a un testigo en el panel de instrumentos del modelo didáctico el cual nos indicara mediante luz, cuando la temperatura del motor supere el límite máximo de 90°.

3. RESEÑA HISTORICA DEL MOTOR BMW M10 Y M20



Fuente: El autor.

Figura 10. Motor BMW M20, 2000cc3, año de creación 1981.

Desde 1977, la marca de automóviles BMW incorporan en su vehículo deportivo identificado como E21, “motores montados longitudinalmente, de gran dureza y peculiarmente inclinados unos 20° a la derecha. Aunque resultan quisquillosos con el carburador, sobre todo los Pierburg 2B4 (sustituible por un Weber DGV 32/36) y 4A1 (sustituible por un cuádruple cuerpo de motores V6).

Motor M10:

Artículo principal: [BMW M10](#)

Diseñado por el Barón Alex Von Falkenhausen es el motor más usado por BMW en los años 60, 70 y 80 con una producción que se prolongó veinticinco años (1962-1987). Al introducir el E21 recibieron nuevos dispositivos de encendido/alimentación y pequeños retoques de diseño, mejorando la relación potencia/consumo.

Este motor no es excesivamente deportivo, pero a cambio, soporta los tratos más duros, por lo que era ideal para el uso diario. Cuenta con un bloque de cuatro cilindros en línea y ocho válvulas con árbol de levas movido por cadena. Se fabricó con cilindradas desde 1400 a 2000. En el E21 se equipó con un margen de potencia que iba desde 75 CV (E21 315) hasta 125 CV (E21 320i). Mientras que entre 1962 y los primeros años del E21 este motor vivió un esplendor dorado, a partir de 1978 comienza su ocaso relegándolo a los modelos más económicos de

la gama, sin embargo, duraría diez años más en producción hasta ser definitivamente sustituido por los modernos M40 y M42.

Motor M20:

Artículo principal: [BMW M20](#)

Seis cilindros en línea con 12 válvulas por correa (menos robusto que el M10), desde 2000 cm³ hasta 2700 cm³. Estuvo en producción durante dieciocho años (1976-1994) y junto con el M10 y el M30 son los padres de la motorización moderna en BMW.

Cuando se adaptó el M10 para diseñar el 320i (4 cilindros, 125 CV) se vio que era muy difícil llevar más allá el M10 manteniendo una durabilidad y consumo razonables, por lo que se necesitaba una mecánica superior. El M10 estaba planeado para alcanzar los 2.000 cm³ (normalmente aceptado como límite comercial para los motores de cuatro cilindros). Como en la época no había tecnología para hacer un motor de cuatro cilindros más potente manteniendo la cilindrada y la fiabilidad optaron por una mecánica de seis cilindros porque les permitía alcanzar cilindradas y rendimientos más elevados. Se disponía de un seis en línea que montaban las series superiores (Series 5, 6 y 7), el M30, sin embargo este motor es demasiado grande y pesado para mantener la estabilidad en el sencillo y ligero chasis de un E21, por lo que se necesitaba crear un motor nuevo. El objetivo era diseñar un "6 en línea" ligero y compacto, que fuese perfectamente compatible, en peso y dimensiones, con el chasis y el espacio del E21 y además capaz de ofrecer al cliente modelos con más de 125 CV.

El proyecto fue un éxito siendo el 320/6 el segundo E21 más vendido por detrás del 316. Aunque este motor se introdujo en la Serie 3 en 1977, se desarrolló plenamente durante la era E30 a partir de 1983. El éxito fue tan rotundo que convirtió esta arquitectura en la más deseada en un Serie 3.

Las dos generaciones de E21, antes y después de la introducción del M20:

La primera con los 316/1, 318, 320 y 320i, solamente con motores M10.

La segunda con los 315, 316/2, 318i, 320/6, 323i, aparte del M10 con motores M20.

Sistemas de alimentación

Carburador:

Primera generación, Solex 32/32 DIDTA: 316/1, 318 y 320.

Segunda generación: Pierburg 1B2, 315; Pierburg 2B4, 316/2; Solex 4A1, 320/6.

Inyección:

Bosch K-Jetronic para los 320i y 323i.

Bosch Jetronic para los 318i y 320i/2(solo USA).

Bosch K-Jetronic para los 320i/4cilindros (USA).”

Fuente:  Wikimedia Commons alberga contenido multimedia sobre BMW E21

3.1. FICHA TÉCNICA MOTOR M20 BMW

Tabla Nº 1

Modelos					
Motor	Capacidad	Potencia	Par	Línea roja	Año
M20B20	2.0 L (1990 cc/121 in ³)	92 kW (123 hp) @ 5800	165 N·m (121 ft·lbf) @ 4000		1981
		92 kW (123 hp) @ 5800	170 N·m (125 ft·lbf) @ 4000		1981
		95 kW (129 hp) @ 6000	174 N·m (128 ft·lbf) @ 4000	6200	1985
		95 kW (129 hp) @ 6000	164 N·m (120 ft·lbf) @ 4300	6200	1986
M20B23	2.3 L (2316 cc/141 in ³)	102 kW (143 hp) @ 5300	205 N·m (151 ft·lbf) @ 4000	6500	1982
		110 kW (139- 150 hp) @ 6000	205 N·m (151 ft·lbf) @	6500	1983

			4000		
M20B25	2.5 L (2494 cc/152 in ³)	126 kW (168 hp) @ 5800	226 N·m (166 ft·lbf) @ 4000	6700	1985
		120 kW (170 hp) @ 5800	215 N·m (158 ft·lbf) @ 4000	6700	1985
		125 kW (168 hp) @ 5800	222 N·m (163 ft·lbf) @ 4300	6700	1987
M20B27	2.7 L (2693 cc/164 in ³)	92 kW (121 hp) @ 4250	240 N·m (177 ft·lbf) @ 3250	4500	1983
		95 kW (127 hp) @ 4250	240 N·m (177 ft·lbf) @ 3250	4500	1986
		90 kW (120 hp) @ 4250	230 N·m (169 ft·lbf) @ 3250	4500	1985
		95 kW (127 hp) @ 4800	230 N·m (169 ft·lbf) @ 3200	4500	1986

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/BMW_M20

4. SISTEMA DE ENCENDIDO ELECTRÓNICO

A continuación veremos en que consiste el sistema de encendido electrónico de un motor de combustión interna, cuales son los elementos que lo conforman y cuál es su funcionamiento (Ver Anexo Manual de fabricación):

- **Bobina (de alta)**

Es un multiplicador de voltaje que asume los 12 voltios de corriente continua que genera la batería y los convierte en un alto voltaje de aproximadamente 9.000 voltios, para el caso del motor M20 de bmw, que al llegar a la bujía salta y produce la chispa.

Al interior de la bobina se encuentran dos (2) arrollamientos independientes; denominados de baja o primario y de alta o secundario, instalados sobre un núcleo de hierro y sumergidos en aceite refrigerante, cubiertos herméticamente por una carcasa metálica, generalmente cilíndrica.

Por el arrollamiento de baja o primario ingresa la corriente de bajo voltaje que proviene de la batería (12 voltios), que al ser interrumpida, induce un alto voltaje en el secundario, el cual es destinado finalmente a la bujía.

Existen también bobinas secas, es decir que carecen del aceite refrigerante interno y que controlan la temperatura que se genera en su interior mediante una placa aislante rígida (baquelita) que hace la función de disipador de calor.

El principio básico mediante el cual opera la bobina es el magnetismo, es decir es el salto de electrones entre el arrollamiento primario al arrollamiento secundario, pero que en virtud de un mayor calibre y un mayor número de espirales existentes en el arrollamiento secundario da lugar a más alta liberación de electrones y por consiguiente mayor voltaje de salida.

La bobina genera un salto de corriente intermitente, debidamente multiplicada, con destino al centro de la escobilla del distribuidor, en virtud de los distintos pulsos que le envía el modulo electrónico de encendido, los que cierran y abren el sistema a fin de que exista la chispa y el salto de la misma de manera armónica y controlada.

“Dentro de una bobina, el flujo magnético es variable en el tiempo, se genera en cada espira, según la Ley de Faraday, una *fuera electromotriz (f.e.m.)* de autoinducción que, según la Ley de Lenz, tiende a oponerse a la causa que la

produce, es decir, a la variación de la corriente eléctrica que genera dicho flujo magnético. Por esta razón suele llamarse *fuerza contra electromotriz*; la bobina almacena energía eléctrica en forma de campo magnético cuando aumenta la intensidad de corriente, devolviéndola cuando ésta disminuye. Matemáticamente se puede *demostrar* (Fig. 5.3.6) que la energía \mathcal{U} , almacenada por una bobina con inductancia L , que es recorrida por una corriente de intensidad I , viene dada por:

$$\mathcal{U} = \frac{1}{2}LI^2$$

• Distribuidor

Se conoce también como TIMER, se trata de un elemento mecánico que se encarga de distribuir la corriente que genera la bobina de encendido a cada una de las bujías del motor de combustión interna, en un orden de encendido determinado a fin de que cada salto de la chispa genere una explosión dentro del cilindro del motor, provocando el fuerte descenso del pistón dentro del cilindro y transmitiendo esa fuerza al cigüeñal en energía rotacional.

El distribuidor básicamente está compuesto por una carcasa de metal (aluminio) con la forma de un vaso, que en su interior y debidamente balanceado sobre rodamientos, contiene un eje centrado que rota sobre sí mismo, el cual en su extremo inferior sobresale de la carcasa con un piñón que se instala paralelo y engranado a la bomba de aceite del motor, girando mediante el impulso del cigüeñal del motor pero con las mismas relaciones con las que gira el árbol de levas del motor (2:1); el citado eje del distribuidor en su extremo superior porta una escobilla de cobre que se encarga de recibir el flujo de corriente que emana la bobina mediante la tapa del distribuidor por un conducto centrado y en función de su rotación ir transmitiendo ese flujo de corriente hacia cada uno de los conductos que se conectan a cada una de las bujías del motor.

En el caso del distribuidor electrónico del motor M20 de bmw, este cuenta en su interior con un elemento magnético estático que es excitado por una serie de aspas metálicas colocadas sobre el eje de rotación del distribuidor, las cuales al girar alrededor del magneto hacen posible que este emita pulsos de corriente que salen del distribuidor hacia el módulo de encendido electrónico y que finalmente son canalizados por el módulo hacia la bobina para la generación de la chispa.

En la parte superior del distribuidor se ubica una tapa, que para nuestro caso es de material plástico aislado, con seis conductos en su periferia, los cuales poseen un contacto metálico hacia el interior de la tapa para que cuando la escobilla rote en el interior del distribuidor, logre contactarlos transmitiendo a través de ellos la corriente, y un conducto central que igualmente cruza la tapa pero que en su parte interior posee un carboncillo a fin de que este siempre este en contacto con el

¹Fuente:<http://pwp.etb.net.co/sansan/Santos%20y%20Santos%20Ltda/Instalaciones%20de%20Alta>

centro de la escobilla sin obstruir su rotación, permitiendo el paso de corriente entre ambos elementos de manera continua.

El paso de las aspas alrededor del magneto generan una señal de corriente tipo hall, es decir una señal cuadrada que culmina en la emisión intermitente de un pulso eléctrico, el cual es conducida por cableado hacia el módulo de encendido electrónico y que le sirve a este para calcular correctamente los tiempos del motor.

Nuestro distribuidor además cuenta con una cámara de presión la cual en su interior posee un diafragma de caucho y que por efecto de vacío que le imprime una manguera conectada al múltiple de admisión del motor, le permite variar el orden de generación de la chispa de encendido del motor, siendo así que en razón a las condiciones atmosféricas en las que esté operando el motor, permitiendo adelantar o atrasar el tiempo de generación de la chispa según conveniencia de la explosión.

- **Condensador**

Es un elemento eléctrico encargado de controlar los excesos o picos de voltaje que se presenten en el circuito de alto voltaje, así como de eliminar o regular corrientes parasitas del sistema que se generan por estática o por subidas y caídas de tensión, que pueden averiar los ruptores y afectar su correcto funcionamiento, impidiendo el salto de la chispa y el paro del motor. El condensador regula la onda de corriente generada por la bobina.

- **Resistencia**

De igual manera que sucede con el condensador, algunas bobinas contienen resistencia interna pero otras requieren de la instalación de resistencia externa que regula tanto el voltaje que ingresa a la bobina como el amperaje que la alimenta, debido a que excesos de voltaje o de amperaje, dan lugar a los sobrecalentamientos de la bobina y su eventual deterioro.

- **Bujía**

Es un elemento eléctrico del motor de combustión interna, extraíble e intercambiable cuya función principal es la de generar la chispa de ignición dentro de cada uno de los cilindros del motor; realmente la bujía recibe un pulso eléctrico que proviene de las bobinas de encendido y que viaja a través de la instalación de alta, el cual se genera en un tiempo determinado para producir la combustión de la mezcla al interior de cada cilindro del motor cuando el pistón se encuentra en TMS, siendo así que la bujía recibe ese pulso eléctrico y lo multiplica hacia el interior del cilindro generando la chispa necesaria para encender la mezcla en estado de compresión.

“La bujía básicamente se encuentra formada en un cuerpo de acero hueco roscado exteriormente en el extremo inferior y provisto de un hexágono de apriete, se coloca un aislador de cerámica (porcelana) que ocupa todo el interior y se prolonga hacia arriba cubriendo un núcleo conductor que va desde una terminal de conexión para el cable del distribuidor (arriba) hasta un pequeño conductor

inferior nombrado como electrodo central hecho de un material resistente a la corrosión (aleaciones de níquel) capaz de soportar las inclemencias del ambiente. (Ver figura 8 y 9)

El aislador de cerámica es monolítico, y se coloca dentro del cuerpo de acero, asentando sobre una junta refractaria en el apoyo inferior en el cambio de sección. A la parte roscada. Este aislador cubre todo el electrodo central, incluyendo el Incierto anticorrosivo final, del cual solo sobresale una pequeña porción. Entre esta porción sobresaliente y el electrodo de tierra soldado al cuerpo de acero y construido también de material resistente al ambiente de trabajo, salta a chispa de Ignición del combustible en la cámara de combustión (Ver figura 8).

En la figura número ocho se observa el parangón entre una bujía convencional y una bujía con resistencias internas; las hay de varias clases, dependiendo de las Necesidades, características y de las prestaciones de cada motor y sobre todo del Ambiente climático y atmosférico en que ha de desempeñarse.

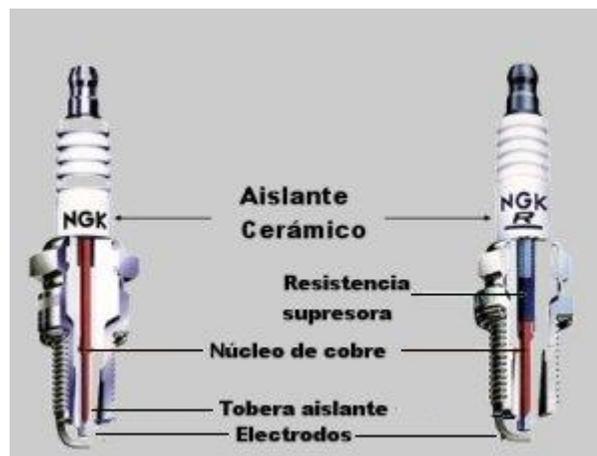
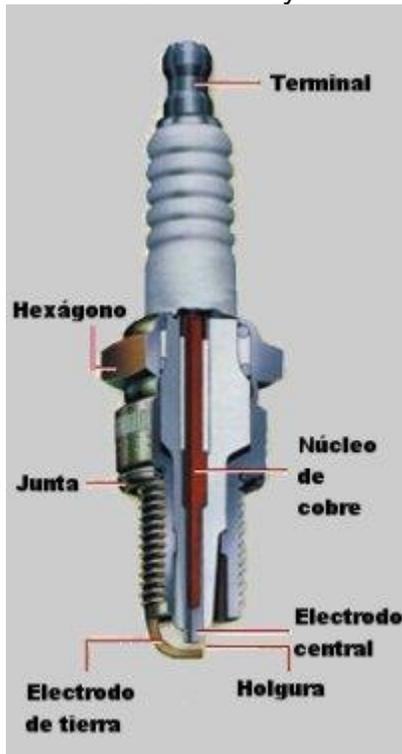


Figura 11. Bujía de encendido.

Figura 12. Bujía de encendido con y sin resistencia.

Fuente: <http://co.images.search.yahoo.com/>

- **Instalación de alta**

En un vehículo, la instalación de alta está compuesta por una serie de cables que provienen desde la bobina de encendido del motor hasta cada una de las bujías instaladas en cada cilindro del motor, de manera ordenada de conformidad a la repartición de encendido que corresponda al motor en particular a fin de trasladar el pulso de corriente que genera la bobina para el encendido del motor, hasta cada una de las bujías que se encuentran instaladas en cada cilindro del motor; Esta instalación transporta corriente continua superior a una tensión de 1500 voltios, razón por la cual se considera instalación de alta.

La instalación de alta puede estar fabricada en cable de cobre recubierta por aislante de caucho, o puede estar construida por fibra óptica de nylon igualmente recubierta por aislante de caucho y en cada uno de sus extremos posee un conector o terminal en material de cobre que permite una mejor transferencia de la corriente; adicionalmente cada una de las terminales de la instalación a su vez cuentan con un capuchón de caucho que permite su aislamientos y previene la pérdida de corriente que la atraviesa.



Figura 13. Instalación de Alta para Motor.

Fuente: <http://co.images.search.yahoo.com/>

4.1 PLANOS DE LOS DISTINTOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DEL MODELO DIDACTICO

- **PLANO DEL SISTEMA DE ARRANQUE**

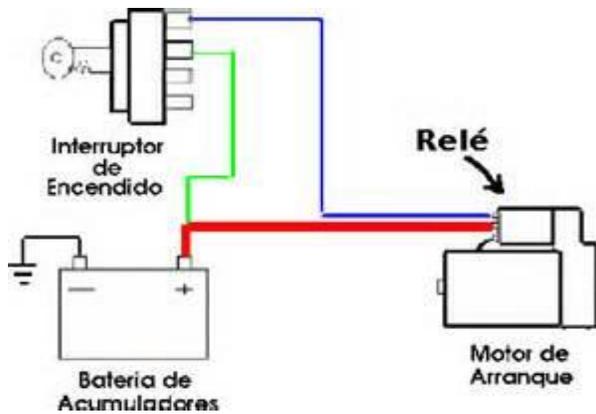


Figura 14. Plano del sistema de arranque

Fuente: <http://co.images.search.yahoo.com/>

- **PLANO DEL SISTEMA DE ALTERNADOR**

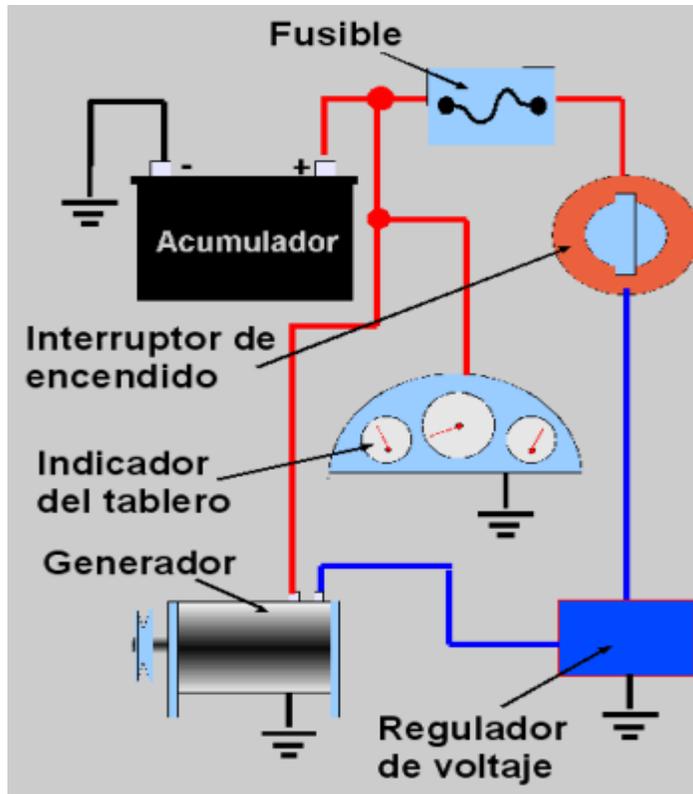
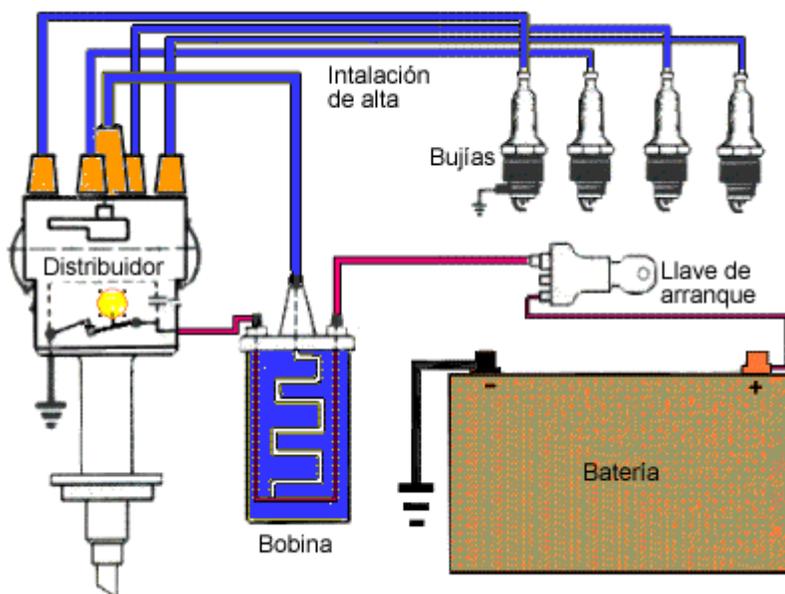


Figura 15. Plano del sistema de alternador

Fuente: <http://co.images.search.yahoo.com/>

• **PLANO DEL SISTEMA DE ENCENDIDO**



• Figura 16. plano del sistema de encendido

- Fuente: <http://co.images.search.yahoo.com/>

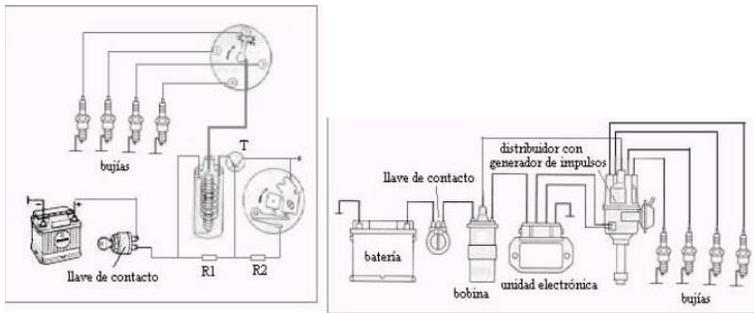


Figura 17. Plano del sistema de encendido electrónico

Fuente: <http://co.images.search.yahoo.com/>

5. TREN DE POTENCIA

La energía que desarrolla el motor el movimiento no es suficiente para generar la marcha o desplazamiento del vehículo automotor por si sola, máxime si se tiene en cuenta que esa energía es limitada, siendo entonces necesario que el vehículo automotor cuente con un tren de potencia encargado de transmitir esa energía a las ruedas de tracción del vehículo y además convertir la potencia del motor en distintas marchas o velocidades según se requieran en razón a necesidades de fuerza, velocidad o marcha hacia adelante o hacia atrás.

En el tren de potencia juegan un papel fundamental cinco elementos a saber:

- La caja de velocidades (transmisión)
- El cardan o árbol de tracción
- La diferencial (corona y speed)
- Los ejes de tracción
- Las ruedas o llantas.

5.1 TRANSMISIÓN AUTOMÁTICA

La caja de velocidades es un mecanismo compuesto básicamente por un eje de entrada de potencia, denominado toma fuerza, y que en efecto es un eje rígido, dentado, el cual se encarga de recibir la potencia rotacional que emana del motor del vehículo y que a su vez es transmitida a un plato dentado denominado volante del motor, el cual tiene la función de equilibrar la potencia que genera el motor del vehículo a través del cigüeñal; esa misma potencia que ahora se encuentra siendo transmitida mediante el volante, es enviada a un sistema de embrague ya sea mecánico o automático (par de torsión), mismo que dirige la fuerza o potencia en cita al toma fuerza.

El sistema de embrague automático, se denomina par de torsión y su funcionamiento se basa en el principio de dos fuerzas, en este caso hidráulicas, que se transmiten mediante la impulsión que ejerce un cuerpo de aspas frente a otro, siendo el primero impulsado por una fuerza externa que en este caso proviene del motor del vehículo y el segundo recibiendo esa fuerza y desviándola hacia la caja de cambios del automotor.

El mejor ejemplo de este funcionamiento se basa en el efecto físico que presentan dos ventiladores enfrentados, siendo así que al iniciar a girar el primero de ellos, emana una fuerza de aire que necesariamente impulsa en sentido contrario al otro ventilador.

En nuestro caso, los dos cuerpos de aspas que componen el convertidor o par de torsión, se impulsan por efecto del empuje que genera un aceite hidráulico entre ellas, el cual circula a través de unos alabes que posee cada uno de los cuerpos de aspas y que es enviado con fuerza suficiente al interior del convertidor por una bomba hidráulica que trabaja como una turbina, la cual gira a distintas revoluciones según sea la potencia que sobre este cuerpo ejerce el motor del vehículo en razón a la aceleración que se le propina.

Una de las coronas que componen el convertidor, está sujeta al volante del motor y la otra está sujeta al toma fuerza de la caja de velocidades, entonces cuando la potencia del motor es alta la corona que se une a él, logra impulsar con tal fuerza

a la contraria, transmitiendo toda esa potencia de manera gradual y ascendente a la caja de velocidades.

Una vez ingresa la energía rotacional a la caja mediante su eje de entrada, es enviada a un tren epicicloidal, siendo nuestro caso el de una caja de cambios automática, el cual a su vez se compone de un piñón cónico de entrada denominado planetario, unos piñones cónicos más pequeños (tres) denominados satélites, que giran alrededor del planetario, unidos mediante el porta satélites y una corona (dentada) que abraza la unión del planetario y los satélites y que tiene como función regular las distintas marchas del conjunto dependiendo en cada caso la manera en que se articula el movimiento de los elementos que integran el tren epicicloidal, debido a que en distintas ocasiones y según se requiera transmitir fuerza o velocidad, uno de los tres elementos será el destinatario de ingresar la potencia al sistema, otro será un punto fijo y un tercero de los elementos citados se encargara de sacar la potencia del sistema.

“Estos tres componentes (planeta, satélites y corona) del tren epicicloidal pueden moverse libremente sin transmitir movimiento alguno, pero si se bloquea uno de los componentes, los restantes pueden girar, transmitiéndose el movimiento con la relación de transmisión resultante según la relación existente entre sus piñones. Si se bloquean dos de los componentes, el conjunto queda bloqueado, moviéndose todo el sistema a la velocidad de rotación recibida por el motor.

Las relaciones que se pueden obtener en un tren epicicloidal dependen de si ante una entrada o giro de uno de sus elementos existe otro que haga de reacción. En función de la elección del elemento que hace de entrada o que hace de reacción se obtienen cuatro relaciones distintas que se pueden identificar con tres posibles marchas y una marcha invertida. El funcionamiento de un tren epicicloidal es el siguiente:

1ª relación: si el movimiento entra por el planetario y se frena la corona, los satélites se ven arrastrados por su engrane con el planetario rodando por el interior de la corona fija. Esto produce el movimiento del porta satélites. El resultado es una desmultiplicación del giro de forma que el porta satélites se mueve de forma mucho más lenta que el planetario o entrada.

2ª relación: si el movimiento entra por la corona y se frena el planetario, los satélites se ven arrastrados rodando sobre el planetario por el movimiento de la

corona. El efecto es el movimiento del porta satélites con una desmultiplicación menor que en el caso anterior.

3ª relación: si el movimiento entra por el planetario y, la corona o el porta satélites se hace solidario en su movimiento al planetario mediante un embrague entonces todo el conjunto gira simultáneamente produciéndose una transmisión directa girando todo el conjunto a la misma velocidad que el motor.

4ª relación: si el movimiento entra por el planetario y se frena el porta satélites, se provoca el giro de los planetarios sobre su propio eje y a su vez estos producen el movimiento de la corona en sentido contrario, invirtiéndose el sentido de giro y produciéndose una desmultiplicación grande

Relación	Corona	Planeta	Porta satélites	Desmultiplicación
1ª	Fija	Salida de fuerza	Impulsión	Grande
2ª	Salida de fuerza	Fijo	Impulsión	Menor
3ª	Fija	Fijo	Salida de fuerza	Sin desmultiplicación
4ª	Impulsión	Salida de fuerza	Fijo	Inversión de giro

Figura 18. Relaciones de la Transmisión Automática.

Fuente: El autor

Invirtiéndose la entrada y la salida en las relaciones de desmultiplicación se obtendrían relaciones de multiplicación.

Estas relaciones se podrían identificar con las típicas marchas de un cambio manual, sin embargo se necesitarían para ello distintos árboles motrices por lo que en la aplicación de un tren epicicloidal a un automóvil las posibilidades se reducen a dos marchas hacia delante y una hacia atrás. La entrada del par motor se realizaría por el planetario y la salida por el porta satélites o la corona. La primera

relación descrita y la tercera serían la 1ª marcha y la directa respectivamente y la cuarta relación sería la marcha atrás.

Para poder combinar tres o más velocidades se usan habitualmente combinaciones de engranajes epicicloides. Las cajas de cambio automáticas utilizan combinaciones de dos o tres trenes epicicloidaiales que proporcionan tres o cuatro relaciones hacia adelante y una hacia detrás.”

Fuente: <http://www.espacio-automotor.com/2010/06/cajas-de-cambio-automaticas.html>

Para poder seleccionar la opción de marcha de la caja de velocidades, esta cuenta con un control mecánico de selección, el cual básicamente y mediante cintas de freno, inmoviliza cada uno de los elementos del tren epicicloide para lograr elegir entre la opción neutral, drive o reversa.

Ahora bien, cuando se ha elegido el avance de la caja de cambios, es decir que mecánicamente se ha seleccionado drive, el vehículo inicia su movimiento en primera marcha y va ascendiendo o descendiendo marchas en razón a la presión que ejerce el giro del motor sobre la caja de velocidades, así como la resistencia que experimenta el vehículo en el terreno sobre el que rueda o de la acción de frenado al que sea sometido y ese cambio de marchas internas en la caja de cambios se da en razón a la aplicación de distintos frenos sobre cada uno de los elementos que componen el tren epicicloidal, de manera alterna, accionados por servos que responden al funcionamiento de electroválvulas ubicadas en cerebro del sistema y que a su vez se accionan por efecto de las distintas presiones que ejerza el líquido hidráulico que fluye al interior de la caja de cambios y que es resultado de las distintas aceleraciones que sobre todo el mecanismo de tracción automática efectúe el motor del vehículo.

En este modelo didáctico, la caja de velocidades consta de tres marchas adelante y una marcha atrás; por lo general las cajas automáticas siempre poseen un cambio o marcha menos que las cajas de cambio mecánicas de igual relación, es decir que para un motor de 2000 cm³, se utiliza una caja de cambios mecánica de cuatro (4) marchas manuales adelante o una caja de cambios automática de tres (3) marchas adelante, generando el mismo resultado de potencia en la transmisión del vehículo.



Figura 19: Tren Epiciloidal, 1 Satélites, 2 Corona 3 Planeta.
Fuente. El autor.

A fin de determinar la relación de potencia y la velocidad de giro que arroja la transmisión automática del modelo didáctico, en razón al torque o potencia que recibe del motor, esta se determina por medio del conteo del número de dientes que posee cada uno de los engranajes y con aplicación de la fórmula de relación de transmisión. De esta forma obtendremos la relación de rotación de entrada del engranaje que queremos saber, con respecto a la relación de rotación del engranaje de salida.

5.2 TRACCIÓN

En cuanto al cardan o árbol de tracción, se trata de un elemento metálico, de forma cilíndrica, sellado y compacto con diámetro aproximado de 10cms y longitud de un (1) metro, que en uno de sus extremos cuenta con un acople de tres ojos, el cual se conecta mediante tornillos al eje de salida de la caja de cambios y en su otro extremo cuenta con una cruceta ecualizadora que se conecta igualmente mediante tornillos al eje de salida de la transmisión (speed), y su función es la de llevar la potencia que arroja la caja de cambios, a la diferencial del vehículo, que a su vez consiste en dos piñones dentados, uno la corona y otro el speed, los cuales convierten o rotan la potencia que viene de la caja de cambios y la transfieren a cada uno de los ejes que a su vez conectan con las ruedas de tracción del vehículo.

La rotación que arroja la caja de cambios del vehículo es de izquierda a derecha cuando la marcha seleccionada tiene como fin impulsar el vehículo hacia adelante; entonces ese movimiento se desplaza mediante el cardan y llega a la diferencial que además de multiplicar la fuerza proveniente de la caja de cambios (transmisión), la convierte en movimiento de atrás hacia adelante para lograr el avance del vehículo.

La mayor particularidad de la diferencia es que permite en razón a su configuración de planetarios, que cuando el vehículo gire, una de las ruedas traseras gire en menor radio o menor distancia respecto de la otra, dando estabilidad al vehículo.

La diferencia tiene engranajes dispuestos en forma de “u” en el eje central, entonces cuando el vehículo se desplaza en línea recta el sistema se encuentra en neutro, pero al girar hacia un lado o al otro, los engranajes se desplazan permitiendo que una de las ruedas tenga menos recorrido respecto de la otra.

Finalmente la diferencial también tiene la función de repartir la fuerza de tracción a cada rueda hasta el límite de doblar el porcentaje de tracción en la rueda con menor recorrido respecto de la otra, razón por la cual algunas diferenciales tienen un sistema autoblocante que evita que se otorgue el 100% de potencia a una rueda y el 0% a la otra.

En el alojamiento de la diferencial, se insertan cada uno de los ejes traseros del vehículo, que para este caso se trata de ejes flotantes los cuales poseen una cruceta cada uno de ellos para permitir su ecualización y evitar la pérdida de contacto con el suelo en todo momento con independencia de la forma del terreno, pero que en otros vehículos se insertan dentro de un túnel anexo al diferencia y que se denomina el “hausin”.

Estos ejes poseen puntas homocinéticas con “trizetas”, que en un extremo se insertan en la cavidad del diferencial y en el otro extremo se insertan en los rodamientos o bocines de las ruedas, a donde finalmente llega la potencia del

sistema para ser entregada toda esa potencia a la rueda que pondrá en movimiento el vehículo.

Para BMW e21 del año 1981, se utilizaron por el fabricante tres tipos de diferenciales, que armonizaban con las cajas de cambios automática de tres (3) cambios, mecánica de cuatro (4) cambios y mecánica de cinco (5) cambios, siendo las relaciones utilizadas las siguientes: 3.45:1, 3.64:1 y 3.91:1, siendo esta la relación final del eje (corona y speed).

6. PRESUPUESTO PARA EL PROYECTO

Tabla 2. Evaluación Económica del Proyecto

Presupuesto Del Proyecto

Descripción general de componente.	Valor unitario	Repuestos para reparación	Cantidad	Valor Repuestos	Valor Total				Total
motor	\$600000		1		600.000				
		Kit Anillos de pistones	1	\$200.000	200.000				
		Lubricantes por	1	\$50.000	50.000				

		galón						
		Empaquetadura, retenedores	2	\$100.00	\$200.000			
		Refrigerante galón	1	\$50.00	50.0000			
		Siliconas	1	\$10.00	10.000			
		Tornillería		\$20.00	20.000			\$1130.000
Caja de cambios	\$400000				400.000			
		Lubricantes	1 galón	\$50.00	50.000			\$450.000
Cardan	\$200000				200.000			\$200.000
		Ángulos	4	\$50.00	\$200.000			
		Soldadura - barra	4	\$10.00	\$40.000			\$240.000
Diferencial	\$200000		1		200.000			
Ejes traseros	\$300000		2		600.000			\$800.000
Radiador	\$75000		1		75.000			\$75.000
Componentes eléctricos	\$100000				100.000			\$100.000
Detalle estético	\$75000				75.000			
		Pintura	1 galón	\$50.00				
		Lija	2	\$5.000				
		Sellador	¼ galón	\$20.00				\$75.000
Mano de obra	\$1500000							\$1.500.000
Tiempo empleado	\$1500000							\$1.500.000
Impresión	\$20.0							\$20.000

anteproyecto	00								
Carpeta de presentación	\$5.000		1						\$5.000
Valor Total del Proyecto	\$6.095.000								\$6.095.000

Tabla 3. Gastos anteproyecto

GASTOS ANTEPROYECTO	VALOR
Impresión de anteproyecto	\$ 40.000
Carpeta de presentación	\$ 10.000
Impresión Documento de tesis	\$70.000
Anillado	\$15.000
Total	\$135.000

Tabla 4. Materiales y gastos

Presupuesto del proyecto	\$ 6.095.000
Gastos anteproyecto	\$ 135.000
Total	\$ 6.230.000

Tabla 5. Gastos Del Proyecto

Descripción general de componente.	Valor unitario	Repuestos para reparar	Cantidad	Valor Repuestos	Valor Total				Total
------------------------------------	----------------	------------------------	----------	-----------------	-------------	--	--	--	-------

		ción						
motor	\$6000 00		1		600.000			
		Kit Anillos de pistones	1	\$200.0 00	200.000			
		Kit de casquetes	1	\$200.0 00	200.000			
		Lubricantes por galón	1	\$50.0 0	50.000			
		Empaquetadura, retenedores	2	\$150.0 00	\$200.000			
		Refrigerante galón	1	\$50.0 0	50.000			
		Siliconas	1	\$10.0 0	10.000			
		Soporte de motor	1	\$14.0 0	14.000			
		Instalación de alta	1	\$20.0 0	20.000			
		Transporte de motor		\$15.0 0	15.000			
		Gasolina	1	\$30.0 0	30.000			
		Tornillería		\$20.0 0	20.000			\$1.409.000
Caja de cambios	\$5000 00		1		500.000			
		Lubricantes	1 galón	\$50.0 0	50.000			\$550.000
Cardan	\$2000 00				200.000			\$200.000
		Ángulo	4	\$50.0	\$200.000			

		s		0				
		Ruedas para el banco	8	\$7.500	\$60.000			
		Soldadura - barra	4	\$10.000	\$40.000			\$300.000
Diferencial	\$200000		1		200.000			
Ejes traseros	\$300000		2		600.000			\$800.000
Radiador	\$75000		1		75.000			\$75.000
Componentes eléctricos	\$100000				100.000			\$100.000
Detalle estético	\$100000				100.000			
		Pintura	1 galón	\$70.000				
		Lija	2	\$5.000				
		Sellador	¼ galón	\$25.000				\$100.000
Mano de obra	\$1500000							\$1.500.000
Tiempo empleado	\$1500000							\$1.500.000
Impresión anteproyecto	\$35.000		1		\$35.000			\$35.000
Carpeta de presentación	\$5.000		1		\$5.000			\$5.000
Impresión documento de tesis	\$70.000		1		\$70.000			\$70.000
Anillado del trabajo	\$15.000		1		\$15.000			\$15.000
Valor Total del Proyecto	\$6609.000							\$6.709.000

6.1 DIFERENCIA VALOR PRESUPUESTO/ GASTO ECONÓMICO

Tabla 6. Diferencia presupuesto

GASTOS GENERALES	Valor en pesos (\$)		
	Presupuesto para el proyecto	Gasto económico	Diferencia
Motor, caja, transmisión, suspensión	\$ 2.050.000	\$ 2.200.000	\$150.000
Repuestos para el motor	\$ 530.000	\$ 730.000	\$200.000
Soportes del motor		\$ 14.000	\$14.000
Cables de alta		\$ 20.000	\$20.000
Transporte del motor		\$ 15.000	\$15.000
Gasolina para limpieza y para encendido		\$ 30.000	\$30.000
Pintura y arreglo estético	\$ 75.000	\$ 100.000	\$25.000
Cableado	\$ 100.000	\$ 100.000	\$0
Banco metálico	\$ 240.000	\$ 300.000	\$60.000
Impresión de anteproyecto °	\$20.000	\$ 35.000	\$15.000
Carpeta de presentación °	\$5.000	\$ 5.000	\$0
Impresión documento de tesis		\$ 70.000	\$70.000
Anillado		\$ 15.000	\$15.000
Mano de obra y tiempo empleado	\$3.000.000	\$3.000.000	\$0
Radiador	\$75.000	\$75.000	\$0
Total	\$6.095.000	\$ 6.709.000	\$614.000

CONCLUSIONES

- Mediante el desarrollo de este proyecto, se logró en primer término identificar los síntomas que presenta un motor de combustión interna y que son indicativos de pérdidas de compresión por desgaste de los anillos de compresión y por desgaste de las paredes internas de los cilindros.
- Adicionalmente, se experimentó la práctica de realizar pruebas de vacío en el motor a fin de realizar un dictamen lo más acertado posible de la falla de funcionamiento que presentaba el motor previo a su intervención.
- Se realizó un correcto despiece de un motor de combustión interna, de acuerdo a la técnica y procedimientos sugeridos por el fabricante
- con un apretado presupuesto se logró realizar una reparación parcial al motor de combustión interna, el cual no implica una reparación general del mismo pero si permitió subsanar la falla principal de funcionamiento del motor para dejarlo activo con la reutilización de piezas internas que aún presentan horas de trabajo útil
- Atraves de esta práctica, se logró un correcto armado del motor, verificando su buen funcionamiento y utilidad.
- se creó un elemento (herramienta) didáctica de estudio que permitirá a la catedra de TPA de la Universidad “Los Libertadores” ejercer de manera practica la enseñanza de la mecánica en cuanto al funcionamiento y composición de un motor de combustión interna y el tren de tracción que se instala en un automóvil de serie.
- se diseñó y se elaboró un banco de anclaje suficiente, con técnica y con seguridad industrial para la constitución del modelo didáctico propuesto,

realizando así la práctica de las técnicas aprendidas dentro de la catedra en el manejo de soldadura eléctrica y por arco.

BIBLIOGRAFÍA

ARIAS PAZ. Manuel, Manual de automóviles, Madrid-España, 50 ediciones, Dossat s.a., 24,32,74,75 ps.

D. Hermogenes Gil Martínez, Manual del automóvil reparación y mantenimiento, Madrid-España, cultural, S.A. 17 p.

MARÍN, Valencia John Jairo, HOYOS, Sierra Pedro Ignacio, Enciclopedia visual del automóvil, Bogotá-Colombia, Producciones plus Ltda., 2004

THONON. J. Motores de gasolina, Barcelona-España, capítulos 5 y 6
Manual de mecánica bmw motor e21

Sabino Carlos A. Como hacer una tesis y elaborar toda clase de trabajos escritos, editorial panamericana. 1996, Bogotá Colombia.

Suarez de la Cruz Alberto Camilo. Metodología para el Estudio y la Investigación, tercera edición, Editorial Impretécnica. Bogotá Colombia.

Autor anónimo, disponible en www.Aficionados alamecanica.com

Autor anónimo, disponible en www.wikipedia.com

Autor anónimo, disponible en Tecnología. Artículo, El Motor Eléctrico. Comparte

Autor anónimo, disponible en www.areatecnologia.com.

Autor anónimo, disponible en www.cajas-automaticas.com/...ecanica-informacion.html.

Autor anónimo, disponible en www.sabelotodo.org/automovil/cajaautomatica.html
es.wikipedia.org/wiki/Caja_de_cambios

Autor anónimo, disponible en <http://www.diariomotor.com/2008/09/17/la->

Autor anónimo, disponible en [transmision-variable-continua-cvt-esa-grandesconocida/](http://www.diariomotor.com/2008/09/17/la-transmision-variable-continua-cvt-esa-grandesconocida/)

Autor anónimo, disponible en www.clubdelamar.org/arran.htm, artículo “El Motor de Arranque”.

Autor anónimo, disponible en www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/13395908/Torque-Definicion-y-Diferencia-con-HP.html

Autor anónimo, disponible en www.boletingrafico.com/SITIOS/av%20automotriz/tIPS/Potencia%20y%20torque.

Autor anónimo, disponible en <http://cochesmiticos.com/el-motor-otto-historia/>

Autor anónimo, disponible en www.espacio-automotor.com/2010/06/cajas-de-cambio-automaticas.html

Autor anónimo, disponible en www.automecanico.com/auto2009/bmw6cil1.html

ANEXOS

Anexo A. Manual de taller y procedimiento, BMW E21, limussina, 320 M20, modelo 1981. (Archivo adjunto)

Anexo B. Cd con video del proceso de ensamblaje

Anexo C. Tablas de unidades de medida utilizadas con los motores