

# ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

ESPE - LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

PROYECTO DE GRADO

“Construcción y diseño de una  
cámara de combustión variable “

REALIZADO POR:

Pablo Arturo Tapia Campaña

Juan Carlos Vargas Peña

Latacunga – Ecuador

2004

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente proyecto ha sido desarrollado en su totalidad por el Sr. Pablo Tapia y el Sr. Juan Vargas, Egresados de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

Ing. Guido Torres  
DIRECTOR

Ing. Luis Mena  
CO-DIRECTOR

## **DEDICATORIA**

A Dios y A mis Padres:

Por darme vida, sabiduría y darme la oportunidad de desarrollar mi inteligencia, estando siempre a mi lado en esta etapa estudiantil apoyándome incondicionalmente para lograr la culminación de una meta de mi vida.

**Pablo Tapia**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis, no es más que el fruto de todos mis conocimientos y en especial a los esfuerzos realizados por mi Madre, los sabios consejos de mi hermano y las bendiciones de mi padre y de mi abuelo desde el cielo. Gracias bebe.

**Juan Carlos Vargas P.**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi sincero agradecimiento al Ing. Torres e Ing. Mena; por la ayuda prestada en la ejecución de este proyecto.

A la Escuela Politécnica del Ejercito sede Latacunga y profesores por los conocimientos compartidos en mi etapa estudiantil.

Y a las personas que me supieron brindar su apoyo y colaboración en el transcurso de este proyecto.

**Pablo Tapia**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todos y cada una de las personas que hicieron posible la culminación de una de mis metas, en especial a mis profesores y a mi compañero, amigo Pablo por sus sabios y atinados consejos dieron fruto para ayudarme paso a paso a la finalización de mi carrera universitaria. Gracias.

**Juan Carlos Vargas P.**

# ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pag.</b>
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPITULO I</b>	
GENERALIDADES	
1.1 Objetivo .....	3
1.2 Marco Teórico .....	3
1.2.1 Funcionamiento del motor de combustión interna monocilindrico Briggs & Stratton .....	3
1.2.2 Parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna .....	21
1.2.3 Ciclos Termodinámicos del motor de combustión interna .....	39
<b>CAPITULO II</b>	
CALCULO Y DISEÑO	
2.1 Características del motor Briggs & Stratton .....	61
2.2 Material para la construcción de la cámara y elementos .....	62
2.3 Diseño de la cámara de combustión .....	63
2.3.1 Condiciones generales antes de diseñar una cámara de combustión .....	63
2.3.2 Calculo y Diseño de la cámara de combustión variable.....	64
2.4 Diseño del Embolo.....	75
2.4.1 Calculo del Embolo .....	76
2.5 Diseño Mecanismo de Variación .....	79
2.5.1 Calculo del Mecanismo de Variación .....	80
2.6 Diseño de Pernos de base del motor .....	82
<b>CAPITULO III</b>	
CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO	
3.1 Construcción de la cámara de combustión variable .....	86

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pag.</b>
3.1.1 Materiales y Herramientas .....	86
3.1.2 Procedimientos .....	87
3.1.3 Procedimiento de Construcción .....	89
3.2 Construcción del Embolo .....	96
3.2.1 Procedimiento .....	96
3.3 Construcción del mecanismo de variación .....	99
3.3.1 Procedimiento de Construcción .....	107
3.4 Construcción del Panel de Instrumentos.....	104
3.4.1 Consumo específico de combustible .....	105
3.4.2 Temperatura de Admisión .....	106
3.4.3 Temperatura de Escape y Explosión .....	108
3.4.4 Torque .....	110
3.4.5 Revoluciones del Motor .....	112
3.4.6 Encendido arranque de motor .....	113
3.4.7 Encendido electro-ventilador .....	114
3.5 Montaje y Puesta a punto del Banco de Pruebas .....	116
3.5.1 Montaje de materiales e instrumentos .....	117

## **CAPITULO IV**

### **PRUEBAS**

#### Practica N 1

Determinación de la relación de compresión y eficiencia del motor monocilíndrico en función del desplazamiento del pistón por vuelta o fracción de vuelta del mecanismo de variación..... 123

#### Practica N 2

Comprobación de la presión de compresión en las diferentes vueltas del mecanismo de variación de la cámara de combustión variable..... 136

#### Practica N 3

Determinación de la curva de Torque y Potencia útil en función de la revoluciones generadas por el motor en varias posiciones del mecanismo de Variación..... 145



<b>CONTENIDO</b>	<b>Pag.</b>
Practica N 4	
Determinación de Torque , Potencia Efectiva , consumo específico de combustible por cada vuelta del mecanismo de Variación , manteniendo constante las RPMS.....	171
<b>CAPITULO V</b>	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	190
PLANOS	
ANEXOS	
BIBLIOGRAFÍA	

## INTRODUCCION

### OBJETIVO

- Explicar en breves rasgos la finalidad de tema “**Construcción y Diseño de una cámara de combustión variable**”.

El tema “**Construcción y Diseño de una cámara de combustión variable**” tiene la finalidad de demostrar experimentalmente el desempeño de un motor al variar el volumen de la cámara de combustión, mediante un **Banco de Pruebas con cámara variable**, en el que podemos variar la cámara de combustión en un rango de 21 cc a 54 cc , con lo que se dispone de una relación de compresión de 13.9 a 5.9, y para la el registro de parámetros esta dispuesto de instrumentos de medición de temperaturas de admisión , de escape y del cabezote ; mediante unas probetas graduadas de 15 cc se determinara el consumo de combustible del motor en cada volumen de la cámara de combustión , se determina el torque mediante un freno directo al giro del cigüeñal por medio de un circuito de frenado el cual posee un manómetro de carátula para registrar la presión que el fluido genera para actuar sobre el volante de inercia .

El motor monocilíndrico montado en el Banco de Pruebas tiene las mismas características funcionales que la de un motor de vehículo, además constructivamente es más sencillo y pequeño en dimensiones, por lo que las adaptaciones e instrumentos deben tener un rango intermedio abaratando los costos de construcción y montaje de todo el Banco de Pruebas.

Para el diseño de la cámara de combustión variable se considera factores de resistencia de material, disipación de calor, maquinabilidad; y las características de funcionamiento en relación a turbulencia de la mezcla, posición de la bujía , abertura de válvulas tipo L y el calculo para determinar el tipo de material a usarse para el conjunto de la **cámara variable**.

La construcción de elementos se la realiza de acuerdo al material seleccionado en el capítulo de diseño, considerando el espacio que se dispone y la forma original de la cámara; además de tomar en cuenta las herramientas necesarias para la elaboración del conjunto de al **cámara variable**.

La comprobación del funcionamiento tanto del motor como del **Banco de Pruebas** se lo realiza mediante las Pruebas en las que se determina el aumento de relación de compresión, eficiencia del motor y potencia en cada posición del mecanismo de variación.

## **CAPITULO I**

### **MARCO TEORICO**

#### **1.1. OBJETIVO**

- Conocer el funcionamiento de los motores de combustión interna, específicamente del usado para la práctica.
- Determinar los parámetros de los motores de combustión interna.

#### **1.2. MARCO TEORICO**

##### **1.2.1. FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA, MONOCILÍNDRICO BRIGGS & STRATTON**

###### **a.- Ciclos del Motor**

El motor Briggs & Stratton es un motor de cuatro tiempos; en principio se basa al ciclo de los motores de automóviles. Para cada carrera de explosión del pistón, el cigüeñal da dos vueltas.

### **Admisión**

La primera carrera es la de admisión. Con la válvula de escape cerrada y la de admisión abierta, el pistón desciende y la mezcla de combustible y aire penetra dentro del cilindro.

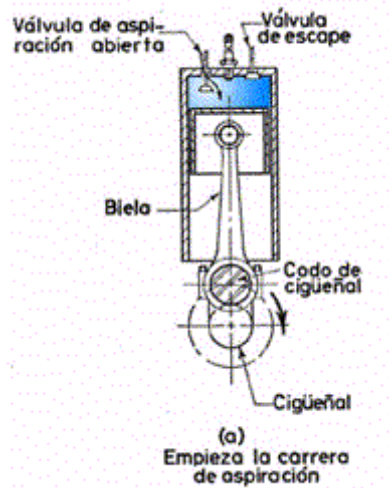


Figura 1.1. Admisión<sup>1</sup>

## Compresión

A continuación, se cierra la válvula de admisión y el pistón sube durante su carrera de compresión. La mezcla de combustible y aire se comprime más y más en el reducido espacio que queda entre la cara superior del pistón y la culata del cilindro.

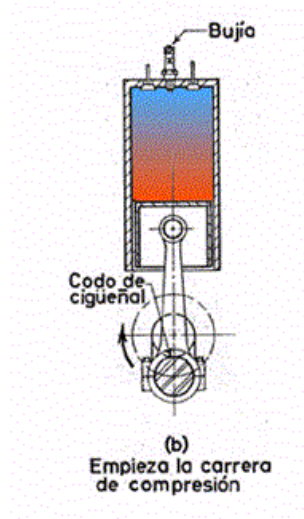


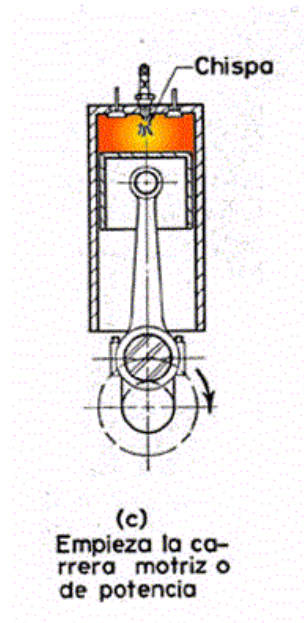
Figura 1.2. Compresión<sup>2</sup>

<sup>1</sup> www.club.teleposlis.com

<sup>2</sup> www.club.teleposlis.com

## Explosión

Salta la chispa haciendo que la mezcla explote, y la fuerza de expansión de los gases hace que el pistón descienda. Se trata de la carrera de explosión.



**Figura 1.3. Explosión<sup>3</sup>**

## Escape

Se abre la válvula de escape y el movimiento hacia arriba del pistón durante su carrera de escape expulsa los gases quemados fuera del cilindro. A continuación, la válvula de admisión se abre, y el motor se encuentra listo para repetir el ciclo que acabamos de describir.

---

<sup>3</sup> [www.club.telepolis.com](http://www.club.telepolis.com)

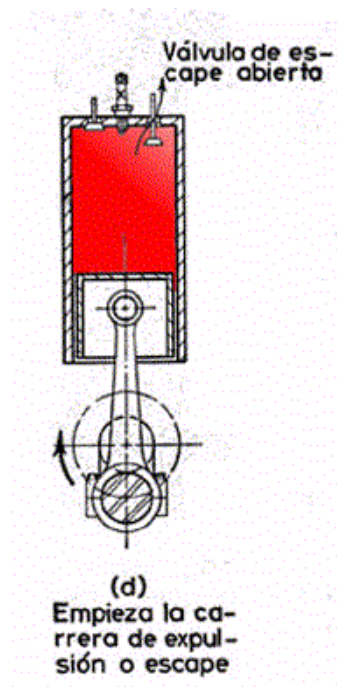


Figura 1.4. Explosión<sup>4</sup>

## b.- Carburación

La misión principal del carburador es conseguir una mezcla combustible y aire con la que funcione el motor, lo cual resulta relativamente sencillo. Para conseguir un consumo bajo de combustible y mantener una marcha uniforme del motor para una amplia gama de velocidades, se emplea en este tipo de motor la presión atmosférica y los principios de venturi y superficies aerodinámicas.

---

<sup>4</sup> [www.clubtelepolis.com](http://www.clubtelepolis.com)

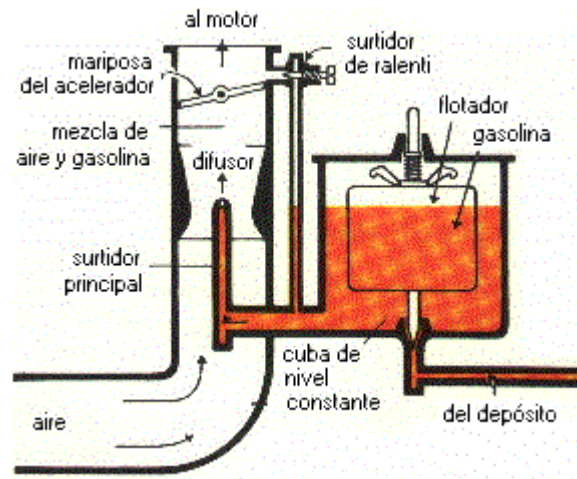


Figura 1.5 Carburación<sup>5</sup>

### c.- Presión Atmosférica

La presión atmosférica es una fuerza constante, que varía muy ligeramente en función de la altitud y de la temperatura, y que tiende a equilibrarse en cualquier punto. Es el peso del aire de la atmósfera que empuja hacia abajo y hacia fuera en todas las direcciones y cuyo valor se toma normalmente entre 13 y 15 libras por pulgada cuadrada (0.91 y 1.05 Kilos por centímetro cuadrado). El aire se desplaza de las zonas de alta presión a las de baja presión.

Para utilizar esta fuerza de la presión atmosférica en el carburador, se crean artificialmente zonas de baja presión de forma que se desplacen y el combustible que interviene.

<sup>5</sup> [www.upcnet.es.com](http://www.upcnet.es.com)



## d.- Venturí o Difusor

El venturí constituye la reducción de área de circulación de un fluido, al tener que circular por espacios reducidos, una masa importante de aire aumenta su velocidad para que se mantenga un flujo constante.

El venturí se coloca en el carburador de la manera que indica en la figura.

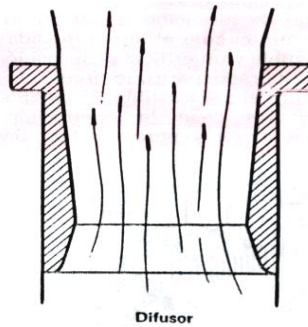
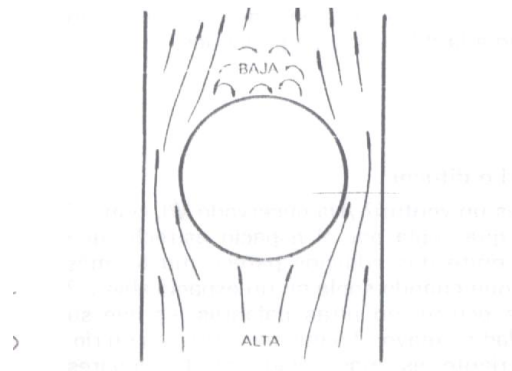


Figura 1.6 Venturi o Difusor <sup>6</sup>

## e.- Superficies aerodinámicas.

Supongamos un tubo inmerso en una corriente de aire. Cuando está en reposo, la presión es igual en todos los puntos. En movimiento, la corriente de aire toma una cierta forma, constituyéndose una zona de alta presión y otra de muy baja presión.



<sup>6</sup> Manual de Reparaciones y Servicios Briggs & Stratton

### f.- Carburador Flo – jet o de alimentación por gravedad

Es un sistema por gravedad ya que el depósito está situado por encima del carburador y el combustible fluye por gravedad. Observar que hay un orificio de aireación (ver figura 1. 8) en el tapón del depósito para que circule el aire a medida que sale el combustible y un orificio de aireación (ver figura 1.9) en el cuerpo del carburador para que circule el aire a medida que entra el combustible. Si se tapa uno de estos orificios cesa la circulación de combustible y el motor se para.

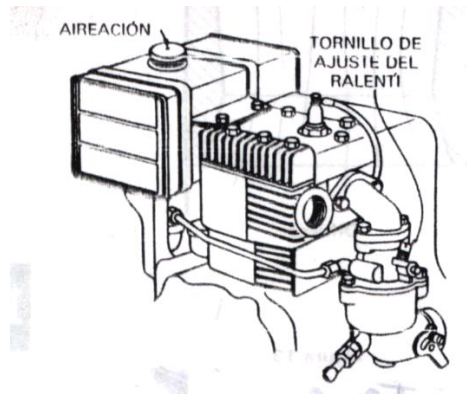
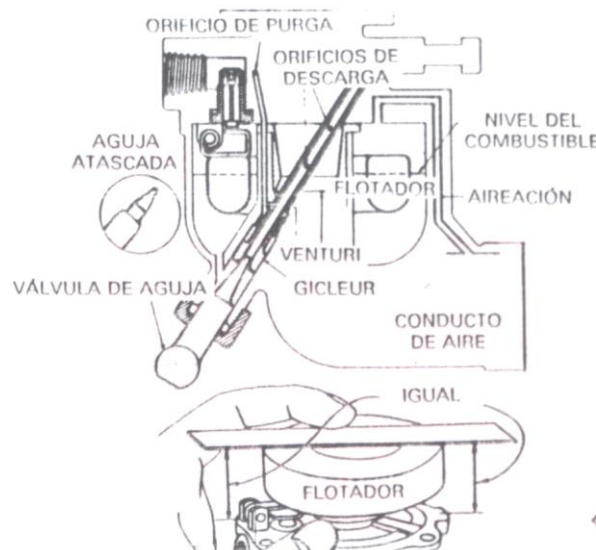


Figura 1.8 Orificio de Aireación Tanque Combustible<sup>8</sup>



<sup>7</sup> Manual de Reparaciones y Servicios Briggs & Stratton

<sup>8</sup> Manual de Reparaciones y Servicios Briggs & Stratton

Figura 1.9 Carburador<sup>9</sup>

Al entrar en el cuerpo del carburador, el combustible ve levantando el flotador. Este a su vez eleva la aguja de la válvula del flotador. Cuando la aguja toca el asiento, corta el flujo de combustible, llamándose nivel de flotación a la posición que ocupa en ese momento el flotador.

### **g.- Nivel de Flotación**

El nivel de flotación debe ser en general lo suficientemente alto para que se produzca un suministro de combustible fuerte a plena aceleración y lo suficientemente bajo para que no se inunde el carburador y no se produzca fugas.

Para determinar el nivel sobre el carburador, invertir el cuerpo superior como indica la **figura 1.9**. El flotador y la tapa de cuerpo deben estar paralelos. Si no, doblar la lengüeta del flotador hasta conseguirlo. El nivel de flotación resulta tan crítico como en otros tipos de carburadores.

Ya tenemos el combustible dentro del cuerpo del carburador, veamos ahora como llevarlo al interior del cilindro de combustión.

En la **figura 1.9** se indica la posición del gicleur y el nivel de flotación. El combustible, dentro del cuerpo, alcanza su nivel de equilibrio que queda bastante por debajo de los orificios de descarga. Observar que los orificios de descarga se encuentran dentro del venturi, que es el lugar de mayor velocidad del aire. Cuando desciende el pistón en el cilindro, con la válvula de admisión abierta, crea una zona baja de presión que se extiende hasta el interior del conducto del carburador e el difusor. Con ello se inician dos procesos.

La presión del aire que se encuentra sobre el combustible hacia abajo por dicho cuerpo y hacia arriba por el gicleur que lleva hasta los orificios de

---

<sup>9</sup> Manual de Reparaciones y Servicios Briggs & Stratton

descarga. Al mismo tiempo el aire irrumpe en el conducto de aire y a través del difusor en donde aumenta fuertemente su velocidad.

El gicleur que se encuentra atravesado en la corriente de aire actúa como una superficie aerodinámica, originando una zona de aun más baja presión, en su parte superior. Esto hace que el combustible fluya fuera del gicleur a través de los orificios de descarga al difusor en donde se mezcla con el aire, transformándose en una mezcla combustible lista para explotar en el cilindro.

Una pequeña cantidad de aire pasa dentro del gicleur por el conducto de purga. Este aire compensa las diferencias de velocidad del motor e impide que la mezcla sea demasiado rica a altas velocidades.

Ahora bien, como se desea tener un funcionamiento uniforme y económico a distintas velocidades, hay que añadir algunos elementos más al carburador.

La mezcla combustible ideal es de 14 a 15 libras de aire, en peso, por cada libra de gasolina. Téngase en cuenta que un motor que trabaja en condiciones de carga elevada, necesita una mezcla más rica que cuando trabaja con poca carga. Para regular la mezcla, se coloca en el carburador una válvula roscada de aguja de punta cónica que llega al final del gicleur.

Para ajustar al carburador a potencia máxima, hacer funcionar el motor a velocidad de marcha que se desee cerrar la válvula de aguja hasta que el motor empiece a reducir su velocidad, lo que indica que la mezcla es demasiado pobre.

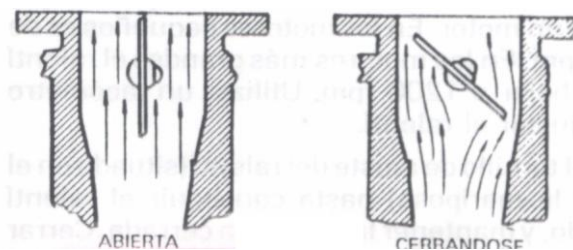
Anotar la posición de la válvula aguja, y abrirla hasta que el motor se acelere y seguidamente reduzca su velocidad lo cuál indica que la mezcla es demasiado rica. Anotar la posición de la válvula aguja, y girar seguidamente la válvula de aguja hasta dejarla en la posición a mitad de distancia entre las posiciones de mezcla pobre y la de mezcla rica.

Ajustar la mezcla según las necesidades de cada motor. Recordar que una mezcla pobre no es económica. Produce sobrecalentamiento, detonaciones y reduce la vida de la válvula. Además, como no hay bomba de aceleración, la mezcla tiene que ser lo suficientemente rica para que el motor no se pare cuando se abra de repente la mariposa. Los motores que trabajan a velocidad constante pueden utilizar una mezcla ligeramente más pobre que aquellas cuya utilización exige cambios de velocidad.

El detalle de la **figura 1.9** muestra lo que ocurre cuando se cierra demasiado la válvula de aguja. Se deteriora la punta cónica. Por supuesto también se puede regular el carburador con la válvula de aguja en estas condiciones, pero resulta difícil, ya que un ligero desplazamiento de la misma produce una gran diferencia en la cantidad de combustible que entra el gicleur. Y aún cuando se haya conseguido ajustar, las vibraciones la desajustan rápidamente

#### **h.- Variador de Velocidad**

Para conseguir las distintas velocidades se coloca en el conducto del carburador por encima del difusor un disco plano, que se llama mariposa, montado en un eje. Este conjunto se llama acelerador

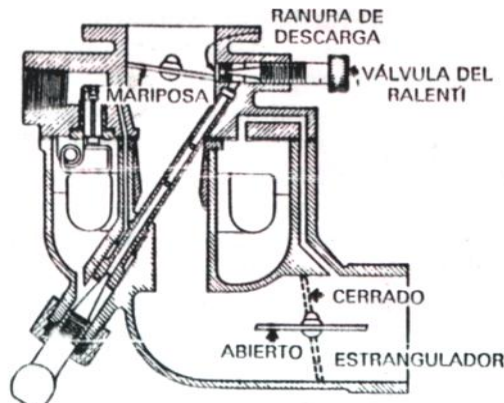


**Figura 1.10 Acelerador**

Cuando la mariposa está completamente abierta no afecta en nada a la corriente de aire. Cuando la mariposa se va cerrando, reduce el flujo de aire que llega al cilindro disminuyendo así la potencia y velocidad del motor. Al

mismo tiempo éste hace que aumente la presión en la zona debajo de la mariposa.

Esto significa que significa que la diferencia de presión entre el aire que se encuentra en el cuerpo del carburador y el aire del difusor disminuye, con lo que se reduce la circulación del combustible por el gicleur, de esta forma la proporción de combustible y aire se mantiene aproximadamente constante. A medida que la velocidad del motor se va reduciendo hasta llegar al ralentí, la situación cambia (**ver figura 1.11**)



**Figura 1.11 Corte Transversal Carburador<sup>10</sup>**

Al ralentí la mariposa está prácticamente cerrada pasa muy poco aire por el ducto del difusor y la presión de este y en el cuerpo del carburador viene a ser la misma. El combustible no se ve forzado a salir por los orificios de descarga, y la mezcla tiende a volverse demasiado pobre.

#### **i.- Válvula de ralentí ,**

Para suministrar combustible durante el ralentí, el gicleur continúa hacia arriba hasta el interior de la cámara de válvula de ralentí . El gicleur se ajusta exactamente al cuerpo superior para evitar que se produzcan fugas. Debido a esta conexión tan ajustada, hay que quitar el gicleur antes de proceder a

<sup>10</sup> Manual de Reparaciones y Servicios Briggs & Stratton

separar los cuerpos superior e inferior del carburador, ya que en caso contrario se doblaría.

La cámara de la válvula de ralentí desemboca en el conducto del carburador por encima de la mariposa. En este punto la presión es baja, subiendo el combustible por el gicleur sobrepasando la válvula de ralentí hasta el interior del conducto del carburador a través de la ranura de descarga. La cantidad de combustible se regula girando la válvula de ralentí hacia adentro o hacia fuera hasta conseguir la mezcla deseada.

La válvula de ralentí se regula igual que la válvula de aguja, pero debe regularse siempre después de haber regulado la válvula de aguja. El ralentí no es la velocidad más baja a la que trabaja el motor. En los motores pequeños de 1750 r.p.m.. En los motores grandes el ralentí puede bajar a 1200 r.p.m. Utilizar un tacómetro para ajustar el ralentí.

Girar el tornillo de ajuste del ralentí (situado en el eje de la mariposa) hasta conseguir el ralentí seseado, y mantener la mariposa cerrada. Cerrar girando la válvula de ralentí hasta que reduzca la velocidad y seguidamente abrirla hasta que la velocidad aumenta y más adelante vuelve a descender. Girar a continuación la válvula de ralentí hasta dejarla en una posición a mitad de distancia entre las dos posiciones de ajuste anteriores: Normalmente habrá que volver a ajustar el tornillo de ajuste del ralentí a la velocidad de ralentí deseada.

El problema que se presenta seguidamente es el de arrancar el motor a distintas temperaturas y con distintos tipos de combustible. Se coloca una mariposa, montada sobre un eje, en el conducto de aire. Con este estrangulador podemos cerrar, o casi cerrar, el conducto de aire con lo que conseguimos una zona de baja presión en el difusor y el conducto del carburador. **(ver figura 1.11).**

De esta forma conseguimos una avalancha de combustible que sale del gicleur, con una cantidad relativamente pequeña de aire. Aún con un grado de vaporización pequeño, esta mezcla muy rica consigue que el arranque se

produzca con facilidad. Solamente se consume una parte del combustible mientras se utiliza el estrangulador quedando una gran parte dentro del cilindro . Esta gasolina se diluye en el aceite del cárter y llega a provocar abrasión debido a que elimina la película de aceite que se forma entre segmentos de presión y la pared interior del cilindro. Por ello se debe evitar usar el estrangulador durante un periodo limitado de tiempo.

#### **j.- Encendido**

En cierto modo, un magneto forma dos circuitos sencillos, un circuito primario y un secundario. Ambos tienen espiras que rodean el mismo núcleo de hierro actuando las masas polares del volante o rotor sobre ambos circuitos.

Cambiando el magnetismo en o alrededor de las bobinas del circuito se induce corriente en cada uno de ellos.

El circuito primario tiene relativamente pocas espiras de cable grueso e incluye un juego de platinos y un condensador.

El circuito secundario tiene una bobina con muchas espiras de cable delgado, enrolla alrededor del bobinado primario, e incluye una bujía. Hay 60 espiras en el secundario por cada espira del primario.

En el volante o rotor va montada una masa polar permanente. A medida que va girando el volante, se aproxima la masa polar a la bobina y el núcleo.

El nuevo sistema de encendido magnético Briggs & Stratton se diferencia de los magnéticos corrientes en que el voltaje se produce a la medida de las necesidades del motor. **(Ver figura 1.12)**. El imán que se utiliza en este nuevo sistema es cerámico desarrollando una gran fuerza magnética en una distancia muy pequeña. La longitud de este imán es de 3/8 " (9.5 mm) contra 7/8" (22.2 mm) que tiene la magneto Alnico.



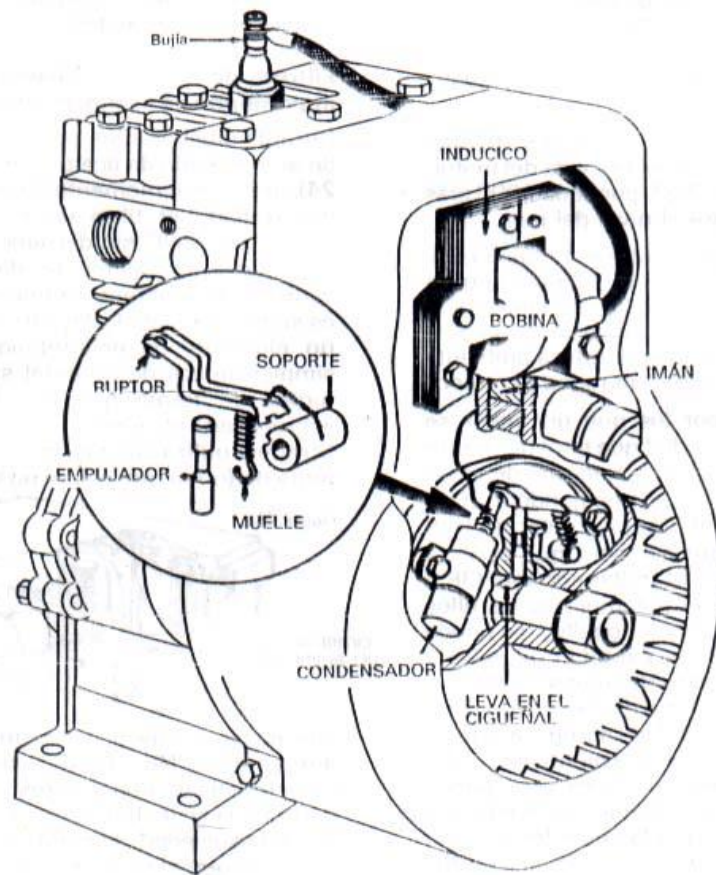
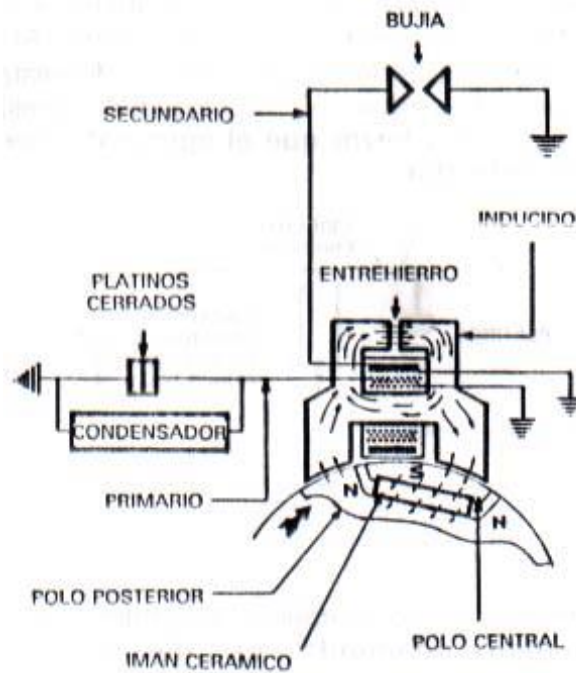


Figura 1.12 Encendido<sup>11</sup>

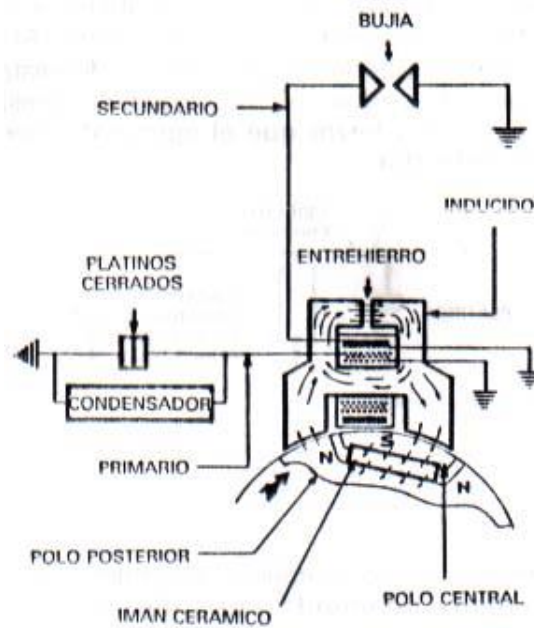
<sup>11</sup> Manual de Reparaciones y Servicios Briggs & Stratton



**Figura 1.13 Flujo Magnético<sup>12</sup>**

La figura anterior muestra el flujo magnético a través del núcleo del hierro del inducido a medida que el imán volante se acerca a la bobina. Las flechas indican el sentido del flujo del campo magnético. Observándose que no hay magnetismo (o muy poco) a través de la parte superior del núcleo. Esto se debe a que el entrehierro de la parte superior ofrece resistencia. En dicha posición cuando se cierran los platinos.

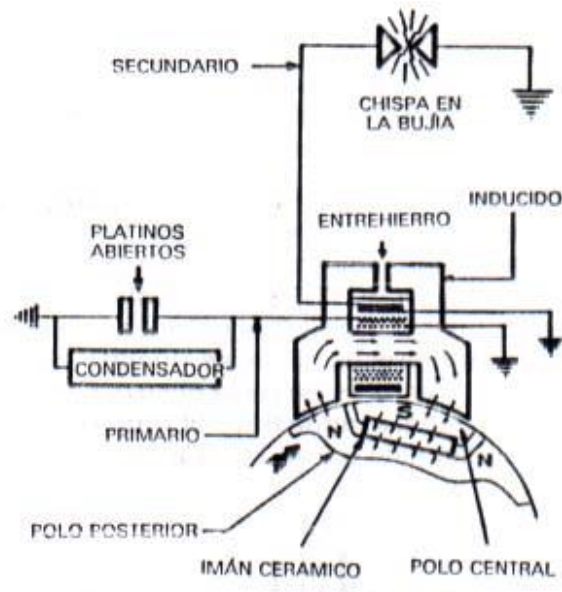
<sup>12</sup> Manual de Reparaciones y Servicios Briggs & Stratton



**Figura 1.14 Flujo Magnético<sup>13</sup>**

El volante sigue girando hasta llegar a la posición que se muestra la **figura 1.14**. El flujo magnético debido a la corriente primaria, se mantiene en el mismo sentido contrario y magnitud a través de la parte exterior del núcleo y a través del entrehierro, debido al cambio de posición del volante. Como el desvío del entrehierro ofrece un camino al flujo de las mitades del inducido y del núcleo, el flujo de corriente que se necesita en el circuito primario es pequeño.

<sup>13</sup> Manual de Reparaciones y Servicios Briggs & Stratton



**Figura 1.15 Flujo Magnético<sup>14</sup>**

En esta posición los platinos se abren, la corriente deja pasar por el circuito primario y por lo tanto cesa el efecto electromagnético.

Justamente cambia el magnetismo pasándose del mostrado en la **figura 1.14** al de la **figura 1.15**. Obsérvese el sentido contrario de las flechas que indica que el magnetismo se ha invertido totalmente, lo cuál sucede tan deprisa que el imán del volante no tiene oportunidad de desplazarse en magnitud apreciable.

El cambio rápido de magnetismo produce 170 voltios en el bobinado primario. También se induce un cierto voltaje en el secundario, en proporción con la relación del número de espiras, por ejemplo de 60 a 1 o sea 10 000 voltios. Este voltaje es suficiente para hacer saltar la chispa a través de los electrodos de la bujía.

Esta inversión rápida del magnetismo dura muy poco por lo que el flujo de corriente entre los electrodos de la bujía dura lo necesario, pero es lo suficiente corta para asegurar una vida prolongada de los electrodos.

<sup>14</sup> Manual de Reparaciones y Servicios Briggs & Stratton

De esta forma se consigue una gran potencia y al mismo tiempo una larga duración y funcionamiento del sistema.

### k.- Regulación

El regulador cierra la mariposa cuando disminuye la carga y la abre para conseguir más potencia cuando aumenta la carga.

Básicamente, los reguladores son de dos tipos: neumáticos o de aleta movida por aire, **figura 1.16**; mecánico o centrífugo de contrapesos, **figura 1.17**.

El regulador neumático de la figura 14 se acciona por aire procedente de las aletas del volante. Cuando el motor está en marcha, el aire impulsado por las aletas presiona contra la aleta con la mariposa de variación de velocidad. El desplazamiento de estas piezas tiende a cerrar el carburador y por tanto a reducir la velocidad del motor.

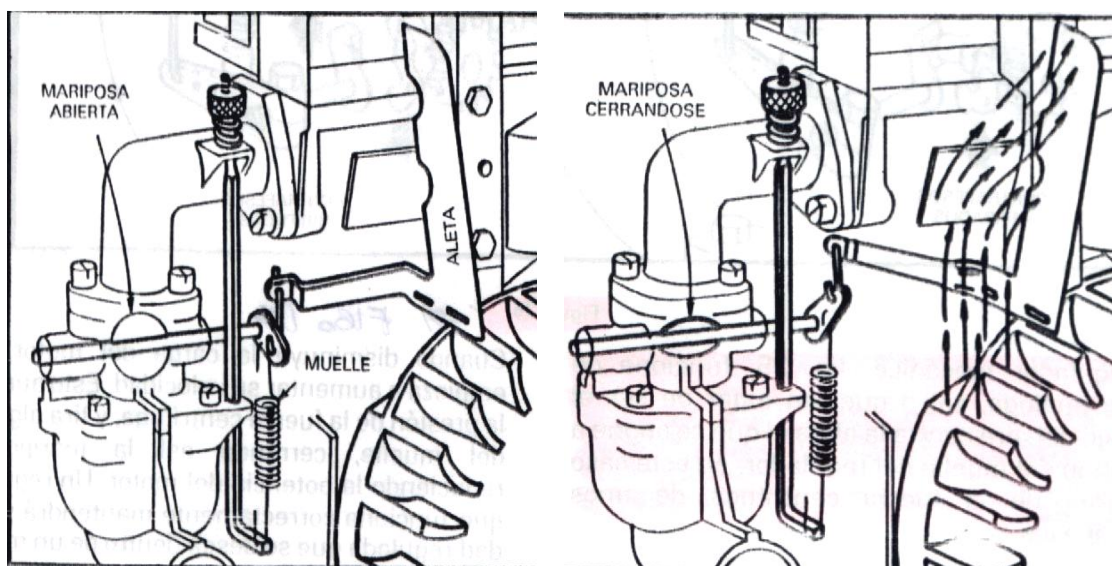
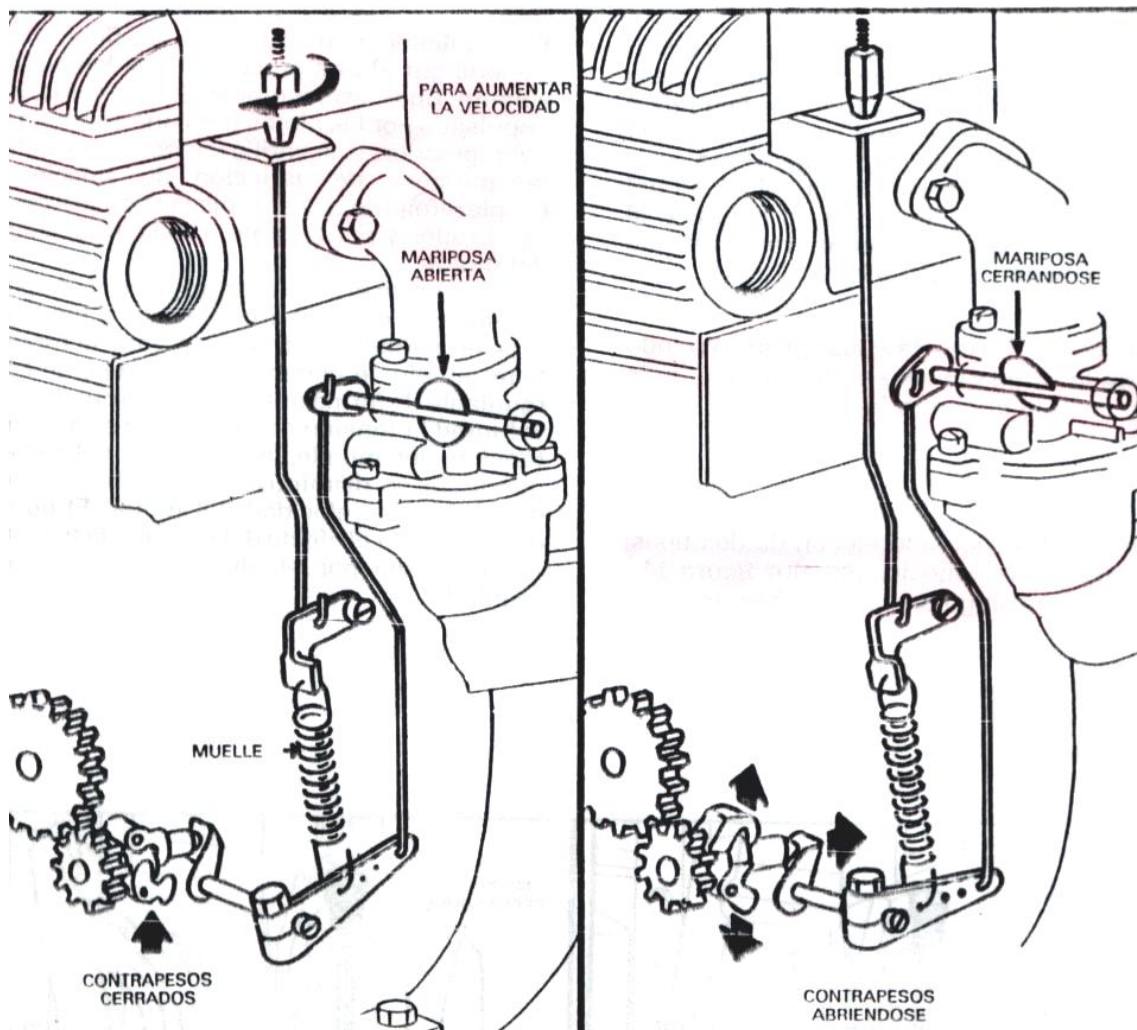


Figura 1.16 Regulador Neumático<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Manual de Reparaciones y Servicios Briggs & Stratton

Por otra parte el muelle del regulador se opone al movimiento descrito anteriormente, teniendo a tirar en sentido contrario y a abrir la mariposa. Este muelle se conecta a algún tipo de control regulable de forma que el operario pueda variar a voluntad la tensión del muelle, aumenta la velocidad del motor. Si se disminuye la tensión del muelle, disminuye la velocidad del motor. El punto en que se iguala el efecto del muelle y la fuerza de la aleta movida por el aire se llama “velocidad regulada”.



**Figura 1.17 Regulador Mecánico**<sup>16</sup>

El regulador mecánico, **figura 1.17**, funciona de forma análoga, salvo que, en lugar de ser el empuje del aire contra la aleta el que se opone a la

<sup>16</sup> Manual de Reparaciones y Servicios Briggs & Stratton

acción del muelle regulador, en este caso se trata de la fuerza centrífuga de unos contrapesos.

En ambos casos el funcionamiento es el mismo. Cuando aumenta la carga del motor, éste empieza a perder velocidad. En cuanto ocurre esto, disminuye la fuerza centrífuga de los contrapesos. Esto hace que el muelle del regulador tire de la mariposa abriéndola más y aumentando así la potencia, compensando el aumento de carga y haciendo por lo tanto que se mantenga la velocidad regulada que se desea.

Cuando disminuye la carga del motor. Éste empieza a aumentar su velocidad. Esto aumenta la presión de la fuerza centrífuga, y tira algo más del muelle, cerrando así la mariposa y reduciendo la potencia del motor. Un regulador que funciona correctamente mantendrá velocidad regulada que se desea dentro de un margen muy estrecho.

En general, todo motor que tenga una compresión, carburación y encendido en buen estado, funciona de forma eficiente. Ahora bien, la suciedad y el trato descuidado arruinan rápidamente el motor.

## **1.2.2. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR COMBUSTIÓN INTERNA**

### **a.- Cilindrada Motor**

Se llama así, al volumen que desplaza el pistón cuando este va del PMI al PMS. Podríamos representar este volumen por un cilindro de diámetro igual al del cilindro del motor y altura igual a la carrera, es decir, la base superior e inferior formada por la cabeza del pistón en su PMS y PMI respectivamente. Para hallar el volumen desplazado por el pistón utilizaremos las dimensiones conocidas del diámetro **D** y altura o carrera **L**.

$$cilindrada = \frac{\pi \times D^2 \times L}{4} \quad (1.1)^{17}$$

La cilindrada tiene una importante relación con las características del motor ya que una relación con las características del motor ya que una mayor cilindrada puede producir una potencia superior.

### **b.- Relación de Compresión ( $\epsilon$ ).**

La relación de compresión de un motor nos da el nivel de compresión a que se somete la mezcla en el interior del cilindro.

Para calcularlo se divide el volumen de aire contenido en el cilindro cuando el pistón está en el PMI por el volumen que ocupa al pasar al pistón al PMS

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\epsilon = (V_h + V_c) / V_c \quad (1.2)^{18}$$

#### **Donde:**

$V_c$  = Volumen sobre la cabeza del pistón en el P.M.S. (cámara de comb.)

$V_h$  = Volumen desplazado por el pistón.

Valores Característicos:

- Motores Otto : 6,5 - 11
- Motores Diesel : 15 - 22

---

<sup>17</sup> Crouse W: Motores de Automovil,Alfaomega,Barcelona,1996.

<sup>18</sup> Crouse W: Motores de Automovil,Alfaomega,Barcelona,1996.



c.- Presión Media:

- **Presión media efectiva ( $p_{me}$ )**

Es la presión que debería existir constantemente en el interior del cilindro para obtener un valor dado de presión efectiva.

Puede determinarse dos clases de Presiones Medias:

- Presión Media Efectiva al Freno
- Presión Media Indicada

$$Pe = \frac{\text{Trabajo}}{\text{tiempo}} \text{ (1.3) }^{19}$$

$$Pe = \frac{Pme \times A \times L}{t} \text{ (1.4)}$$

$$Pe(cil) = \frac{Pe(total)}{z} \text{ (1.5)}$$

$$Pme = \frac{Pe \times K}{z \times A \times L} \text{ (1.6)}$$

---

<sup>19</sup> [www.cec.ucchile.cl.com](http://www.cec.ucchile.cl.com)

## Motor de Gasolina:

$$P_{me} = \frac{74.54 \times 10 \times n \times w \times k}{A \times z \times L} \times KPa (1.7)^{20}$$

### Donde

- ***P<sub>me</sub>*** : Presión media efectiva por cilindro
- ***A*** : Área del pistón en m<sup>2</sup>
- ***L*** : Carrera del pistón en m.
- ***z*** : Número de cilindros .
- ***Pe(total)***: Potencia del motor.
- ***n*** : RPM.
- ***W*** : Carga en el manómetro en lb-f.
- ***K***:
  - 1 Para motor de dos tiempos.
  - 2 Para motor de cuatro tiempos.
  
- **Presión Media Indicada (pmi)**

Corresponde a la presión constante equivalente, que debería existir en la cámara para obtener el mismo trabajo indicado desarrollado en un ciclo de funcionamiento del motor

### d.- Potencia:

- **Potencia Indicada (Pi)**

---

<sup>20</sup> [www.cec.ucchile.cl.com](http://www.cec.ucchile.cl.com)

La potencia desarrollada dentro del cilindro del motor por la expansión de los gases de la combustión se conoce como potencia indicada y la designamos como  $P_i$ . Parte de esta potencia es necesaria para vencer la fricción de las partes móviles de la máquina (perdidas mecánicas), mover los elementos y accesorios, cargar el aire fresco dentro del cilindro en la carrera de admisión y expulsar los gases residuales en la carrera de escape (trabajo de bombeo). Por lo tanto la potencia disponible en el eje  $P_e$  es inferior a la potencia desarrollada dentro del cilindro  $P_i$ . Siendo  $P_f$  la potencia de fricción.  $P_e$  será igual a:

$$P_i = P_e + P_f \quad (1.8)^{21}$$

La potencia de fricción  $P_f$  es la suma de las pérdidas mecánicas y el trabajo de bombeo. Esta potencia varía según las condiciones de operación del motor y es difícil de estimar experimentalmente con exactitud. Un método aproximado consiste en acoplar el motor a un dinamómetro eléctrico y considerar que  $P_f$  es la potencia requerida para impulsar el motor apagado. Dentro de una serie de condiciones específicas (Velocidad, Temperatura de aceite y Agua, Grado de Apertura del Acelerador, etc.).

- **Potencia efectiva ó Potencia al freno**

Es una medida de la energía por unidad de tiempo, disponible en el eje del motor

Como :

---

<sup>21</sup> [www.cec.ucchile.cl.com](http://www.cec.ucchile.cl.com)

*Potencia = trabajo / tiempo*

Se tiene :  $P_e = P_{me} \cdot V_d \cdot Z \cdot n \cdot i$  **(1.9)**<sup>22</sup>

- **Calculo De La Potencia Al Freno.**

La potencia disponible en el eje de una máquina se conoce como la potencia al freno y la designaremos como  $P_e$ .

$$N_e = \frac{\text{Trabajo}}{\text{tiempo}} \text{ (1.10) }^{23}$$

$$N_e = \frac{F \times d}{t} \text{ (kw) (1.11)}$$

$$N_e = W(2 \times \pi \times R \times n) \text{ Kw (1.12)}$$

Donde :

- $n$  En revoluciones por minuto.
- $W$  Lectura del Dinamómetro en lb-f.
- $R$  Radio de palanca

- **Factor De Consumo De Aire Para Corrección De La Potencia.**

Para un mismo motor el valor experimental de la potencia, es diferente para diferentes condiciones ambientales locales (del lugar donde se efectúa la prueba), por ello el fabricante indica sus características a las condiciones

---

<sup>22</sup> [www.cec.ucchile.cl.com](http://www.cec.ucchile.cl.com)

<sup>23</sup> [www.cec.ucchile.cl.com](http://www.cec.ucchile.cl.com)

ambientales "standard" o nominales establecidas por la S.A.E. Society of Automative Engineers y mostradas a continuación:

- Temperatura del aire seco : 15.6°C ( 60°F)
- Presión atmosférica : 760 mmHg (29.92 pulHg)

Para que la potencia experimental obtenida a condiciones locales, pueda ser proyectada a otras condiciones atmosféricas diferentes, o pueda ser comparada con datos de potencia especificados por el fabricante (bajo condiciones "standard"), se debe efectuar la debida corrección, multiplicando la potencia experimental obtenida en el motor a las condiciones locales, por el coeficiente Cf. A pesar que el uso de este factor Cf no es aceptado por norma, se constituye en una buena aproximación, y por ello que se indica en la siguiente ecuación.

$$Cf = \frac{760}{Pa} \sqrt{\frac{Ta}{288.6}} \quad (1.13)^{24}$$

**Donde:**

- **Pa** : Presión barométrica local en mmHg
- **Ta** : Temperatura absoluta local del aire seco (°K)

e.- Consumo específico de combustible.

- **Consumo De Combustible B,b.**

---

<sup>24</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)

**B** : Consumo horario de combustible en masa por unidad de tiempo.

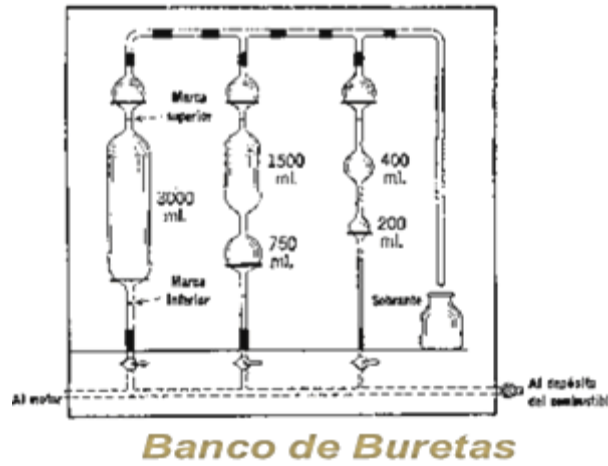
**b** : Consumo específico másico horario de combustible en masa por potencia - tiempo.

El consumo específico de combustible  $b$  es un parámetro de primer orden que muestra la capacidad de la máquina para convertir una cantidad determinada de combustible en trabajo. En las especificaciones nominales del motor, este parámetro es preferido a la eficiencia térmica por estar dado en unidades "estándar".

El método aceptado para medir la cantidad de combustible usado por un motor es el de pesar el combustible consumido en un intervalo de tiempo, obteniéndose el consumo medio de combustible durante el periodo de prueba. Por medio de este método se consiguen valores muy aproximados, pero su implementación es bastante compleja; por lo cual se prefiere una práctica más simple pero no aceptada formalmente y que es la que está implementada en el laboratorio, la cual consiste en la medición del volumen de combustible en un intervalo de tiempo determinado y convertir el volumen a masa o peso, utilizando la densidad o el peso específico.

Bajo el procedimiento semiautomático, se admite manualmente combustible en un banco de buretas; el nivel baja al fluir el combustible al motor, al encontrarse el nivel con un diodo fotosensible este activa un reloj; posteriormente al seguir bajando el nivel, llega hasta el punto inferior donde hay otro diodo fotosensible que detiene la marcha del reloj.

Esta operación puede realizarse de modo manual utilizando un cronometro y verificando visualmente los pasos del nivel.



**Figura 1.18 Banco de Buretas<sup>25</sup>**

Los consumos de combustible vienen dados por las fórmulas:

$$b = \frac{B}{Ne} \cdot \left[ \frac{Kg}{Kw \cdot h} \right] \quad (1.14)^{26}$$

$$B = \frac{3.6 \times \rho \times V}{t} \cdot \left[ \frac{Kg}{h} \right] \quad (1.15)$$

**Donde :**

$\rho$  Densidad del combustible en gm/cm<sup>3</sup>

$V$  Volumen consumido medido en la bureta en cm<sup>3</sup>.

$t$  Tiempo gastado en consumir el combustible de la bureta en segundos.

La relación entre el caudal másico de combustible y la potencia disponible en el eje:

<sup>25</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)

<sup>26</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)

$$b_e = B / P_e(1.16)^{27}$$

Unidades normales para **b<sub>e</sub>** son :

$$g / (CV \cdot h) ; lb / (HP \cdot h) ; g / (kW \cdot h)(1.17)$$

**Valores característicos :**

- Motores Otto    285 g / kW·h        {210 [ g / CV h ]
- Motores Diesel    203 g / kW·h        {150 [ g / CV h ]}

f.- Rendimientos.

- **Rendimiento Indicado. (  $\eta_i$  ).**

Esta variable permite cuantificar la eficiencia de transferencia de energía por parte de los gases a los pistones, es decir la relación de la energía química del combustible con la potencia indicada.

$$\eta_i = P_i / ( m_b \cdot H_i )(1.18)^{28}$$

- **Rendimiento Efectivo. (  $\eta_e$  ).**

Esta variable permite cuantificar la eficiencia de transformación energética de un motor, es decir la relación de la energía química del combustible con la disponible en el eje del motor.

$$\eta_e = P_e / ( m_b \cdot H_i )(1.19)^{29}$$

- **Rendimiento Total O Efectivo**

---

<sup>27</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)

<sup>28</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)

<sup>29</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)



Se define como la relación entre la energía liberada por la combustión del combustible y la potencia obtenida en el eje; es el parámetro que muestra la capacidad de la máquina para convertir la energía química del combustible en trabajo útil disponible en el eje.

$$\eta_{tt} = \frac{P_e}{H_i} \quad (1.20)^{30}$$

- **Rendimiento Mecánico. (  $\eta_m$  ).**

Esta variable permite cuantificar la eficiencia de transferencia de energía de los pistones al eje del motor ( cigüeñal ).

$$\eta_m = P_e / P_i \quad (1.21)^{31}$$

Considerando  $P_f$  y  $P_e$  para diferentes velocidades se puede determinar  $P_i$  por lo tanto el rendimiento mecánico  $m$  que está definido por el factor :

$$\eta_m = \frac{P_e}{N_i} \quad (1.22)^{32}$$

$$\eta_m = \frac{P_i - P_f}{P_i} \quad (1.23)$$

$$\eta_m = \frac{P_i}{P_e + P_f} \quad (1.24)$$

---

<sup>30</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)

<sup>31</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)

<sup>32</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)

- **Rendimiento Térmico**

A este rendimiento térmico también se le podrá llamar rendimiento indicado. El trabajo máximo de una cantidad determinada de combustible puede obtenerse a partir de la fórmula de CODY STODOLA que corresponde con diferencias despreciables al "Poder Calorífico " o "Efecto Térmico" que se define como la cantidad de calor que se libera cuando se enfrían los productos de la combustión hasta la temperatura inicial.

Solamente puede alcanzarse el aprovechamiento máximo de combustible cuando el proceso de la combustión se realiza de manera reversible. No debe existir proceso irreversible como estrangulación, rozamiento o transmisión de calor a las paredes. Además el Fluido que realiza trabajo debe llevarse desde la presión y temperatura del medio ambiente hasta las condiciones de combustión, en procesos reversibles.

En realidad, en toda máquina de combustión interna existe una pérdida muy grande ligada al proceso de combustión que en la práctica se realiza irreversiblemente.

El rendimiento térmico definido termodinámicamente es la relación entre el trabajo desarrollado por el ciclo y el calor suministrado al mismo, es en realidad el que indica el grado de irreversibilidad con que la máquina eléctrica realiza el proceso de combustión. En el mejor de los casos esta eficiencia alcanza el 40%; de acá, su influencia en el rendimiento total del motor.

$\eta_t$  = Trabajo desarrollado en el cilindro / calor suministrado

Si el trabajo indicado  $W_i$  (desarrollado en el cilindro) lo tomamos por unidad de tiempo lo mismo que el calor suministrado y aplicando el factor de conversión de trabajo en calor tendremos:

$$\eta_t = \frac{P_i}{H} \quad (1.25)^{33}$$

$$H = \frac{H_i \times B}{3600} \cdot K_w \quad (1.26)$$

**$H_i$** : Poder calorífico del combustible (Kjul/Kg)

**$H$** : Calor suministrado por el combustible en Kw.

**$N_i$** : Potencia indicada en Kw.

**$P_e$** : Potencia efectiva al freno en Kw.

**$B$** : Consumo horario de combustible en Kg/h

**$P_f$** : Potencia de fricción en Kw.

- **Rendimiento de llenado. ( $\lambda_a$ ).**

Esta variable relaciona la cantidad másica de mezcla para el caso del motor Otto, ó con aire en un motor Diesel, aspirada efectivamente por los pistones, con la que teóricamente podría ocupar la cámara en condiciones estáticas.

Esta variable es importante ya que permite explicar el comportamiento característico de las curvas  $P_e$ ,  $b_e$ .

$$\lambda_a = m_{g \text{ real}} / m_{g \text{ teo}} \quad (1.27)^{34}$$

$$\lambda_a = m_{g \text{ real}} / (V_d \cdot \rho_{g \text{ teo}}) \quad (1.28)$$

---

<sup>33</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)

<sup>34</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)

Motor Otto :  $m_g = m_a + B$

Motor Diesel :  $m_g = m_a$

Los motores Diesel tienen aproximadamente un  $\lambda_a = 90\%$  y los motores Otto un  $\lambda_a = 85\%$  en condiciones óptimas de operación.

- **Rendimiento Volumétrico**

Se define como la relación entre el volumen real de la carga de aire fresco tomado durante la carrera de admisión y el volumen teórico del desplazamiento total del pistón.

$$\eta_v = \frac{G_{\text{real}}}{G_{\text{teórico}}} \quad (1.29)^{35}$$

$G_{\text{real}}$  = masa o peso real de aire aspirado

$G_{\text{teórico}}$  = masa o peso teórico de aire

- **Rendimiento De La Combustión ( c )**

La combustión real no resulta tan completa como la ideal (Esta tiene lugar cuando se quema todo el combustible), en general los gases de escape mantienen algo de combustible sin quemar además de los productos de la disociación; en consecuencia la cantidad de calor desprendido es inferior a  $Q_c$ .

---

<sup>35</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)

La relación entre la cantidad de kilo-joules efectivamente desprendidos por la combustión en el cilindro y la cantidad de Kilo-joules correspondientes al poder calorífico inferior de la cantidad de combustible empleado se denomina rendimiento de la combustión.

Este rendimiento de la combustión o rendimiento químico puede determinarse por el análisis químico de los gases de escape y del combustible.

Con exceso de aire y muy buena mezcla, la ignición puede aproximarse a la ideal de modo que es posible llegar hasta  $C = 1$ , mientras que en la práctica los motores trabajan con un rendimiento

$$C = 0.95 - 0.98.$$

g.- Poder calorífico.

- **Poder calorífico superior:** ( $H_s$ ) kJ/kg o kJ/kmol

Energía calórica capaz de liberar por parte de un combustible en una reacción química de combustión.

- **Poder calorífico inferior:** ( $H_i$ ) kJ/kg o kJ/kmol

Corresponde al poder calorífico superior menos la energía latente de evaporación del agua y de los ácidos producidos en la combustión.

El poder calorífico de un combustible puede darse con bastante exactitud por las siguientes fórmulas:

Para combustibles livianos como la gasolina:

$$Hi = 4.186 \left[ 6600 + \frac{3000}{\rho} \right] (1.31)^{36}$$

$$\rho = \frac{gm}{cm^3}$$

Para combustibles pesados como el fuel oil:

$$Hi = 2.323 \left( 19600 + 1360 \times \rho - 3780 \times \rho^2 \left[ \frac{Kjoul}{Kg} \right] \right) (1.32)^{37}$$

Para combustibles medios como el petróleo:

$$Hi = 2.32 \left( 840 + 40^\circ API - 10 \left[ \frac{Kjoul}{kg} \right] \right) (1.33)^{38}$$

Con aproximación puede usarse la siguiente formula que relaciona el poder calorífico inferior y superior:

$$Hi = Hs - 600 \times 2 \times 3237 \times w (1.34)$$

$$Hi = Hs - 1394 \times w \left[ \frac{Kjoul}{Kg} \right] (1.35)$$

Donde w es el % de agua.

### **h.- EFICIENCIA TERMODINÁMICA ( $\eta_G$ ), (calidad del proceso).**

---

<sup>36</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)

<sup>37</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)

<sup>38</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)

Relaciona la potencia indicada con la potencia del ciclo termodinámico equivalente, normado. Razón por la cual la eficiencia termodinámica indica con qué exactitud se puede aproximar el ciclo real con el teórico termodinámico.

$$\eta_g = P_i / P_v \text{ (1.36)}^{39}$$

Donde:  $P_v$  : Potencia del motor ideal, normada (ciclo cerrado).

Valores característicos:

Motor Otto actual  $\eta_g = 0,4 - 0,7$

Motor Diesel actual  $\eta_g = 0,6 - 0,8$

- **Eficiencia Térmica Indicada O Rendimiento Indicado.**

$\eta_t = \text{Trabajo del cilindro} / \text{Calor suministrado}$

$\eta_t = W_i / Q_c = N_i / B_{hi}$

- **Eficiencia térmica total**

$\eta_{tt} = \text{Trabajo en el eje} / \text{Calor suministrado}$

$\eta_{tt} = N_e / B_{hi}$

**i.- Relación de Aire Lambda ( $\lambda$ ).**

Este parámetro indica la proporción entre la masa del aire realmente utilizado en la combustión y la estequiométrica.

$$\lambda = (m_a / B) / L_{st}$$

---

<sup>39</sup> [www.virtual.unal.edu.com](http://www.virtual.unal.edu.com)

en que:  $m_a$  = masa de aire

B = masa de combustible

$L_{st}$  = Relación de aire estequiométrica  $kg_{AI} / kg_{comb}$

Valores característicos de  $\lambda$  utilizando combustibles comunes son:

Motores Otto  $0,7 < \lambda < 1,1$ . Con sonda  $\lambda$ :  $0,99 < \lambda < 1,01$

Motores Diesel  $1,3 < \lambda < 6$ .

#### **j.- Relación Aire- Combustible ( A/C)**

Al analizar el rendimiento de un motor de combustión interna es de gran importancia determinar las cantidades relativas de aire y combustible presentes en la mezcla suministrada.

Esta relación puede obtenerse con gran precisión mediante el análisis químico de los gases de escape. Sin embargo también puede determinarse efectuando las mediciones por separado del aire y del combustible suministrado al motor en un tiempo determinado.

$$A/C = \frac{G}{B}$$

$G$  = consumo real de aire Kg/h  $B$  = consumo horario de combustible Kg/h

Se ha encontrado experimentalmente que es necesaria una relación definida para obtener la máxima potencia y otra relación diferente para máxima economía. La máxima economía del motor se obtiene cuando la liberación sea



máxima. Esta condición se logra cuando el combustible se quema completamente.

La siguiente curva representa las características de un motor de encendido por chispa en función de diferentes relaciones aire- combustible.

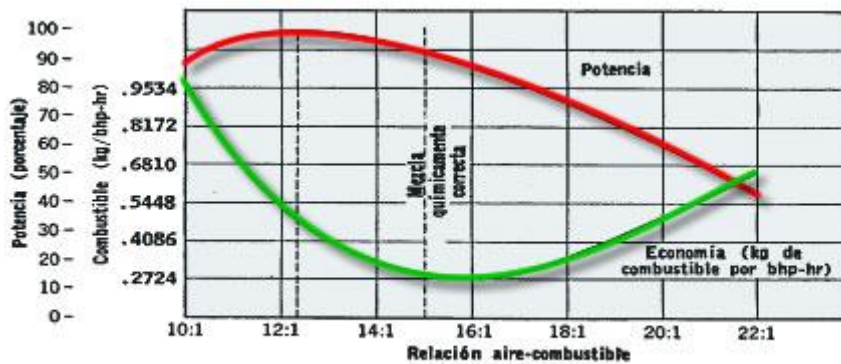


Figura 1.19 Relación aire combustible gasolina

Las características de un motor Diesel se especifican en la siguiente gráfica.

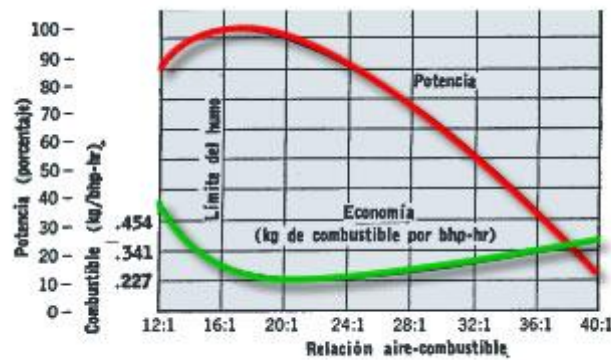


Figura 1.20 Relación aire combustible diesel

### 1.2.3. CICLOS TERMODINAMICOS DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA (CICLO OTTO)

## a.- DESCRIPCIÓN GENÉRICA DEL CICLO:

En la figura 1 vemos el ciclo teórico de un motor Otto en un diagrama p-V. El motor se caracteriza por aspirar una mezcla aire-combustible (típicamente gasolina dispersa en aire). El motor Otto es un motor alternativo. Esto quiere decir de que se trata de un sistema pistón-cilindro con válvulas de admisión y válvulas de escape.

En los próximos párrafos describiremos el ciclo Otto de 4 tiempos. El ciclo que describiremos inicialmente es el ciclo teórico. Posteriormente veremos las diferencias que existen en un ciclo real. Las diferentes evoluciones que componen el ciclo son:

**Admisión:** evolución 0-1. El pistón se desplaza desde el PMS (punto muerto superior) al PMI (punto muerto inferior). La válvula de admisión, VA se encuentra abierta. El pistón realiza una carrera completa. El cilindro se llena con mezcla aire/combustible. Al final de la admisión (en el PMI) se cierra la VA. El llenado del cilindro requiere un trabajo negativo.

**Compresión:** evolución 1-2. Con las dos válvulas cerradas (VA y válvula de escape, VE), el pistón se desplaza desde el PMI al PMS. Se realiza una carrera completa. Se comprime la mezcla aire/combustible. En principio esta compresión es adiabática. La compresión requiere trabajo negativo.

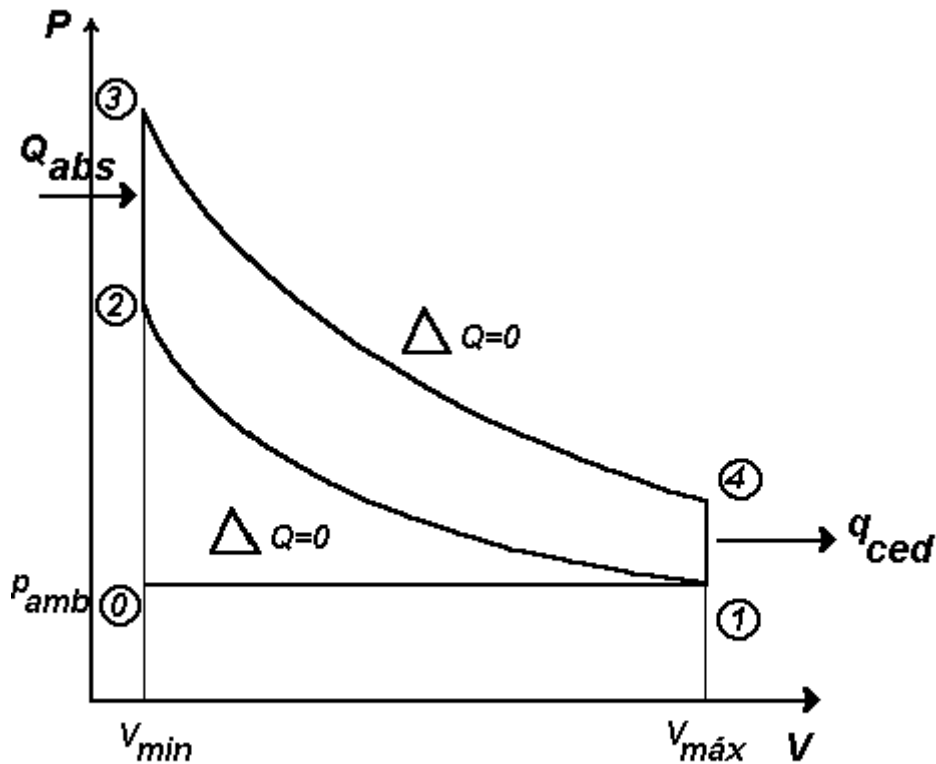
**Encendido:** en teoría este es un instante (evolución 2-3). Cuando el pistón llega al PMS, se enciende la chispa en la bujía y se quema la mezcla en la cámara de combustión, aumentando la presión de 2 a 3.

**Trabajo:** evolución 3-4. Con las dos válvulas cerradas el pistón se desplaza desde el PMS al PMI. Se realiza una carrera completa. En principio esta evolución es adiabática. La evolución genera trabajo positivo. De hecho es la única evolución del total del ciclo en que se genera trabajo positivo al exterior.

**Ap. Válvula de Escape:** evolución 4-1. En teoría esta caída de presión de 4 a 1 es instantánea y ocurre cuando se abre la válvula de escape.

**Escape:** evolución 1-0. El pistón se desplaza desde el PMI al PMS. Se realiza una carrera completa (la VE está abierta y la VA se encuentra cerrada). En principio la presión dentro del cilindro es igual a la atmosférica, por lo cual el trabajo requerido es cero.

Cada carrera completa corresponde a media vuelta del cigüeñal. Por lo tanto para realizar el ciclo completo se requieren dos revoluciones completas en el motor de cuatro tiempos.



**Figura 1.21 Ciclo Otto Teórico**

**b.- Rendimiento Del Ciclo Teórico:**

Calculemos a continuación el rendimiento de este ciclo teórico. Para ello usaremos el concepto de ciclo de aire equivalente. Con ello queremos decir que supondremos que el fluido de trabajo es un gas perfecto (aire) que se hace seguir el ciclo y cuyas propiedades termodinámicas se mantienen constantes a lo largo de él. Esta es una simplificación, pues en realidad las propiedades termodinámicas de la mezcla y gases de combustión son diferentes. Sin embargo la simplificación permite sistematizar mejor el estudio del ciclo.

El ciclo teórico tiene las siguientes particularidades:

**Evoluciones:**

•La evolución (0-1) (**admisión**) y (1-0) (**expulsión de gases**) son teóricamente ambas a presión atmosférica. Como se recorren en sentidos opuestos, se anulan.

•**La combustión** (2-3) y la apertura válvula de escape (4-1) se suponen ambas como evoluciones isócoras (a volumen constante).

•**La compresión** (1-2) y **la expansión** o carrera de trabajo (3-4) se suponen adiabáticas sin roce. Es decir  $DQ_{12} = 0$  y  $DQ_{34} = 0$ .

**Rendimiento:**

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{Q_{ced}}{Q_{abs}} \quad 40$$

$$Q_{ced} = C_v (T_4 - T_1)$$

$$Q_{abs} = C_v (T_3 - T_2)$$

**donde :**

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)}$$

Sacando factor común  $T_1/T_2$  para referir a compresión de base :

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \times \frac{(T_4/T_1 - 1)}{(T_3/T_2 - 1)}$$

Considerando que (1-2) y (3-4) son adiabáticas sin roce :

$$T_1 \cdot V_1^{\gamma-1} = T_2 \cdot V_2^{\gamma-1} \quad (1)$$

---

<sup>40</sup> [www.cec.ucchile.cl.com](http://www.cec.ucchile.cl.com)

$$T_4 \cdot V_4^{\gamma-1} = T_3 \cdot V_3^{\gamma-1} \quad (2)$$

Dividiendo (2)/(1)

$$\frac{T_4 \left( \frac{V_4^{\gamma-1}}{V_1^{\gamma-1}} \right)}{T_1 \left( \frac{V_1^{\gamma-1}}{V_1^{\gamma-1}} \right)} = \frac{T_3 \left( \frac{V_3^{\gamma-1}}{V_2^{\gamma-1}} \right)}{T_2 \left( \frac{V_2^{\gamma-1}}{V_2^{\gamma-1}} \right)}$$

Como  $V_4=V_1=V_{\max}$  y  $V_3=V_2=V_{\min.}$ , se tiene que :

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$$

de donde :

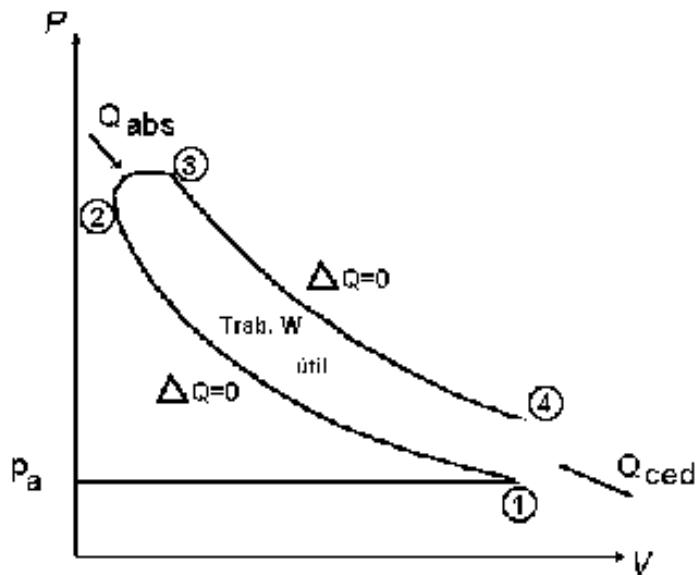
$$\eta_{otto} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{V_2^{\gamma-1}}{V_1^{\gamma-1}} = 1 - \frac{1}{V_1^{\gamma-1}/V_2^{\gamma-1}}$$

$V_1/V_2 = E =$  relación de compresión

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{1}{E^{\gamma-1}} \quad (1.38)$$

### c.- Ciclo Real Motor Combustión Interna.

Una característica clave de los motores de combustión interna es que en cada ciclo se aspira aire fresco, luego se adiciona el combustible y se quema en el interior del motor. Luego los gases quemados son expulsados del sistema y se debe aspirar nueva mezcla o aire. Por lo tanto se trata de un ciclo abierto.



**Figura 1.22 Ciclo Otto Genérico**

En la Figura anterior vemos un ciclo genérico de un motor de combustión interna.

Este consta de las siguientes partes generales:

Existe una presión mínima en el sistema equivalente a **Pa**.

Desde 1 hasta 2 se realiza una **compresión**, en teoría adiabática sin roce.

Entre 2 y 3 se realiza la **combustión**, con un aporte de calor  $Q_{abs}$ .

Entre 3 y 4 se realiza la **expansión** de los gases calientes. Normalmente es en esta etapa donde se entrega la mayor parte del trabajo. Esta expansión es también, en teoría, adiabática y sin roce.

En 4 se botan los gases quemados a la atmósfera. El ciclo es realmente abierto, pero (para efectos de análisis) se supone que se cierra entre 4 y 1, volviéndose el estado inicial.

Se introduce, por lo tanto, el concepto de Ciclo de aire equivalente. Esto significa que suponemos que el ciclo lo describe solo aire, al cual lo hacemos pasar por una sucesión de estados tal que se reproduce el ciclo real. Esto implica las siguientes suposiciones y simplificaciones:

Las propiedades del aire se suponen constantes para todo el ciclo (no varían ni  $C_p$  ni  $C_v$ , aunque en el caso real sí lo hacen por variación de temperatura y porque en parte del ciclo se trabaja con gases quemados).

- Se supone un sistema cerrado. Es decir, el aire está cerrado dentro del sistema y se somete a las evoluciones equivalentes.
- Entre 2 y 3 se supone que se aporta calor externamente para lograr la evolución equivalente.
- En forma análoga, entre 4 y 1 se supone que se enfría el aire en forma equivalente.

Una evolución clave en este ciclo genérico es la compresión de base 1-2. En efecto, ella es característica de cada ciclo y es (relativamente) constante.

En cambio en la operación real, la cantidad de calor  $Q_{abs}$  puede variar en forma importante, por lo tanto también varía la evolución 3-4. Pero la compresión de base es relativamente estable.

Se puede demostrar fácilmente que el rendimiento de la compresión de base queda expresado por:

$V_1/V_2 = E =$  relación de compresión

$$\eta = 1 - \frac{1}{E^{\gamma-1}}$$

Por lo tanto, para aumentar el rendimiento del ciclo conviene, en lo posible, aumentar lo más que se pueda la compresión de base. Los límites a esta compresión pueden venir de dos fuentes:

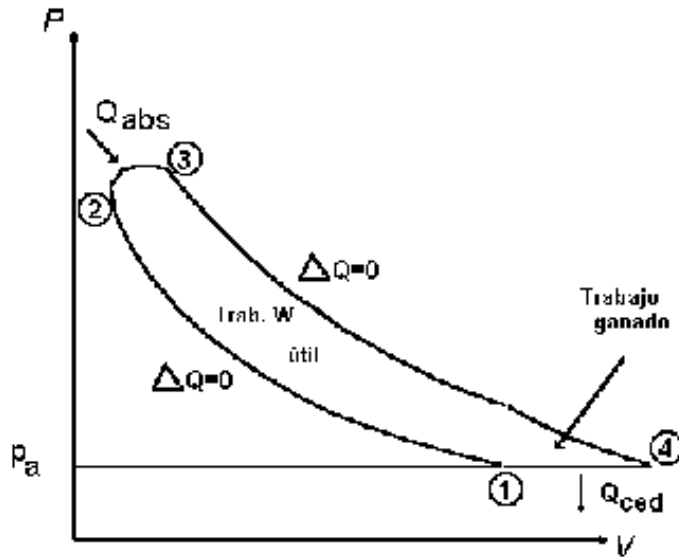
- En el caso de que solo se comprima aire (motores Diesel, turbina a gas), la compresión máxima queda fijada solo por razones tecnológicas.
- En el caso que se comprima una mezcla aire-combustible (motor Otto), la compresión máxima queda fijada por los límites de detonación o auto inflamación.

#### **d.- Condiciones para maximizar el rendimiento del Ciclo:**

En este ciclo genérico tenemos varias cosas que se pueden hacer para maximizar el trabajo obtenido. Enumerémoslas:

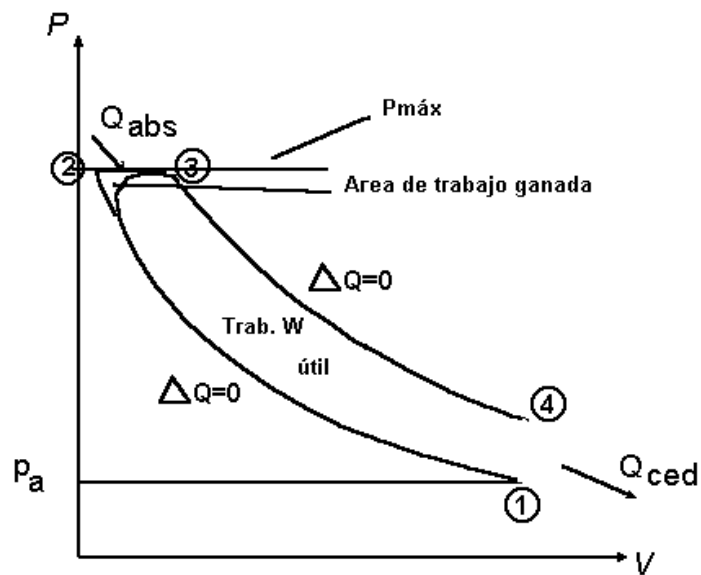
1. De ser posible, siempre conviene prolongar la expansión 3-4 hasta la presión ambiente. Con ello se gana un área de trabajo adicional "sin costo". Claro que en motores alternativos (cilindro-pistón), esto no es posible, pues el volumen máximo está definido.
2. En el caso de que la presión máxima esté fija, conviene que la combustión se realice a presión constante. En efecto, cuando uno comprime solo aire, conviene que esta compresión sea la máxima posible para maximizar el rendimiento.
3. En el caso de que la compresión máxima esté fija (caso motores Otto en que se comprime aire-combustible), conviene que la combustión se realice a volumen constante.





**Figura 1.23 Prolongación de expansión hasta la Presión atmosférica**

Estas tres situaciones las vemos ilustradas en las figuras 2 a 4. En ellas vemos que siempre se trata de maximizar el área encerrada por el ciclo de trabajo. En el caso de prolongar la expansión hasta **Pa**, es obvia la ganancia de área. Así que en lo posible conviene hacerlo. Sin embargo esto no es posible en los motores alternativos (cilindro-pistón), siendo solo posible en el caso de las turbinas. Esto por cuanto se trata de agregar más etapas a la turbina hasta alcanzar la presión ambiente.



**Figura 1.24 Combustión a presión constante**

En el caso de presión máxima fija (Figura 3), se trata de maximizar  $P_2$  de forma de maximizar el rendimiento. Esto porque así se tiene la máxima compresión de base posible. Sin embargo solo podemos hacer esto en caso de que se comprima aire.

En efecto, si se comprime una mezcla aire-combustible, existirá una razón de compresión máxima, más allá de la cual la mezcla tiende a auto inflamarse. Por lo tanto se maximizará  $p_2$  de forma de llegar al límite tecnológico. En este caso conviene que la combustión se realice a presión constante. (ver figura 3). Es obvio que no conviene que la presión disminuya durante la combustión (disminuye el área de trabajo útil), pero tampoco puede aumentar la presión durante la combustión.

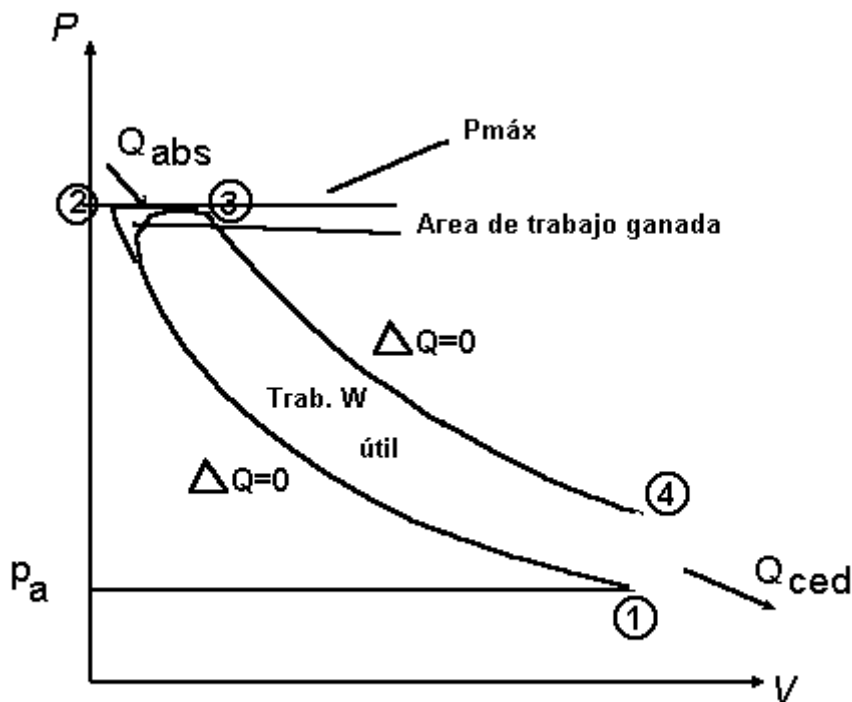


Figura 1.25 Combustión a volumen constante

Finalmente tenemos el caso de que la compresión máxima esté fija. Esto ocurre cuando se comprime una mezcla aire-combustible.

En este caso no se debe exceder una razón de compresión máxima, pues si se hace la mezcla tiende a auto inflamarse. En este caso conviene que la combustión se realice a volumen constante de forma de maximizar el área de trabajo (el caso se ilustra en la figura 4).

Claro que se debe tener presente de que, de partida, se usó una razón de compresión más baja, por lo cual se ha pagado una penalización de rendimiento desde la partida.

Este caso se da en el Ciclo Otto.

#### **e.- Perdidas En El Ciclo Otto Real**

Cabe mencionar que el ciclo óptimo está dado para un cierto régimen de funcionamiento, lo que quiere decir que un motor funciona mejor en ciertas condiciones que en otras, debido a características técnicas de construcción y al gas de trabajo.

#### **Aspiración**

Se produce un trabajo negativo mayor que el normal en la aspiración que puede ser efecto de:

- una caída de la presión en el múltiple de admisión debido al estrangulamiento excesivo en el múltiple de admisión.
- restricción del flujo debido al filtro de aire que tienen los motores para evitar que entre material articulado al cilindro.
- también se puede dar por un levante deficiente de las válvulas de admisión causado por algún problema mecánico

Este trabajo negativo se puede contrarrestar en parte cambiando el filtro de aire (posiblemente sucio y obstruido) por uno nuevo con mayor capacidad de flujo. Mantener en buen estado mecánico el eje de levas, balancines, válvulas y resortes de válvulas.

Cuando el flujo de aire es muy grande la mayor pérdida de presión es producida por el roce del aire en las válvulas. Para mejorar esta limitación técnica hay que hacer cambios grandes en el motor como lo son:

- la sobrealimentación que mantiene la presión del múltiple de admisión elevada para así disminuir el efecto de roce en las válvulas, esto como se dijo anteriormente a gran demanda de aire por parte del motor, de ahí que los sobrealimentados funcionen recién a partir de un cierto número de revoluciones del motor.
- cambiar las válvulas por unas más grandes para lograr un mayor flujo de aire o cambiar balancines para obtener un mayor levante de las válvulas.

Con el fin de obtener más trabajo del ciclo en motores muy revoluciona se atrasa el cierre de la válvula de admisión para que así por inercia ingrese más mezcla al cilindro. El efecto del atraso de la válvula de admisión en motores lentos es negativo ya que el pistón empuja la mezcla de vuelta al múltiple de admisión.

### **Compresión**

Existe un traspaso de calor desde los cilindros al gas lo que es inevitable. Además se comprime una mezcla de aire y combustible que difiere en sus propiedades termodinámicas de un gas ideal sumado a que la compresión es con roce.

El motor puede tener diferentes pérdidas de compresión:

- pérdidas entre pistón y cilindro debido a anillos en mal estado, deformidad del cilindro
- pérdidas en las válvulas que no cierran bien y no mantienen la presión
- pérdidas en la empaquetadura entre el block y la culata

## **Combustión**

La combustión no es instantánea y no se produce a volumen constante (lo que es el ideal y se trata de aproximarse lo más posible a esta situación). Se sabe además que la eficiencia tiene relación directa con la razón de compresión ( $\alpha$ ) que está dada técnicamente por cada motor.

En busca de este óptimo uno se encuentra con el problema de la detonación, que es una inflamación violenta del combustible produciendo una onda de choque que es capaz de destruir el motor. La detonación se produce cuando la compresión es demasiado alta para el combustible de un octanaje determinado.

El punto óptimo para encender la mezcla es aquel en que si se retrasa una muy pequeña fracción se va a producir la detonación. No hay que olvidarse de la temperatura ya que a menor temperatura hay menor presión por lo que es conveniente tener una baja temperatura de la mezcla así como del motor.

Es al límite de la detonación donde se maximiza el rendimiento para un motor con una compresión dada. Para evitar la detonación y maximizar el rendimiento se enciende prematuramente la mezcla antes de que alcance una presión demasiado elevada.

Se pueden producir diferentes fallas en el encendido (analizaremos para motores sin inyección electrónica)

- encendido prematuro / tardío debido a falla en el avance mecánico o por vacío
- no hay encendido, falla en los cables, bujías, una mezcla fuera de los límites de inflamación

### **Expansión**

Aquí también hay un traspaso de calor, esta vez del gas al cilindro, también existen pérdidas por compresión debido a las mismas causas

El ideal es expandir hasta la presión ambiente pero esta expansión está limitada por características técnicas del motor ya que el pistón no se puede desplazar más allá del punto muerto inferior donde el volumen es máximo.

### **Escape**

Aquí se producen pérdidas por mucho o poco avance en el múltiple de escape, esto es una apertura prematura o tardía (con respecto al óptimo) de la válvula de escape. Cualquiera de estas dos situaciones producen una merma en el área de trabajo del ciclo.

Si en el múltiple de escape hay una gran contra - presión el motor va a tener que hacer trabajo para lograr evacuar los gases de escape. En cambio una apertura prematura produce una pérdida en el trabajo realizable. Para lograr el óptimo hay que abrir la válvula de escape antes de que llegue al punto muerto inferior para que no haya contrapresión en el colector (múltiple de escape)

Una contrapresión puede deberse a un escape obstruido, doblado o a alguna reparación incorrectamente hecha como un cambio de silenciador.

Otro efecto importante es el de el gas residual dentro del cilindro, para minimizar esta masa de aire inerte se retrasa el cierre de la válvula de escape

mientras la válvula de admisión permanece abierta (se le llama cruce de válvulas). El efecto es que los gases aun sin quemar van a desplazar a los gases quemados. En este proceso siempre se escapa una porción de gases sin quemar.

### Otras Perdidas

Un motor real debe además vencer roces e inercias los que producen una merma en el trabajo utilizable. Para el caso de un automóvil se pueden nombrar: alternador, bomba de agua, bomba de aceite, ventilador, correas, eje de levas (con válvulas, resortes, balancines), bielas, pistones, metales, volante y muchos otros más.

### f.- Diferencias Entre El Ciclo Otto Teórico Y El Real Optimo

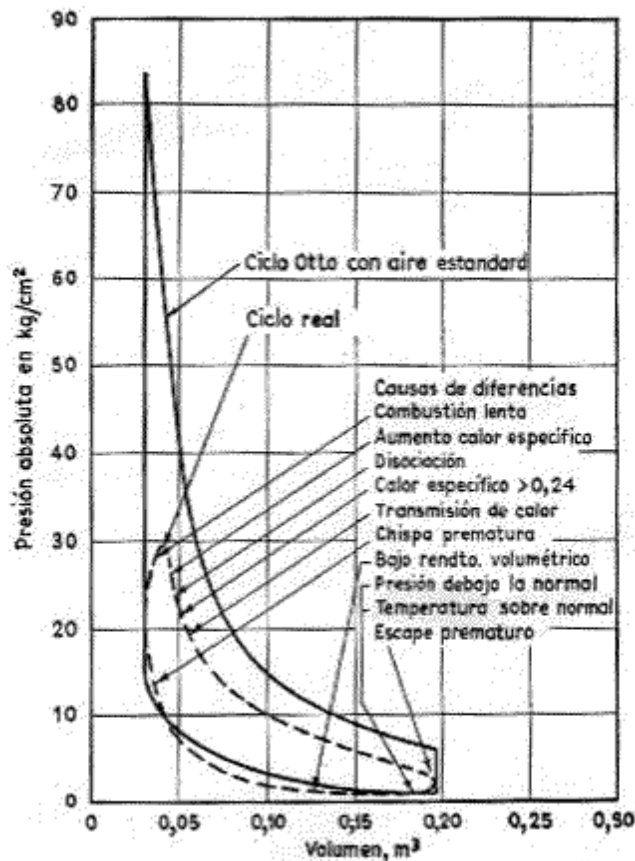


Figura 1.26 Diferencia ciclo teórico con ciclo real<sup>41</sup>

<sup>41</sup> [www.cec.ucchile.cl.com](http://www.cec.ucchile.cl.com)

## **Aspiración**

La válvula de admisión se abre y se aspira una carga de aire y combustible a una presión, teóricamente, igual a la atmosférica, provocando el descenso del pistón. La válvula de escape permanece cerrada.

En el ciclo real la presión del gas durante la aspiración es inferior a la presión atmosférica, por lo tanto, el cierre de la válvula de admisión se produce después que el pistón llega al extremo inferior de su carrera, es decir, se prolonga el período de admisión y entra en el cilindro la máxima cantidad de mezcla de aire y combustible.

## **Compresión**

No existe intercambio de calor entre el gas y las paredes del cilindro. La válvula de admisión y la de escape están cerradas y el pistón comienza a subir, comprimiendo la mezcla que se vaporiza.

En el ciclo real, el gas cede calor al cilindro, por consiguiente el gas se enfría y adquiere menos presión.

## **Combustión**

Ambas válvulas permanecen cerradas. Al llegar el pistón a la parte superior de su carrera, el gas comprimido se inflama por la chispa de la bujía. La combustión de toda la masa gaseosa es instantánea, por lo tanto el volumen no variará, y la presión aumentará rápidamente. En el ciclo real la combustión no es instantánea y el volumen de la mezcla va variando mientras se propaga la inflamación.

En este caso, el principal perfeccionamiento que se puede aportar, para la obtención de un máximo trabajo, será en la elección del instante preciso en que ha de producirse el encendido. La chispa debe saltar antes de que el pistón haya terminado la carrera de compresión, de esta manera aumenta



considerablemente la presión alcanzada después de la combustión y de esta forma el trabajo ganado será significativo.

### **Expansión**

El gas inflamado empuja al pistón. Durante la expansión, no hay intercambio de calor, al aumentar el volumen, la presión aumenta.

El aumento de la temperatura en el interior del cilindro durante la combustión produce, en la expansión, que los gases cedan calor al cilindro y se enfrían, dando como resultado una presión menor.

### **Escape**

Cuando el pistón se encuentra en el extremo inferior de su recorrido, la válvula de admisión permanece cerrada y se abre la de escape, disminuyendo rápidamente la presión, sin variar el volumen interior. Luego manteniéndose la presión igual a la atmosférica, el volumen disminuye.

En la realidad el escape no se hace instantáneamente, sino que en este período los gases tienen aún una presión superior a la atmosférica.

Por lo tanto, en el ciclo real la válvula de escape se abre antes de que el pistón llegue al extremo inferior de su recorrido, de este modo la presión del gas tendrá tiempo de disminuir mientras el pistón acaba su carrera descendente, al verificar éste su carrera ascendente sólo encontrará delante de él gases expansionados ya casi por completo.

La válvula de admisión se abre antes de que el pistón llegue al extremo superior de su recorrido, produciendo una cierta depresión en el cilindro que hace que la aspiración sea más enérgica.

## g.- Efectos Combustión de Relación de Compresión

### • PROCESO DE COMBUSTIÓN NORMAL Y ANORMAL:

Las primeras reacciones químicas se inician con el suministro de un mínimo de energía de encendido de la chispa y constituyen, la denominada fase de inflamación. La duración de esta fase es casi constante y sólo depende de la composición de la mezcla. Esto significa un retraso del encendido (tiempo entre el salto de chispa o punto de encendido y el punto de ignición, o respuesta medible en el desarrollo de presión) que prácticamente aumenta y varía con la relación  $\lambda$ , al aumentar el número de revoluciones del motor y con él el movimiento del pistón.

El desarrollo de la liberación de calor viene determinado principalmente por la forma de la cámara de combustión y por el punto de encendido; la duración de la combustión depende esencialmente de la velocidad de propagación de la llama (velocidad de combustión). Viene determinada por los procesos de difusión en el frente de la llama, así como por la fuerza de la turbulencia y además del desarrollo de la temperatura en la porción de mezcla (gas final) todavía no quemada.

La fuerza de la turbulencia en la cámara de combustión o en el frente de llama puede ser modificada, entre otras cosas, por la configuración de los órganos de admisión de la mezcla, la forma de la cámara de combustión (por ejemplo, con bordes productores de turbulencia), y el grado de aprovechamiento del movimiento del pistón para la denominada circulación de compresión. También puede auto generarse por propagación de la llama y la elevación de presión relacionada con la misma, y en todo caso depende de parámetros del motor tales como: compresión, temperatura del aire de la aspiración y número de revoluciones.

La elevación de presión durante la combustión es decisiva para la evolución de la temperatura del gas al final del proceso siempre que se puedan despreciar la conductividad térmica y la radiación.

Para lograr un bajo consumo de combustible (y de ello un elevado rendimiento), tener un tiempo de combustión corto, o sea, velocidades de combustión elevadas, y por otro lado interesa una correcta liberación de calor de acuerdo con el movimiento del émbolo. El punto de máxima liberación de calor debería pues estar situado muy cerca (a unos 5° a 10° del cigüeñal como se ve en la figura 1.28) después del PMS. Si el punto de desarrollo de combustión máxima está demasiado avanzado, se elevan las pérdidas de calor por las paredes y las pérdidas mecánicas (excesiva presión de combustión). Una liberación de calor retrasada conduce a una utilización desfavorable del calor (grado de calidad) y a elevadas temperaturas de los gases de escape.

La ubicación ideal del desarrollo de liberación de calor, es decir el salto de la chispa, debe asegurarse con precisión mediante un punto óptimo del encendido, teniendo en cuenta:

- La relación de aire ( $\lambda$ )
- La dependencia de la turbulencia de los parámetros del motor, (revoluciones, carga, etc.)

- **Problemas y limitaciones del encendido:**

En la práctica, la seguridad de la inflamabilidad y propagación de la llama prohíben empobrecer la mezcla hasta coeficientes de aire  $\lambda > 1,3$  en motores con formación de mezcla y encendido externo (motores Otto), aun cuando esto sería ventajoso para mejorar tanto el rendimiento teórico como el intercambio de gas (menores pérdidas en el estrangulamiento), y disminuir las pérdidas de calor por las paredes y de disociación (disminución de la temperatura de combustión).

El mejorar el rendimiento de la carga parcial con una mayor compresión hace que aparezca una combustión anómala en donde se presenta el picado o detonación a plena carga.

En el motor Otto tiene especial importancia este estado de funcionamiento - la “detonación o picado” - caracterizado por la forma en que se desarrolla la combustión, pues generalmente determina el límite superior de la potencia que puede desarrollar.

La detonación se produce con grandes relaciones de compresión, con gran sobrealimentación, con la existencia de mezclas pobres, con excesivo adelanto de encendido y también al aumentar la temperatura del aire aspirado. Aparece en muchos casos una marcha muy dura del motor; conjuntamente aparece un ruido con agudas resonancias (“Cascabeleo de Válvulas”).

Los efectos de la detonación están asociados a una mayor temperatura de los gases de escape (después de un funcionamiento bajo estas condiciones) y a un aumento de todos los esfuerzos térmicos.

Las investigaciones realizadas revelan que mientras en una combustión normal la velocidad de llama es 15 - 30 [m/s], la velocidad alcanzada en una combustión con detonación es 300 - 1000 [m/s]. Esto implica que en la combustión con detonación el inicio de ésta se desarrolla con velocidad normal y al final se realiza casi de forma instantánea.

Considerando que con la detonación arde muy rápidamente la parte de la mezcla que todavía no se ha quemado, la temperatura y la presión local experimentan un aumento mucho más rápido que cuando se tiene una combustión de tipo normal; originándose así una transmisión de calor elevada que genera un aumento excesivo de las cargas térmicas sobre el pistón y el cilindro.

Añadiendo a lo anterior, el hecho que en el cilindro se originan grandes diferencias de presiones; gran aumento inicial de la presión; y después ondas

de presión de gran amplitud; se comprenderá por qué el funcionamiento del motor bajo condiciones de detonación es tan dañino para éste. Obsérvese que existen aumentos de los esfuerzos mecánicos lo cual origina deterioro del pistón, de la culata y de las válvulas.

Estudios realizados demuestran que las radiaciones en la combustión con detonación indica que existe una proporción mayor de radiaciones de onda larga ( de 5 a 11  $\mu$ ) que con funcionamiento normal. La energía de radiación emitida con detonación es mayor; no obstante, la radiación total de los gases de combustión son menores. La radiación infrarroja alcanza su máximo antes que con combustión normal.

- **Causas y formas de control de la detonación:**

Influye de manera importante, el avance al encendido, el exceso de aire, el número de revoluciones y la configuración de la cámara de combustión.

- **El avance del encendido;** por cuanto un excesivo avance del encendido aumenta el trabajo de compresión, originando un aumento de la temperatura final de compresión de la mezcla, lo que provoca presiones y temperaturas de combustión mayores a lo normal, favoreciendo así la ocurrencia del fenómeno.

El avance del encendido óptimo para el motor, varía de acuerdo a las condiciones de mezcla aire-combustible admitido. Especial consideración se debe tener en relación al avance del encendido para cargas parciales donde la mezcla es de tipo pobre.

En los casos de plena carga el punto de encendido que permite obtener la mayor potencia efectiva, es aquel en que ocurre una leve detonación, por cuanto ésta ayuda a que la combustión se desarrolle prácticamente a volumen constante.

-**Relación de Compresión;** la tendencia a la detonación crece, cuando aumenta la relación de compresión. Esto se debe a que la temperatura y presiones alcanzadas antes de la combustión hacen posible el autoencendido.

**-Características y condiciones de la mezcla;** las variables relacionadas con la mezcla aire-combustible, en el fenómeno de detonación son: la relación aire-combustible, el rendimiento de llenado, la distribución y la turbulencia de la mezcla en el interior del cilindro y la temperatura de la mezcla.

Las mezclas pobres presentan una alta tendencia a la detonación debido fundamentalmente a las bajas velocidades de combustión.

Al aumentar el rendimiento de llenado crece la tendencia a detonación, dado que al existir una mayor masa de aire-combustible en el cilindro, se alcanzan rápidamente las condiciones de autoencendido, es decir, alta presión y temperatura.

La distribución homogénea de la mezcla y elevada turbulencia de esta en el interior del cilindro antes del encendido (mediante la bujía), resultan adecuadas para controlar eficientemente la detonación, ya que es posible obtener, aún en mezclas pobres, altas velocidades de combustión. Este efecto también produce una mayor potencia efectiva y menor emisión de contaminantes.

Una baja temperatura de la mezcla en la admisión (no mayor a 50°C), disminuye la tendencia a la detonación, por cuanto la temperatura final de compresión que se obtiene al interior del cilindro, es menor que la correspondiente a la condición de autoencendido del combustible.

**-El número de revoluciones;** cuando opera a bajas revoluciones y gran abertura de la mariposa, puesto que se combinan un alto rendimiento de llenado y una mezcla de tipo pobre (más tiempo para que se auto encienda la parte aun no quemada).

## CAPITULO II

### DISEÑO DE LA CÁMARA Y SUS ELEMENTOS

#### Objetivo

- Determinar los parámetros y características consideradas el diseño de un conjunto cabezote con cámara de combustión variable.
- Determinar material de construcción, dimensiones y rangos de variación de la cámara de combustión variable.

Antes de diseñar un nuevo conjunto cabezote con cámara de combustión variable determinamos las características del motor a modificarse el cabezote, siendo esto como primer paso para empezar al diseño.

#### 2.1. CARACTERÍSTICAS MOTOR BRIGSS & STRATON

<b>Potencia Máx.:</b>	8 HP
<b>Diámetro Cilindro:</b>	75.30 mm
<b>Carrera:</b>	61.00 mm
<b>Radio cigüeñal</b>	30.50 mm
<b>Cilindrada:</b>	271.65 cc
<b>Relación Compresión:</b>	<b>9:1</b>
<b>Refrigeración</b>	Aire
<b>Arranque:</b>	Manual
<b>Disposición Válvulas:</b>	Block Tipo L
<b>Material:</b>	Aluminio
<b>Modelo:</b>	164411

- 16: Cilindrada en Pulgadas cúbicas
  
- 4: Tipo Básico, relacionado a construcción del cilindro , encendido.
  
- 4: Horizontal ( *posición cigüeñal*); Flojet Regulador mecánico ( *tipo carburador*)
  
- 1: Brida Montaje , cojinetes de fricción ( *Tipo de cojinetes , reductor y toma de fuerza auxiliar*)
  
- 1: Puesta en marcha mediante cuerda (Tipo *puesta en marcha*)

Se selecciona este motor por la característica por ser monocilíndrico y la posición de las válvulas en el block, dando lugar a disponer de un cabezote sencillo, el cual esta formado por la cámara de combustión y alojamiento de la bujía.

## **2.2. MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA Y SUS ELEMENTOS**

Para la construcción de la cámara y elementos se debe tomar en cuenta las siguientes características del material :

- Transferencia de Calor del Material.
- Resistencia al Esfuerzo
- Resistencia al calentamiento y maquinabilidad.



Desde el punto de vista de la resistencia mecánica es evidente que las aleaciones que pueden ofrecer la mayor carga de rotura son las de mejoramiento. Entre estas la que ofrece mejores características de resistencia, especialmente al desgaste, son las aleaciones de cobre, según las aleaciones al magnesio (7 – 10 %) al silicio – magnesio y al zinc – magnesio estos poseen una elevada tenacidad.

Sobre la resistencia al calentamiento, las aleaciones de mejor comportamiento son las que contienen cobre, níquel y hierro; según las de gran contenido de magnesio y de silicio.

Con respecto a la mecanización, las más mecanizables son las que dan una viruta quebradiza y ofrecen escasa resistencia mecánica, desde este punto de vista las aleaciones de cobre – aluminio son las mejores.

Teniendo en cuenta los puntos que tratamos anteriormente con respecto al esfuerzo máximo que va a soportar la pieza en construcción y el mecanismo de pistón móvil requerimos las tablas de las aleaciones unificadas determinando el tipo de materiales dispuestos en las diferentes fundidoras con las especificaciones de las aleaciones en stock.

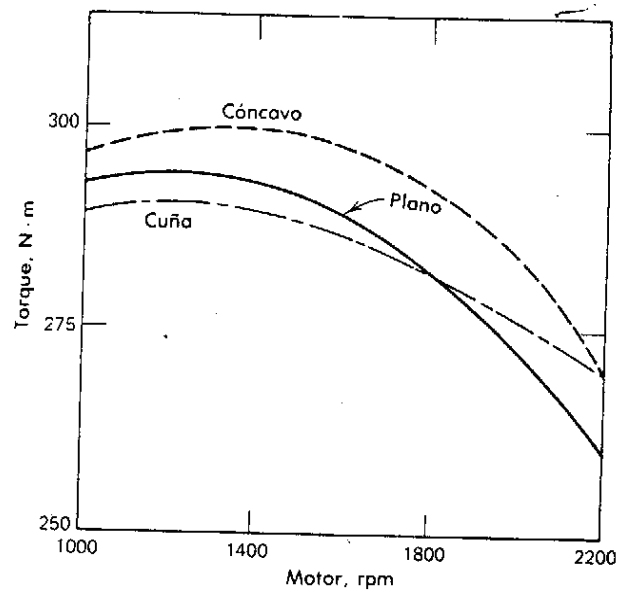
De la **Anexo 1** de Aluminio con aleaciones, escogimos el G – Al Si 5 Cu MG que es un material para usos generales y en particular para cilindros de motores y cuerpos de bombas tiene su base de fundición igual a la de los pistones para su fundición base posee una alta resistencia a tracción; posee un mecanizado bueno con desprendimiento de poca viruta; tiene un factor de resistencia a la presión de bueno y puede soportar esfuerzos hasta 1200 Kgf.

## **2.3. DISEÑO DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN**

### **2.3.1. Condiciones generales antes de diseñar una cámara de combustión.**

- a) La presión del cilindro debe aumentar de manera que el valor máximo sea alcanzado cuando el pistón haya sobrepasado el p.m.s. y posteriormente, disminuir gradualmente la fase de expansión, para que la fuerza expansiva del gas se aplique al pistón de una manera progresivamente.
  
- b) La superficie interna no debe presentar puntos salientes, que al ponerse incandescentes durante la combustión y después de ella provocarían el autoencendido o a la detonación.
  
- c) La forma de la cámara debe ser la mas adecuada, para que el frente de llama mantenga una velocidad lo mas elevada posible por medio de una buena turbulencia.

En la figura siguiente se indica el efecto de la forma de la cámara de combustión con relación al rendimiento del motor.



**Figura 2.1. Forma de la Cámara en relación de la forma**

### **2.3.2. Cálculo y Diseño de la cámara de combustión variable.**

La cámara de combustión es el espacio en la parte superior del cilindro, en la que se produce la combustión de la mezcla aire – gasolina, siendo este espacio el que se debe modificar tomando en cuenta las siguientes características.

- Permitir la variación de la relación de compresión ( E )
- Ser completamente sellada ( fugas de compresión nulas)
- Dar turbulencia dentro de la cámara para tener una buena mezcla de aire – gasolina.
- Mantener el contorno del cabezote original para evita choques de válvulas y pistón de motor.

Ahora debemos analizar los parámetros del motor que nos permiten modificar la relación de compresión, según la fórmula dada teóricamente para calcular este parámetro se obtiene que :

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c} \quad (2.1)^{42}$$

**Donde :**

E = Relación de Compresión

V<sub>h</sub> = Volumen desplazado por el pistón.

V<sub>c</sub> = Volumen sobre la cabeza del pistón en el P.M.S (cámara de combustión)

y:

$$V_h = \pi r^2 L \quad (2.2)^{43}$$

**Donde:**

r = Radio del pistón del motor

L = Carrera del pistón

Con referencia a las expresiones anteriores podemos notar que si variamos el volumen de la cámara de combustión, podemos modificar la relación de compresión del motor, y al tener características constructivas sencillas del cabezote original, se ve idóneo realizar el diseño que nos permita variar el volumen de la cámara de combustión.

---

<sup>42</sup> Crouse W: Motores de Automovil, Alfaomega, Barcelona, 1996.

<sup>43</sup> Manual de Reparaciones y Servicios Motor Briggs & Stratton

Entonces lo que se quiere conseguir es que el motor Briggs & Stratton que tiene originalmente un relación de compresión de **9:1** , el operario pueda variar modificar esta compresión , siendo lo mas común esto en carros de competencia la operación de cepillar el cabezote , con este trabajo logramos reducir el volumen de la cámara y aumentar la relación de compresión , y si en otro caso queremos que esta compresión sea mayor lo que se tiene que realizar es colocando empaques de mayor espesor para así aumentar la cámara de combustión y alterar la relación de compresión original del motor ; pero en el tema propuesto lo que se pretende es lograr tener relaciones altas y bajas con relación a la originalmente dada por el fabricante del motor.

Lo que debemos diseñar es un sistema que permita aumentar y disminuir el volumen de la cámara de combustión, pero a la vez tener en cuenta el diseño original para evitar golpeteos de elementos internos del motor y desgastes innecesarios.

Para lo cual se plantea el problema de la siguiente manera : del motor Briggs & Stratton con relación **9:1** se desea conseguir una relación de compresión mas alta , relación **8:1** , además se desea obtener una relación de **10:1** , quedándonos así la relación de compresión original como intermedia entre las propuestas.

Utilizando la formula de relación de compresión y aplicándola a los datos del motor , empecemos a conocer el volumen de la cámara de combustión .

Despejando de la formula principal :

$$V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1} \quad (2.3)$$

Reemplazamos datos

$$V_c = \frac{271.649cc}{9-1}$$

$$V_c = 33.95 \text{ cc}$$

Ahora lo que tenemos modificar es este valor , en uno de mayor y otro menor , para lo que reemplazamos las relaciones de compresión propuestas para el diseño en la formula anterior .

$$V_{C_1} = \frac{V_h}{\varepsilon - 1} \text{ (2.3)}$$

Con relación de compresión **8:1**

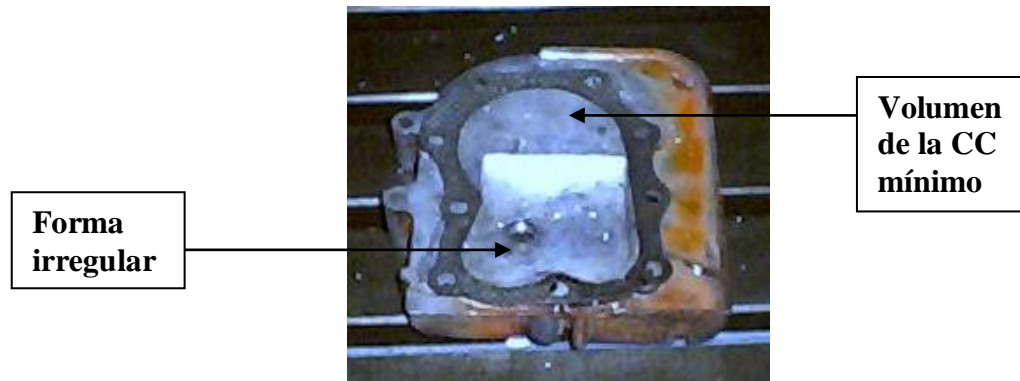
$$V_{C_1} = 38.807 \text{ cc}$$

Ahora con relación de compresión **10:1**

$$V_{C_2} = 30.183 \text{ cc}$$

Para conseguir una relación de compresión de 8:1 se debe reducir la cámara de combustión en 4.857 cc y para conseguir una relación de compresión de 10: 1 se debe aumentar 3.767 cc .

Ahora para poder modificar estos valores y cumplir con los requisitos planteados en un principio, primero tenemos que fijarnos en la forma que presenta la cámara de combustión original de motor, en la que observamos su forma es irregular.

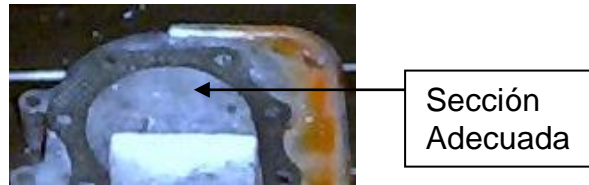


**Figura 2.2. Foto Cabezote Motor**

Como se puede apreciar en la gráfica anterior, se observa que el diseño es irregular, por lo que necesariamente la cámara de combustión variable debe presentar esta misma forma.

Para escoger la forma de la cara que va a variar nos fijamos en el cabezote original, se debe considerar la presión que va soportar ésta ; además que no debe fugar compresión hacia el exterior , partiendo de la formula **Presión = Fuerza / Área** , buscamos la zona de mayor superficie y de forma mas regular , ya que entre mas área se disponga para realizar la cara de la cámara la presión será menor , dando lugar a menor fatiga en los materiales y en todo el conjunto a construirse.

De esta manera es seleccionada la sección de la gráfica de la cámara para realizar un análisis de la forma que va a tener la cara de la cámara de compresión.



**Figura 2.3. Sección Cabezote Motor**

Para el análisis se toma en cuenta los siguientes parámetros.

- Forma que presenta el contorno de la cámara original , ya que la nueva cámara debe presentar el mismo contorno
- Una pieza circular se distribuye uniformemente la fuerza que se ejerce en la cara de la misma.
- Como en los motores en general, la mejor manera en el aspecto constructivo y en costos se utiliza segmentos (rines) para retener la compresión en la cámara.

Con los parámetros anteriores acoplamos la información y verificamos que la sección adecuada indicada en la figura, se puede realizar un cilindro en que va a tener una cara circular, además de un fácil ensamblaje de los rines en este cilindro.

Anteriormente calculamos las áreas que se necesita reducir y aumentar, ahora debemos conocer que espacio en volumen disponemos para trabajar en el nuevo diseño.

Así en esta sección se dispone una circunferencia de 79.90 mm de diámetro, por que se llega a cumplir los parámetros expuestos anteriormente.



Para conocer cuanto se va a desplazar esta circunferencia, debemos conocer el área inicial para luego calcular la altura que debe recorrer y obtener la relación de compresión requerida en un principio.

Ahora con el volumen que se debe modificar, que fue calculado anteriormente debemos calcular la altura que se debe desplazar de la siguiente manera.

**Datos:**

$$V_{ci} = 33.95 \text{ cc (calculado)}$$

$$V_{c1} = 38.80 \text{ cc}$$

$$V_{c2} = 30.183$$

Del volumen inicial debemos calcular el volumen real que se va a obtener ya que al poner cilindro se va disminuir el volumen.

**Tenemos:**

$$\text{Volumen de la cámara inicial} = \mathbf{33.95 \text{ cc}}$$

Volumen del pistón =  $\mathbf{32.59 \text{ cc}}$ , considerando una profundidad de 6.5 mm que es la profundidad de la cámara en la otra sección, solo por motivo de calculo.

$$\text{Volumen parcial de cámara} = \mathbf{8.70 \text{ cc}}, \text{ el volumen que existe en un espacio irregular.}$$

El volumen que se va a obtener en la cámara es:

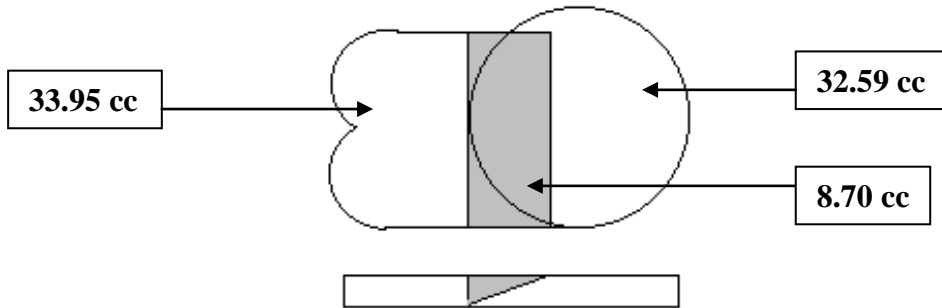


Figura 2.4. Esquema de Volúmenes Cámara Combustión

Cálculos:

Si restamos 33.95 de 32.59 nos queda el área de 1.36 cc que se indica en el gráfico siguiente, este nos sirve para determinar el volumen de la cámara de combustión, la que imaginariamente colocamos el cilindro así.

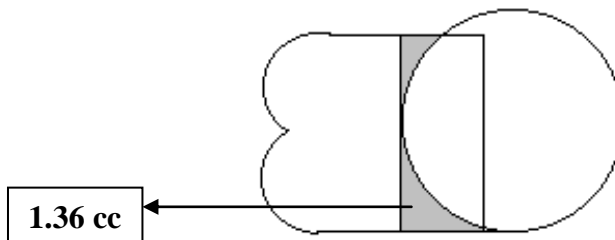
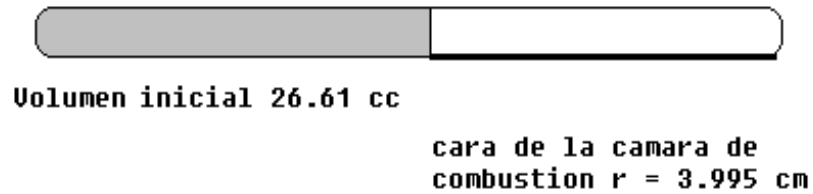


Figura 2.5. Esquema de Volumen Calculado

Ahora calculemos el volumen de la cámara de combustión, suponiendo que el cilindro toca en el block .

El volumen es:  $33.95\text{cc} - (8.70 - 1.36) = 26.61\text{ cc}$

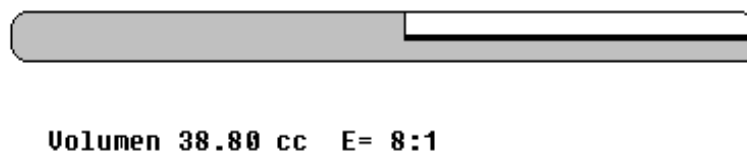


**Figura 2.5. Esquema de Volumen inicial de la cámara**

Ahora calculamos la altura que el pistón debe desplazarse para conseguir las relaciones de compresión planteadas .

**Como:**

- el volumen requerido de la cámara de compresión para obtener una relación de **8:1**, es de 38.80 cc , al cual debemos restarle el volumen de la cámara inicial que ahora tiene 26.61 cc .



**Figura 2.6. Esquema de Volumen Requerido**

Entonces el volumen restante que falta para llegar al volumen de trabajo del motor con relación **8:1** es:

$$38.80 \text{ cc} - 26.6 \text{ cc} = 12.19 \text{ cc}$$

El volumen de 12.19 cc es la cantidad en centímetros cúbicos que la circunferencia máxima en la cámara debe desplazarse hacia arriba.

**Utilizamos la expresión:**

$$Vh = \pi r^2 L \text{ (2.2)}$$

Para poder conocer la altura necesaria para obtener el volumen del cilindro adecuado.

**Despejando L:**

$$L = \frac{Vh}{\pi \bullet r^2} \text{ (2.3)}$$

**Donde:**

L = longitud o altura que se va a desplazar la cara de la cámara de combustión.

Vh = volumen necesario para conseguir la relación propuesta.

R = radio de la circunferencia que esta dispuesta en la cámara de combustión

**Remplazando Datos:**

$$h = \frac{12.19cc}{\pi \times (3.995)^2} \text{ (2.4)}$$

$$h = 0.24311 \text{ cm} = 2.43 \text{ mm}$$

El valor de 2.43 mm se debe desplazar la cara de la cámara hacia arriba para obtener la relación de compresión de 8:1.

Ahora para conseguir una relación de compresión propuesta de 10:1 realizamos el mismo procedimiento así:

Para una relación de compresión de 10:1 se requiere un volumen de 30.18 cc , pero al que debemos resta el volumen inicial de la cámara de 26.6 cc , obtendríamos el volumen restante de 3.57 cc .



**Uolumen 30.18 cc E= 10:1**

**Figura 2.7. Esquema Volumen Requerido**

**Remplazando datos en la formula nos quedaría:**

$$h = \frac{3.57 \text{ cc}}{\pi \times (3.995)^2}$$

$$\mathbf{h=0.0712 \text{ cm.}=0.712 \text{ mm}}$$

Entonces la cara de la cámara debe desplazarse 0.712 mm desde su estado inicial .

Con el análisis que se expone se realiza una tabla de las alturas que se debe tener para las relaciones de compresión, y utilizando las formulas de la altura con respecto al volumen necesario.

**Tabla 2.1.**

Calculo de alturas en función de la relación de compresión requerida

<b>Relación de Compresión</b>	<b>Volumen de desplazamiento</b>	<b>Altura h</b>
6:1	27.72 cc	5.52 mm
7:1	18.67cc	3.72mm
8:1	12.20cc	2.43mm
9:1	7.35cc	1.46mm
10:1	3.58cc	0.71mm
11:1	0.564cc	0.11mm

- **Volumen de desplazamiento:** Es el volumen necesario para obtener la relación de compresión requerida , menos el volumen inicial de 26.6 cc

Se puede observar la altura mínima y máxima que la cara de cámara debe desplazarse en la columna de la altura.

En resumen el diseño de la cámara de combustión es de la siguiente manera:

- La distancia total de desplazamiento es 5.52 mm como valor
- La forma geométrica del contorno de la cámara de combustión variable es similar a la de la cámara original.
- La cara de la cámara de combustión que va a variar es de un diámetro de 79.90 mm

- La profundidad es similar de la cámara original, ya que los cálculos se los realizo con una profundidad de 6.5 mm.
- El ancho de la cámara es igual a 17.70 mm que es el ancho del empaque del cabezote original.
- Las perforaciones de los pernos para la sujeción del cabezote son dimensionalmente iguales ya que no es necesario modificar esto
- El gráfico dimensional es indicado en el **plano 1**.

## 2.4. DISEÑO DEL ÉMBOLO

Tomado en cuenta el diámetro máximo que se dispone en el contorno de la cámara de compresión, tenemos la base del émbolo a construirse, ahora lo que se debe es conocer la altura que éste debe tener.

Características iniciales que se debe tomar en cuenta antes de dimensionar el émbolo que tiene como objetivo formar la cara superior de la cámara de compresión variable.

- Hermetizar la presión que se ejerce en la cámara de compresión.
- Tener resistencia a la fuerza que va ejercer la presión máxima del ciclo.
- Tener superficie de rozamiento mínima entre el embolo y el cilindro para que no exista juego al subir y bajar dicho embolo ( cabeceo)
- Espacio suficiente para colocar los rines que ayudaran a retener la compresión en la cámara, espacio entre rines 1.5 mm.
- Además es recomendable dejar 1/16" entre la cabeza del pistón y el primer segmento de compresión

- Tener una sección donde puedan los gases realizar turbulencia para una mejor mezcla de aire – gasolina.
- Tener limitación en el recorrido por medio de un tope que tenga un recorrido de 5.52 mm que es la altura máxima para variar la cámara de combustión
- Disponer espacio suficiente para alojar el mecanismo de unión entre el émbolo y el mecanismo de variación
- El gráfico dimensional es indicado en el **plano 2**.

#### **2.4.1. Cálculo de Embolo.**

Para el calculo disponemos de datos como:

Diámetro máximo:            78.07 mm

Como primer paso nos disponemos a calcular la presión máxima que va a existir en el interior de la cámara de combustión variable, para lo que utilizaremos los siguientes datos conocidos.

Diámetro del pistón:            75.30 mm

Presión atmosférica:            0.10132 Mpa

K :                                    1.4

La relación de compresión máxima obtenida de la Tabla 2.1 es de 11:1 , que será la que utilizaremos en este calculo.

**Solución:**



## Presión Máxima

Mediante la formula:

$$P_c = P_a \times E^k \text{ }^{44}$$

Reemplazamos datos:

$$P_c = 0.10132 \text{ Mpa} \times 11^{1.4}$$

$$P_c \text{ máx.} = 2.90833 \text{ Mpa}$$

Ahora procedemos a calcular la Fuerza máxima generada en el interior de la cámara de combustión variable.

## Fuerza Máxima

$$F = \text{Presión Máxima} \times \text{Área de embolo} \text{ }^{45}$$

$$A_{EMBOLO} = \frac{78.07^2 \times \pi}{4}$$

$$A_{EMBOLO} = 4786.9428 \text{ mm}^2$$

$$F \text{ máx.} = 2.90833 \text{ Mpa} \times 4786.9428$$

$$F \text{ máx.} = 13922.0094 \text{ N}$$

---

<sup>44</sup> Faires, Virgil Moring; Termodinámica ; México Limusa C 1993

<sup>45</sup> Mott, Robert L; Diseño de elemntos de maquinas, 2 ed , México , C 1995

## Área de Corte

$A_s = \text{Perímetro} \times \text{Altura}$

$$A_s = \pi \times \varnothing_{\text{EMBOLO}} \times h^{46}$$

$$A_s = \pi \times 78.07\text{mm} \times 35 \text{ mm}$$

$$\mathbf{A_s = 8584.2 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = \frac{F}{A_s}$$

$$\tau = \frac{13922.0094N}{8584.2\text{mm}^2}^{47}$$

$$\tau = 1.621\text{Mpa}$$

## Resistencia al Punto cedente

$$S_y = \tau \times N^{48}$$

**N = Factor de seguridad**

$$S_y = 1.621\text{Mpa} \times 3$$

$$S_y = 4.83 \text{ Mpa}$$

---

<sup>46</sup> Mott, Robert L; Diseño de elementos de maquinas, 2 ed , México , C 1995

<sup>47</sup> Mott, Robert L; Diseño de elementos de maquinas, 2 ed , México , C 1995

<sup>48</sup> Mott, Robert L; Diseño de elementos de maquinas, 2 ed , México , C 1995

Con este valor de la resistencia al punto cedente seleccionamos el material con la Tabla del **Anexo 2** .

El valor mas aproximado a este valor, y tomando en cuenta factores de temperatura y mecánicos, seleccionamos un valor de  $S_y$  mas elevado, de esta manera tenemos:

Aluminio 1060-0

## **2.5. DISEÑO DE MECANISMO DE VARIACIÓN**

El mecanismo de variación de todo el conjunto debe tener las siguientes características.

- Aplicar un fuerza de igual magnitud al émbolo para que no exista movimiento y por ende variación involuntaria del volumen de la cámara de compresión.
- Debe realizar un movimiento suave y periódico para la variación de las diferentes relaciones de compresión.
- Disponer de un mecanismo que permita el manejo y operación desde el exterior del motor.
- Acoplarse fijamente al émbolo de la cámara de combustión.
- El gráfico dimensional es indicado en el **plano 2**

### 2.5.1. Cálculo Mecanismo de Variación.

Para el calculo utilizamos la presión máxima en la cámara de combustión ya que es la misma que actúa sobre el embolo y el mecanismo de variación a una relación máxima calculada de 11:1.

**Presión Máxima : 2.909 Mpa**

Considerando el diámetro máximo que se dispone para construir y el roscado de 1.25 mm con una altura rosca de 0.395 mm que se va a disponer el diámetro del mecanismo de variación es de:

Diámetro Mecanismo de Variación: 78.86 mm

**Solución:**

**Fuerza Máxima**

Fuerza = Presión Máxima x Área del Mecanismo de Variación.

$$A_{MEC.VARIACION} = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$A_{MEC.VARIACION} = \frac{\pi \times 78.86^2}{4}$$

$$A_{MEC.VARIACION} = 4884.312mm^2$$

$$F \text{ máx.} = P \text{ máx.} \times A_{MEC.VARIACION}$$

$$F \text{ máx.} = 2.909 \text{ Mpa} \times 4884.312 \text{ mm}^2$$

$$F \text{ máx.} = 14208.46 \text{ N}$$

### Área de Corte

$$A_s = \text{Perímetro} \times \text{altura}$$

La altura se determinó considerando la suma de las secciones de corte por cada rosca, en 11.5 hilos del mecanismo de variación.

$$A_s = \pi \times \varnothing_{\text{MEC.VARIACIÓN}} \times \text{altura}$$

$$A_s = \pi \times 78.86 \text{ mm} \times 17.5 \text{ mm}$$

$$A_s = 4335.56 \text{ mm}^2$$

$$\tau = \frac{F}{A_s}$$

$$\tau = \frac{14208.46 \text{ N}}{4335.56 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 3.277 \text{ Mpa}$$

### Resistencia al punto cedente

$$\tau = \frac{S_y}{N}$$

$$S_y = \tau \times N$$

$$S_y = 3.277 \text{ Mpa} \times 3$$

$$S_y = 9.8315 \text{ Mpa}$$

Con este valor seleccionamos en la tabla de materiales del **Anexo 2**, y relacionando con el valor obtenido del cálculo del embolo verificamos el material optimo para la construcción de estos elementos.

Aluminio 1060-0

## 2.6. DISEÑO PERNOS DE BASE DE MOTOR

Para sujetar el motor a la base del banco de pruebas es necesario colocar pernos, los cuales se diseñan a continuación de acuerdo a las características estructurales del motor.

## DATOS

**Peso Motor = 22.05 Kg.**

**Peso Motor + volante de inercia + motor de arranque = 32.272 Kg.**

**Solución:**<sup>49</sup>

### 1. Carga por esfuerzo de corte

P = 33.272 Kg.

### 2. Carga Aplicada

---

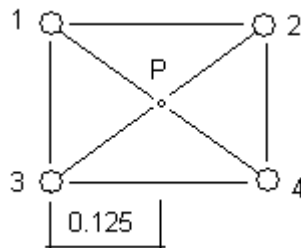
<sup>49</sup> Diseño de Maquinas y Herramientas , Mott

$$F_s = \frac{P}{4}$$

$$F_s = \frac{32.272kg}{4}$$

$$F_s = 8.06kg$$

### 3. Momento producido por la fuerza aplicada

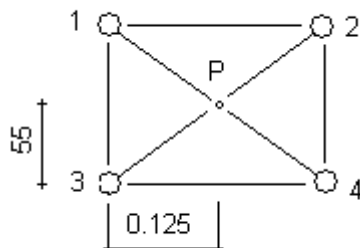


$$M = P \times d$$

$$M = (316.272kg \times 9.8m/s^2) \times 0.125$$

$$M = 39.53Nm$$

### 4. Radio de Giro



$$r1 = \sqrt{55^2 \oplus 125^2}$$

$$r1 = 136.56mm$$

### 5. Sumatoria de radio de Giro

$$\sum r^2 = 4(r_1)^2$$

$$\sum r^2 = 0.07459 \text{ m}^2$$

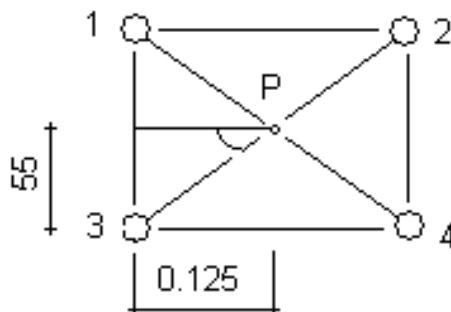
## 6. Fuerza Longitudinal

$$F_i = \frac{Mr_1}{\sum r^2}$$

$$F_i = \frac{39.53 \text{ Nm} \times 0.136 \text{ m}}{0.07459 \text{ m}^2}$$

$$F_i = 72.075 \text{ N}$$

## 7. Descomposición de Fuerzas



$$\text{tg} \alpha = \frac{55}{125}$$

$$\text{tg} \alpha = 0.44$$

$$\alpha = \text{tg}^{-1} 0.44$$

$$\alpha = 23.75^\circ$$

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

$$\beta = 90^\circ - 23.75^\circ$$

$$\beta = 66.25^\circ$$



$$F_{ix} = F_i \times \text{sen } \alpha$$

$$F_{ix} = 72.075 \text{ N} \times \text{sen } 23.75^\circ$$

$$F_{1x} = 69.62 \text{ N}$$

$$F_{1y} = F_i \times \text{cos } \alpha$$

$$F_{1y} = 72.075 \text{ N} \times \text{cos } 23.75^\circ$$

$$F_{1y} = 65.97 \text{ N}$$

### 8. Sumatoria de fuerzas en el eje Y

$$F_{yt} = F_{iy} + F_s$$

$$F_{yt} = 65.97 \text{ N} + 78.988 \text{ N}$$

$$F_{yt} = 144.95 \text{ N}$$

### 9. Sumatoria de radio de Giro

$$R_1 = \sqrt{F_{yt}^2 + F_{ix}^2}$$

$$R_1 = \sqrt{144.95^2 + 69.62^2}$$

$$R_1 = 160.81 \text{ N}$$

### 10. Selección de material Tabla 19-1 , Anexo 3

Acero ASTM A325 para tornillos cuya tensión permisible ante esfuerzo de corte  
121 Mpa

### 11. Determinación área de corte

$$R = 160.81 \text{ N}$$

$$A_s = \frac{R_1}{a}$$
$$A_s = \frac{160.81N}{121Mpa}$$
$$A_s = 1.329mm^2$$

## 12. Determinación del diámetro de perno

$$D = \sqrt{\frac{4A_s}{\pi}}$$
$$D = \sqrt{\frac{4 \times 1.329}{\pi}}$$
$$D = 1.300mm$$
$$D = 0.0512pulg$$

Equivalente a ½ de pulgada de diámetro de perno comercial.

## **CAPITULO III**

### **CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LOS ELEMENTOS**

#### **OBJETIVO**

- El presente capitulo tiene como finalidad dar a conocer el procedimiento de construcción o elaboración de una cámara de combustión variable.

Para empezar a construir debemos conocer los materiales, herramientas y los procedimientos mas idóneos para la realización de todo el conjunto cabezote con cámara de combustión variable. A continuación describimos los materiales y procesos utilizados.

#### **3.1. CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN VARIABLE**

##### **3.1.1. Materiales Y Herramientas**

- Aluminio
- Cobre
- Torno
- Contrapunto
- Cuchilla ( interiores, exteriores)
- Calibrador de Roscas
- Calibrador Pie de Rey
- Moleteadora

- Fresadora CNC
- Elementos de Sujeción en Fresadora
- Sistemas computalizados CAD/CAM
- Red Informática o Diskets
- Terraaja
- Acero ( varilla )

### **3.1.2. Procedimientos**

- Transformación de datos de A – CAD a un sistema CAM de coordenadas
- Transmisión de coordenadas a maquina herramienta CNC
- Fresado por Control Numérico Computalizado
- Cilindrado Torno
- Roscado Torno
- Moletado Torno

Para elaborar la cámara de combustión se debe tener en cuenta los parámetros que limitan su diseño, como se indica en el capítulo II.

Para la fabricación de la cámara de combustión variable , tomando en cuenta que es un elemento que necesita precisión y de diseño complejo , es viable utilizar sistemas computarizados que nos ayudaran a conseguir el diseño con menor margen de error dimensional y un proceso de maquinización del material rápido .

Los sistemas son utilizados conjuntamente para su mejor comprensión se detalla la utilización generalizada de los mismos

**CAD/CAM**, proceso en el cual se utilizan los ordenadores o computadoras para mejorar la fabricación, desarrollo y diseño de los productos. Éstos pueden fabricarse más rápido, con mayor precisión o a menor precio, con la aplicación adecuada de tecnología informática.

Los sistemas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD, acrónimo de Computer Aided Design) pueden utilizarse para generar modelos con muchas, si no todas, de las características de un determinado producto. Estas características podrían ser el tamaño, el contorno y las formas de cada componente, almacenadas como dibujos bi y tridimensionales. Una vez que estos datos dimensionales han sido introducidos y almacenados en el sistema informático, el diseñador puede manipularlos o modificar las ideas del diseño con mayor facilidad para avanzar en el desarrollo del producto.

Además, pueden compartirse e integrarse las ideas combinadas de varios diseñadores, ya que es posible mover los datos dentro de redes informáticas, con lo que los diseñadores e ingenieros situados en lugares distantes entre sí pueden trabajar como un equipo. Los sistemas CAD también permiten simular el funcionamiento de un producto. Hacen posible verificar si un circuito electrónico propuesto funcionará tal y como está previsto, si un puente será capaz de soportar las cargas pronosticadas sin peligros e incluso si una salsa de tomate fluirá adecuadamente desde un envase de nuevo diseño.

Cuando los sistemas CAD se conectan a equipos de fabricación también controlados por ordenador conforman un sistema integrado CAD/CAM (CAM, acrónimo de Computer Aided Manufacturing).

La Fabricación Asistida por Ordenador ofrece significativas ventajas con respecto a los métodos más tradicionales de controlar equipos de fabricación

con ordenadores en lugar de hacerlo con operadores humanos. Por lo general, los equipos CAM conllevan la eliminación de los errores del operador y la reducción de los costes de mano de obra. Sin embargo, la precisión constante y el uso óptimo previsto del equipo representan ventajas aún mayores. Por ejemplo, las cuchillas y herramientas de corte se desgastarán más lentamente y se estropearían con menos frecuencia, lo que reduciría todavía más los costes de fabricación. Frente a este ahorro pueden aducirse los mayores costes de bienes de capital o las posibles implicaciones sociales de mantener la productividad con una reducción de la fuerza de trabajo. Los equipos CAM se basan en una serie de códigos numéricos, almacenados en archivos informáticos, para controlar las tareas de fabricación. Este Control Numérico por Computadora (CNC) se obtiene describiendo las operaciones de la máquina en términos de los códigos especiales y de la geometría de formas de los componentes, creando archivos informáticos especializados o programas de piezas. La creación de estos programas de piezas es una tarea que, en gran medida, se realiza hoy día por software informático especial que crea el vínculo entre los sistemas CAD y CAM.

Conociendo los sistemas computarizados utilizados, se describe los pasos que se debe realizar para la elaboración de un elemento en una herramienta que esta comandada por un sistema CNC.

### **3.1.3. Procedimiento de Construcción**

#### a.- Primer Paso

#### **Dibujo de la pieza en 3D**

Elaborar el diseño de la cámara en un sistema **A- CAD 3D** en el que se debe dibujar con los datos dimensionales del mismo, utilizando opciones que permitan obtener un sólido en tres dimensiones.

## b.- Segundo Paso

### **Transformación de datos dimensionales a coordenadas xyz.**

Este proceso se lo realizo con la colaboración del propietario de la Fresadora CNC (control numérico computarizado), para transformar los datos se necesita en sistema **CAM** el cual transforma los datos dimensionales que fueron dibujados en el paso uno para convertirlos en un programa que permitirá a la Fresadora CNC empezar su trabajo.

Un ejemplo sencillo de elaboración de este tipo de piezas , es indicarle a la máquina que mueva la herramienta describiendo un cuadrado de 10 mm por lado se le darían los siguientes códigos:

```
G90 G71  
G00 X0.0 Y0.0  
G01 X10.0  
G01 Y10.0  
G01 X0.0  
G01 Y0.0
```

Estos códigos anteriores son los que limitaran el contorno, profundidad de la pieza y gracias al sistema CAD/CAM se logro una lista de códigos que nos permitieron elaborar la cámara de combustión variable.

El programa ejecutado en coordenadas para la construcción del cabezote es el siguiente:

PROGRAMA

```

BEGIN                PGN  2          MM
TOOL      CALL      1          (Número de)
                Z          S = 600

TOOL      DEF                1          L = 0
                R = 5

LX  38,702 Y  O  RO – F 250 Mo3
LZ – 35 mm
LX 101,790 YO
CC X 106  YO
CX  74,273          Y  108,898
LX  55,228          Y  116,934
CC X 46,050          Y  75,950
C X  8,632          Y  56,872
CC X 45,350          Y  39,900
Final C X 38,702          YO – R +

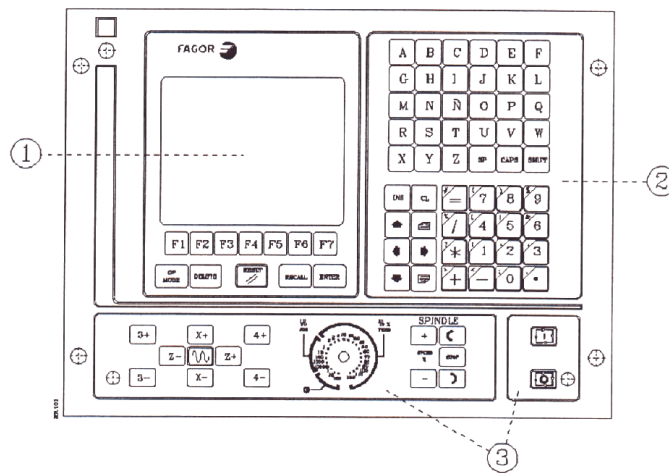
```



### c.- Tercer Paso

Llevar los datos en coordenadas que se realizó en CAM y llevarlos por medio de un disco o red a la maquina CNC y poder hacer correr el programa para la elaboración de la pieza en este caso la cámara de combustión variable .

En la figura siguiente se indica el panel de control de una maquina CNC , en la cual se puede modificar medidas antes de elaborar la pieza reconfigurando en programa del sólido a construir.



1. Pantalla
2. Control de la Maquina Manual
3. Sistema de Parada

#### d.- Cuarto Paso

El programa o secuencia para la elaboración de la pieza esta listo, ahora debemos empezar a preparar el material tomando en consideración las dimensiones del diseño a construir, de esta manera se procede a Fundir Aluminio y elaborar un bloque que tenga el espacio suficiente para el maquinado de la cámara de combustión.

El bloque de aluminio que debe elaborarse debe ser con dimensiones mayores al alto, ancho, largo del diseño de esta manera este debe ser mayor a:

Alto:	98 mm
Ancho:	17 mm
Largo:	160 mm

Considerando estas medidas se procede a Fundir el materia ( **Aluminio** ) :

- **Elaboración molde de arena**

Para fundir el aluminio se debe tener listo en molde en el cual se va a depositar el material, se procede a realizar un molde en arena con las medidas que se tomaron como punto de partida en este paso.



Figura 3.2 Molde de Arena

En la caja de arena se limita las dimensiones del bloque de aluminio que posteriormente se va a trabajar.

- **Fundir Aluminio**

Para este proceso se requiere utilizar la Fragua la cual esta dispuesta de un mecanismo de gas que permite elevar el metal a temperaturas superiores a los  $1000^{\circ}\text{C}$ , donde se deposita material de aluminio para llegar a obtener de estos cuerpos una masa liquida de aluminio.

Debido a la elevada temperatura que existe el aluminio pasa de estado sólido a un estado liquido, la calidad de la fundición de aluminio depende de la calidad de metal se coloco a fundir , es por eso que se debe tener la

precaución de colocar material de calidad de a cuerdo a las piezas y el trabajo que va a desarrollar esta.

- **Colocar material en molde**

Después del proceso de fundición del aluminio en la fragua y tener en estado liquido el material se procede cuidadosamente a depositar el aluminio en liquido en el molde de arena que se elaboro anteriormente, y gracias a la propiedad de la arena de hermeticidad el aluminio se estabiliza y se vuelve a un estado sólido como característica inicial del material.

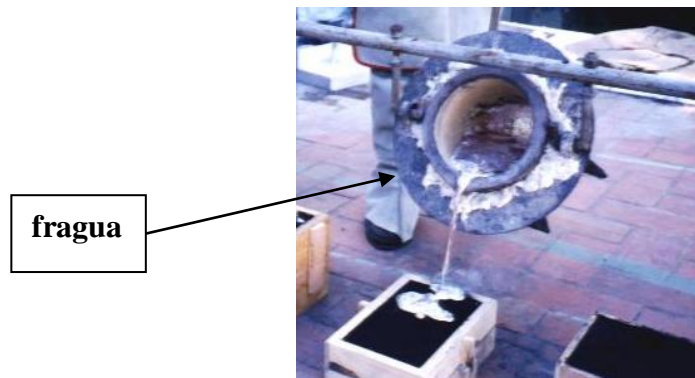


Figura 3.3 Fragua

- **Obtención de material para maquinización**

El material que se obtuvo según las especificaciones de dimensión dadas en el primer paso, la pieza o cubo nos queda de la siguiente manera .



**Bloque  
aluminio**

Figura 3.4 Material Base

e.- Quinto paso

Llevar el bloque de aluminio a la Fresadora CNC , centrar y fijar la pieza en la bancada principal , para luego correr el programa y obtener es diseño que anteriormente se los dibujo en el programa A-CAD 3D .

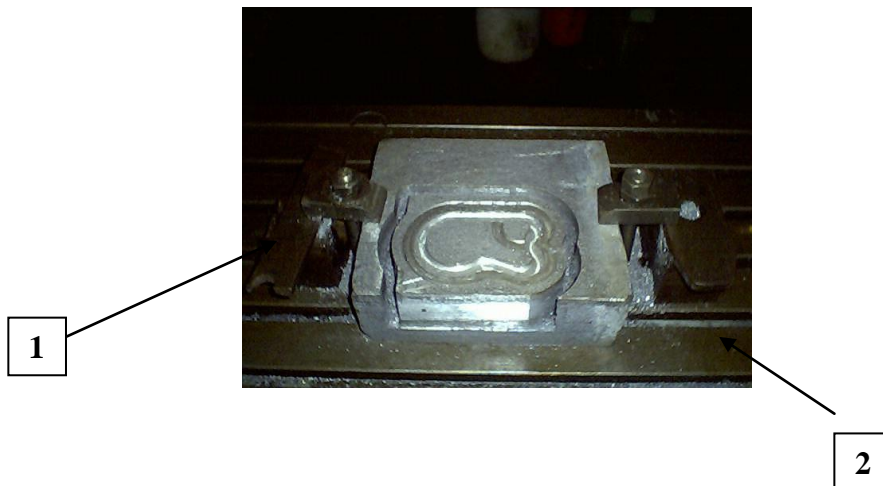


Figura 3.5 Trabajo Inicial

- 1: Herramientas de Fijación de la pieza en bancada principal
- 2: Bancada Fresadora; tiene un dispositivo que posee un imán que fija las piezas en la bancada .

#### f.- Sexto Paso

Una vez que la Fresadora CNC realiza su trabajo la pieza elaborada presenta el siguiente aspecto como se indica en la figura siguiente, inclusive los agujeros para los pernos de sujeción fueron elaborados por la Fresadora.

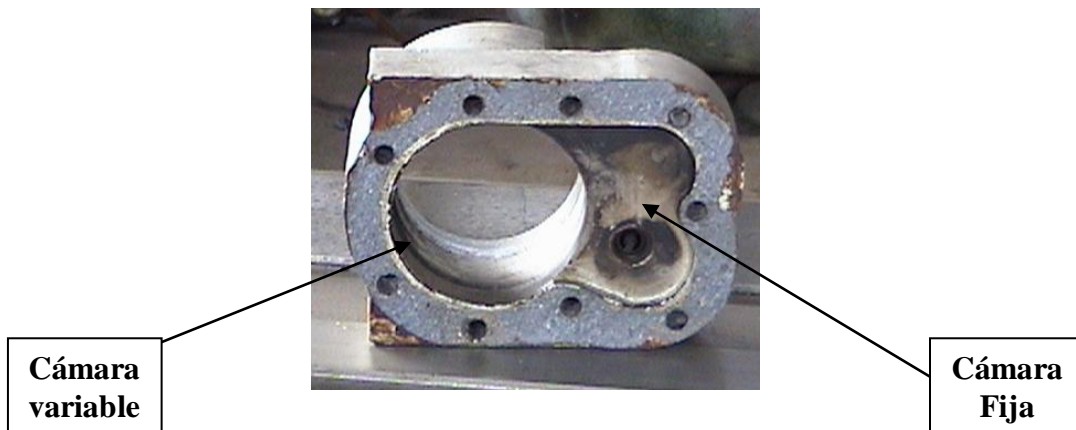


Figura 3.6 Cámara Terminada

#### g.- Séptimo Paso

Como se puede observar en el gráfico anterior se tiene solo una parte de la cámara de combustión, aquí esta la sección de la cámara que va a ser fija y en la otra en la que se va a colocar un pistón que tiene como finalidad recorrer el cilindro, consiguiendo de esta manera variar el volumen de la cámara de combustión, la construcción del embolo se la describe el siguiente Tema (Construcción del embolo)

**Nota: Las dimensiones del cuerpo son indicadas en el Plano 1 referente al mecanizado del cabezote con las del estudio realizado.**

### 3.2. CONSTRUCCIÓN DEL EMBOLO

## **Siguiendo las consideraciones tomadas en el diseño del embolo o pistón, a continuación se describe en pasos que se siguieron para la construcción de esta pieza**

### **3.2.1. Procedimiento**

#### **a.- Primer Paso**

Como se explico en el tema de construcción de la cámara de combustión, el procedimiento que se sigue como inicio es la utilizar los sistemas computarizado CAD/CAM que es de gran ayuda para la elaboración de esta pieza de una manera precisa, para luego realizar el programa que se ejecutara para realizar el embolo.

#### **b.- Segundo Paso**

Ahora se obtuvo el material base para proceder a trabajar, siguiendo los mismos procedimientos del tema anterior, es así que debemos: elaborar el molde en arena, para luego fundir el aluminio en la fragua obteniendo aluminio en estado liquido el cual será depositado en el molde previamente construido, ya obtenido el material se centrara en la Fresadora CNC para ejecutar el programa que seguirá construyendo la pieza cilíndrica.

Cabe acotar que el cilindro debe poseer una perforación en forma de chaveta que servirá para la limitación del desplazamiento del pistón y de esta manera limitar el volumen que se va a variar en la cámara de combustión, el cual estará a 27mm de la base del embolo y con una longitud de 13.05 mm, espesor 6.05 mm y una profundidad de 2.03 mm

c.- Tercer Paso

Una vez obtenido el cuerpo cilíndrico se procede a realizar el chaflán que estará en proporción con la altura de la cámara fija ( 6.5 mm ) y a un ángulo de (**x**)  $135^\circ$  lo que permitirá un mejor turbulencia de los gases dentro de la cámara de combustión.

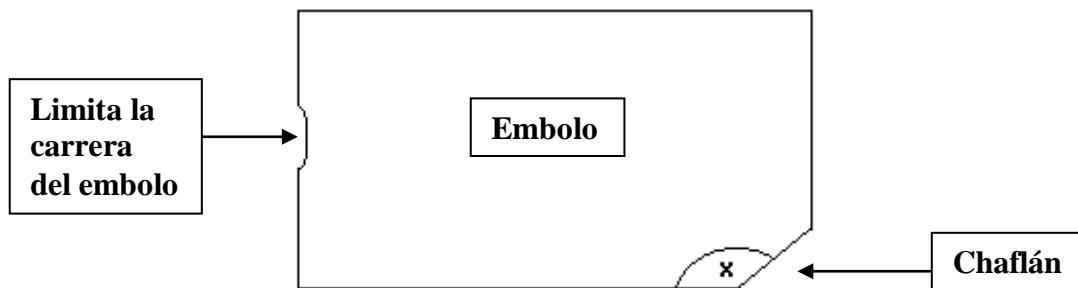


Figura 3.7 Chaflán y Limitador de Carrera

El chaflán se lo realiza en la Fresadora CNC , limitando su perímetro ya que no se realiza en todo el perímetro de la circunferencia ya que los gases van a chocar en el embolo en  $165^\circ$  de los  $360^\circ$  de la circunferencia .

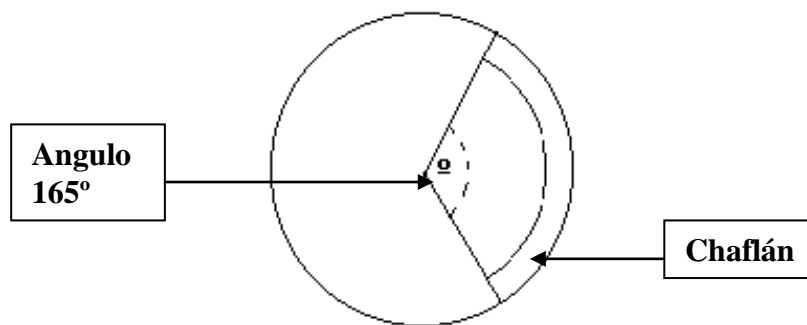


Figura 3.8. Chaflán a  $135^\circ$



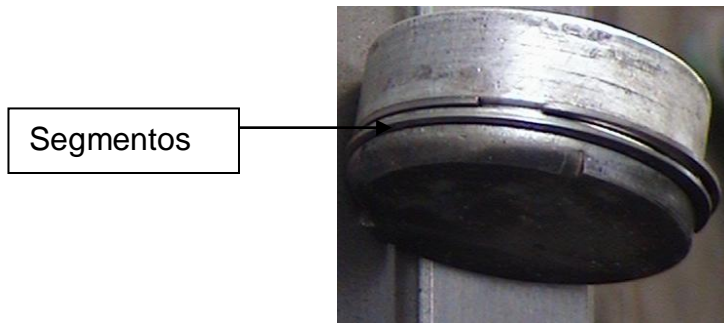
#### e.- Cuarto Paso

Como recordaremos el embolo tiene la misión de hermetizar la presión generada en la cámara de combustión, es por eso que se dispone de dos rines de vehículo (Chevrolet Corsa 1.4 MPFI) los cuales son de un pistón que tiene el diámetro similar al embolo mecanizado, para los que se va colocar en el embolo con una abertura entre puntas de 6.2 mm.

Al poseer una altura del segmento de 1.2 mm , se construye dos canales en el embolo para alojar sus respectivos rines , este trabajo se lo realiza en un torno paralelo , tomando en cuenta el espacio que existe entre la cabeza del pistón con chaflán , el recorrido máximo y mínimo del embolo y la perforación del chavetero de esta manera se coloca los segmentos con una separación de 1.5 mm ya que el espacio que se dispone para colocar los segmentos es de 7.45 mm de altura ,de los cuales 1.56 mm ( 1/16" ) corresponde a la distancia comprendida entre la cabeza del pistón y el primer segmento ( H Crouse , Motores Automóvil Pág. 135 ) , mas la altura de los rines de 1.2 mm , con estos valores y recomendaciones los segmentos quedan uniformemente distribuidos .

Una vez señalados las alturas correspondientes para realizar los canales de los segmentos se procede a centrar el embolo en el mandril del torno paralelo, de esta manera una vez sujeta la pieza se procede a prepara la cuchilla la que debe ser para dejar una superficie rectangular; así se procede a torneear estos canales con una profundidad no mayor a 1/3 del espesor del segmento.

De esta manera se concluye la elaboración del pistón y sus mecanismos de hermetización de fugas de compresión y de la limitación de la carrera para variar el volumen en la cámara de compresión variable, quedando como se indica en la figura siguiente.



**Figura 3.9 Embolo Terminado**

**Nota** El grafico dimensional con referencia al embolo esta indicado en el Plano 2.

### **3.3.CONSTRUCCIÓN DEL MECANISMO DE VARIACIÓN DE LA CÁMARA**

En este tema se vuelve a usar la pieza elaborada en el tema “construcción de la cámara de combustión variable” en el cual se encuentra un cilindro hueco en el que una parte esta ocupada por el embolo y la otra que va a ser el mecanismo de variación en este caso el mecanismo es por medio de una rosca triangular.

La rosca que debemos fabricar es de 1.75 en un espacio de 20 mm , para lo que debemos proceder a realizar los siguientes pasos :

#### **3.3.1. Procedimiento de Construcción**

##### **a.- Primer Paso**

Centrar el cabezote en el mandril del torno, sujetarlo y verificar el eje del contrapunto este el centro del cilindro hueco .

Colocar la cuchilla para trabajos de interiores y preparar la maquina para realizar una rosca de 1.75 mm

Encender el torno y verificar a cada pasada de la cuchilla la profundidad de la rosca , realizar varias pasadas hasta que la profundidad de la rosca sea la adecuada , verificando con el calibrador de roscas (rosca 1.75 )

En la construcción de este mecanismo se vuelve a repetir los pasos de obtención del material y construcción del molde en arena para poder trabajar el mecanismo de variación; se describe a continuación los pasos necesarios para realizar esta pieza.

### **b.- Segundo Paso**

Obtener un cuerpo cilíndrico tomando en cuenta las consideraciones acotadas en el capítulo anterior, en esta pieza la parte que va a sobresalir del cabezote, no tiene especificación de altura , motivo por el cual no existe calculo específico para esta pieza; cabe señalar que el molde en arena para la realización de este cuerpo no tiene las dimensiones que se necesita , además la fundición se la realizo conjuntamente con la de embolo que conforma el mecanismo.

### **c.- Tercer Paso**

Con el material listo para ser trabajado en el torno se procede a :

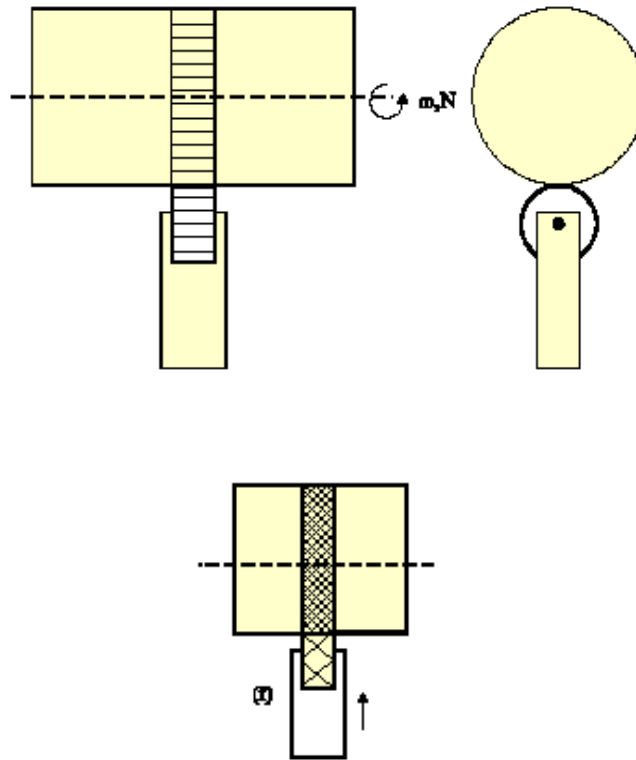
- Centrar y sujetar la pieza en el mandril del torno, utilizando además el contrapunto ya que al realizar roscas se necesita una alta precisión en el trabajo.
- Cilindrar la pieza ya que después de la fundición no se obtuvo dimensiones exactas , verificando que el diámetro exterior sea igual al diámetro del cilindro mas 1.51 mm que corresponde a la altura h de la rosca que se realizo en el cabezote .

- Colocar la herramienta de corte para trabajos exteriores (cuchilla) centrarla a la pieza cilíndrica.
- Tener en cuenta que el espacio diseñado para realizar el roscado se limita a 20mm de la pieza cilíndrica .
- Preparar el torno y dar comienzo al roscado exterior ; verificar la profundidad de la rosca con el calibrador de roscas ( rosca 1.75)

#### **d.- Cuarto Paso**

Al disponer de la herramienta de moleteado y la pieza centrada y lista para el trabajo se procede a moletear .

- Del paso tres dejamos centrada la pieza cilíndrica, sacamos la herramienta de corte (cuchilla) para colocar la herramienta de moletear en la bancada móvil.
- Preparamos el torno quitando las posiciones para roscar y colocando en las posiciones de cilindrar.
- Encendemos el torno y acercamos la herramienta de moletear a la pieza, la altura de trabajo es a partir del último hilo de la rosca hasta que se termine la longitud de la pieza cilíndrica.



**Figura 3.10 Moletado**<sup>50</sup>

En la figura anterior se indica como trabaja el moletadora con relación a la pieza cilíndrica.

Dentro del mecanismo de variación el embolo, debemos dotar a este sistema un mecanismo de sujeción entre ambos cuerpos, manera por la cual se construye un perno de ajuste entre estos dos elementos.

El perno va dispuesto de una parte roscada y de otra cilíndrica, la cabeza del mismo es hexagonal ya que es el mecanismo mas apropiado para este apriete, la finalidad de este es apretar el embolo y mantenerse fijo al movimiento de rotación del mecanismo de rosca y asegurar el desplazamiento del embolo, para la construcción de este perno debemos utilizar el torno para cilindrar, roscar y moletar como en los pasos anteriores.

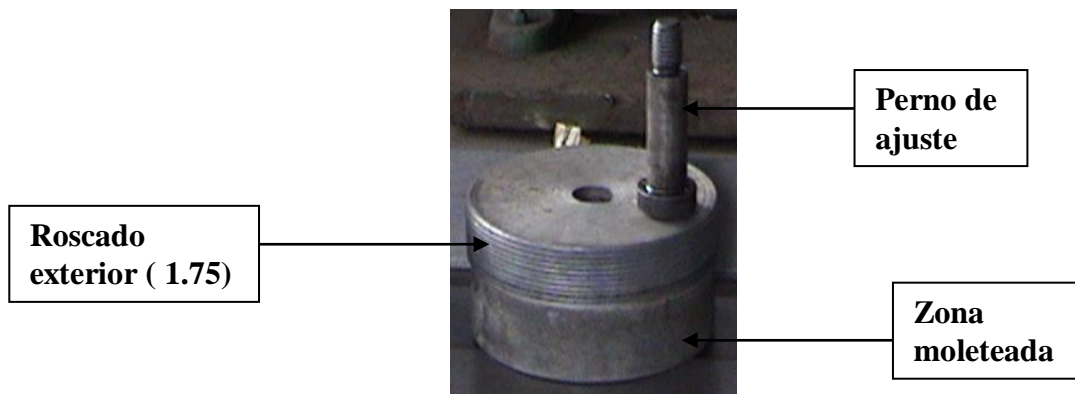
<sup>50</sup> Mecánica de Taller, CULTURAL SA

Además que se debe trabaja nuevamente en el embolo y en el mecanismo de variación así:

- Perforar el embolo con una profundidad 27 mm , con un diámetro de 7.94 mm
- Realizar la rosca interna es el orificio anterior, usando una terraja ya que el diámetro es muy limitado y no se puede trabajar cómodamente en el torno , la rosca es de 3/8” .
- Luego en el mecanismo de variación se realiza una perforación que pasa por toda la longitud del mecanismo la cual se debe perforar completamente con un diámetro de 13 mm y posteriormente la sección del moleteado se perfora en su centro un diámetro de 26 m con una profundidad de 21.05 mm
- Siendo los alojamiento del perno que se construirá posteriormente.

Es así que debemos realizar los siguientes pasos para realizar el perno.

- Seleccionar un tubo sólido de 3/4” para realizar el perno.
- Montar en el torno, centrar y colocar la herramienta de corte para proceder a cilindrar la varilla.
- Con las dimensiones indicadas en el plano 2 , se realiza el cilindrado de 28 mm de longitud , dejando el espacio de la cabeza hexagonal de 19 mm de diámetro .
- Por ultimo realizar el roscado de 3/8” en una longitud de 16 mm
- Realizar la cabeza hexagonal.



**Figura 3.11 Mecanismo de Variación**

En la gráfica anterior se indica el trabajo elaborado en la pieza cilíndrica , su moleteado , su rosca y el respectivo perno de apriete de todo el mecanismo de variación.

**Nota El gráfico dimensional con referencia al mecanismo de variación esta indicado en el Plano 2.**

Una vez concluido estos trabajos se procede a ensamblar los cuerpos contruidos para luego poder ensamblar en el motor monocilíndrico.



**Figura 3.12 Cabezote con cámara variable**

En la gráfica anterior se ilustra en conjunto armado del mecanismo cabezote con cámara de combustión variable.

**El conjunto armado del cabezote con cámara de combustión variable esta indicado en el Plano 3.**

### **3.4.CONSTRUCCIÓN DEL PANEL DE INSTRUMENTOS**

Antes de construir un panel de instrumentos para el banco de pruebas, se tomo en cuenta los parámetros a registrarse con relación a los instrumentos necesarios y que se dispongan en el mercado a precio accesible.

Con lo que se toma en consideración los siguientes parámetros a medir, también los instrumentos de operación.

- Consumo especifico de combustible.
- Temperatura de Admisión.
- Temperatura de Escape.
- Temperatura de Explosión.
- Torque.
- Revoluciones de Motor
- Encendido arranque de motor
- Encendido electro ventilador

#### **3.4.1. Consumo especifico de combustible**

Para la medición de este parámetro se utiliza una bureta graduada, llaves de paso, filtro que en conjunto formamos un circuito de alimentación de combustible que el cual con la ayuda de un cronometro podemos registrar el consumo de combustible (centímetro cúbicos o mililitros) en relación del tiempo (segundos) que se lo determinara en las practicas a realizarse.



ESQUEMA :

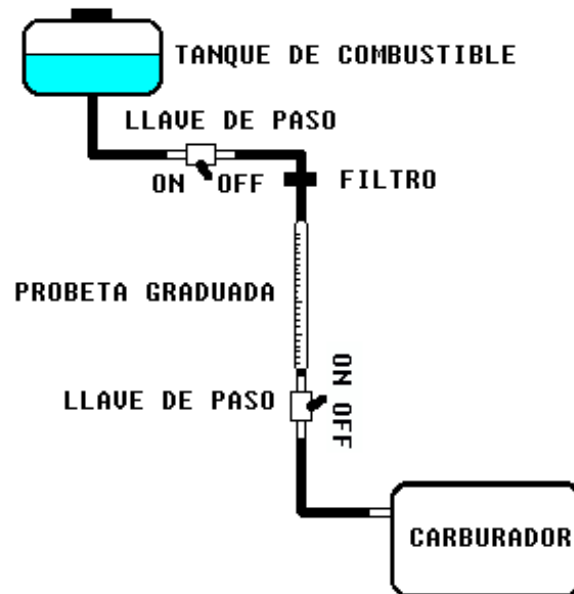


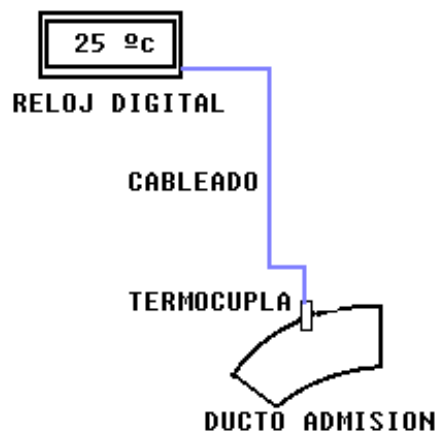
Figura 3.13 Circuito de Combustible

### 3.4.2. Temperatura de Admisión

La temperatura de admisión es registrada por un termómetro digital el cual se encuentra ensamblado con una termocupla de  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $+50^{\circ}\text{C}$ , rango suficiente para la temperatura a tomar.

La termocupla es colocada en el ducto de admisión y el reloj digital en el panel de instrumentos.

**ESQUEMA:**



**Vista Frontal Termocupla**



**Vista posterior termocupla**

**Figura 3.14 Circuito Temperatura Admisión**

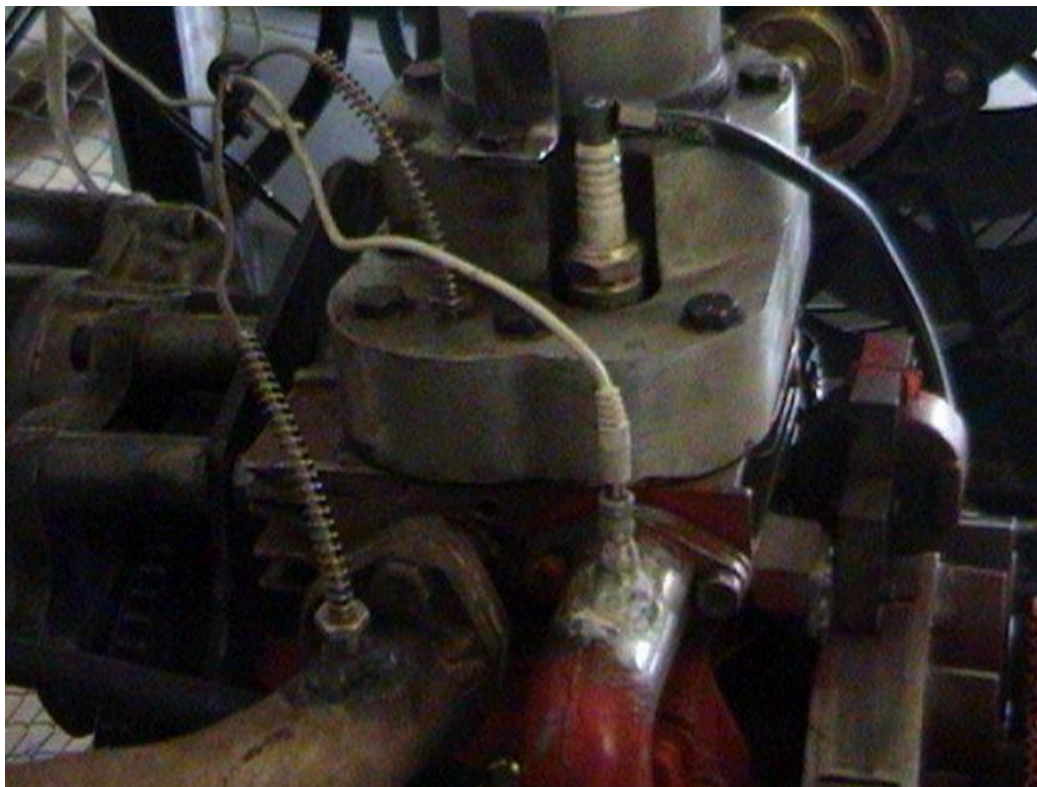
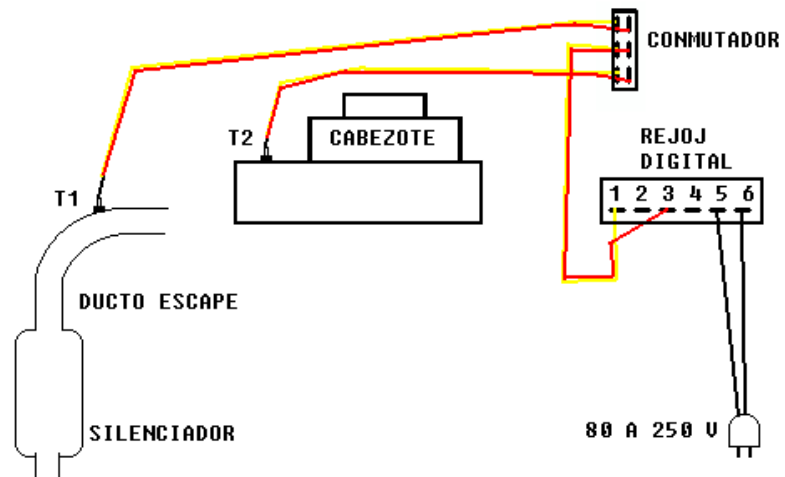
### **3.4.3. Temperatura de escape y explosión**

Para registrar temperaturas mas altas como son las de escape y de explosión se utiliza dos termocuplas tipo K acopladas en el ducto de escape y en el cabezote respectivamente ; el registro se lo realiza por medio de un reloj digital industrial que registra temperaturas de  $-1200^{\circ}\text{C}$  a  $+1200^{\circ}\text{C}$  , rango optimo para temperaturas aproximadas de  $350$  a  $400^{\circ}\text{C}$  del escape y cabezote , este instrumento necesita alimentación de corriente alterna con una rango de  $80$  a  $250$  voltios para lo cual se conecta un interruptor para  $110$  Voltios CA .

El instrumento según fabricante debe ser usado para el registro de temperatura para una sola termocupla, pero por el costo de la misma se modifiko el circuito de entrada de señales de temperatura, colocando un conmutador que nos ayudara a registrar la temperatura de dos lugares

diferentes con la termocupla (T1) colocada en el ducto de escape y la (T2) colocada en el cabezote.

Esquema :



Conexión Termocuplas



### Reloj Digital Temperatura

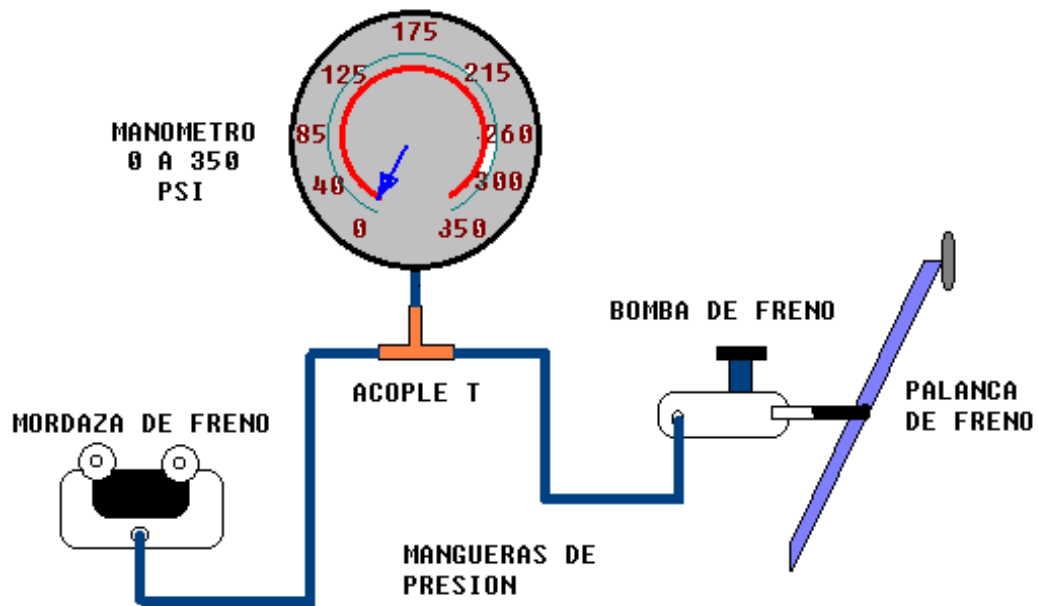
Figura 3.15 Circuito Temperaturas Escape y Cabezote

#### 3.4.4. Torque

La medición de este parámetro es importante para comprender el funcionamiento del motor para lo cual se provee al banco de pruebas un freno mecánico de mordaza pastilla aplicada al volante de inercia lo cual permitirá la disminución de giros o revoluciones directamente al cigüeñal ; la medición de esta fuerza se la realiza mediante la colocación de un manómetro de presión de 0 a 350 PSI en la línea de paso de liquido hidráulico entre la bomba de  $\frac{3}{4}$ " y la mordaza de freno , con esta disposición se registrara la presión que se ejerce en la palanca o pedal de freno que es aplicada manualmente ; con este dato y conociendo las dimensiones de los émbolos de tanto de la bomba como de la mordaza se convierte la presión del manómetro en fuerza aplicada en el volante de inercia .

Ahora se multiplicara por la distancia del brazo de palanca que en este caso es el pedal de freno y obtendremos el torque del motor del banco de pruebas .

Esquema:



Brazo de Palanca y Bomba



**Manómetro de Presión**



**Mordaza de Frenado**

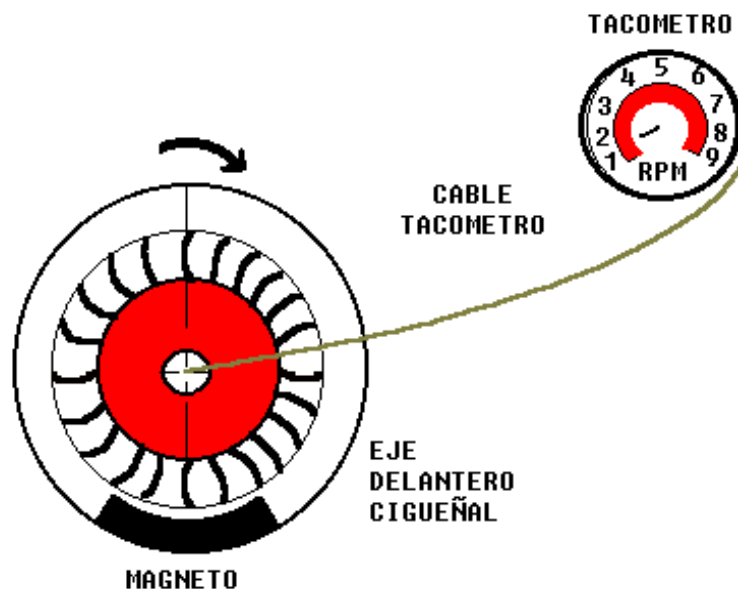
**Figura 3.16 Circuito de Frenado**

### 3.4.5. Revoluciones de Motor

Para el registro de revoluciones en este tipo de motores se requiere de equipos especiales en la comprobación de los mismos , motivo por el cual se busco y analizo otros sistemas de registro de revoluciones , para lo cual se diseño colocar un tacómetro mecánico el cual es accionado por medio una cadena que gira en sentido contrario al motor ; este sistema se lo encuentra conectado en motocicletas, la colocación de este fue directamente al eje de cigüeñal un lado de la cadena y al otro un tacómetro mecánico que nos registra las revoluciones del motor .

Por el sentido de giro del cigüeñal e instrumento es colocado en la parte anterior del motor en el banco de pruebas , ya que al contrario el tacómetro no funcionaria.

**Esquema:**



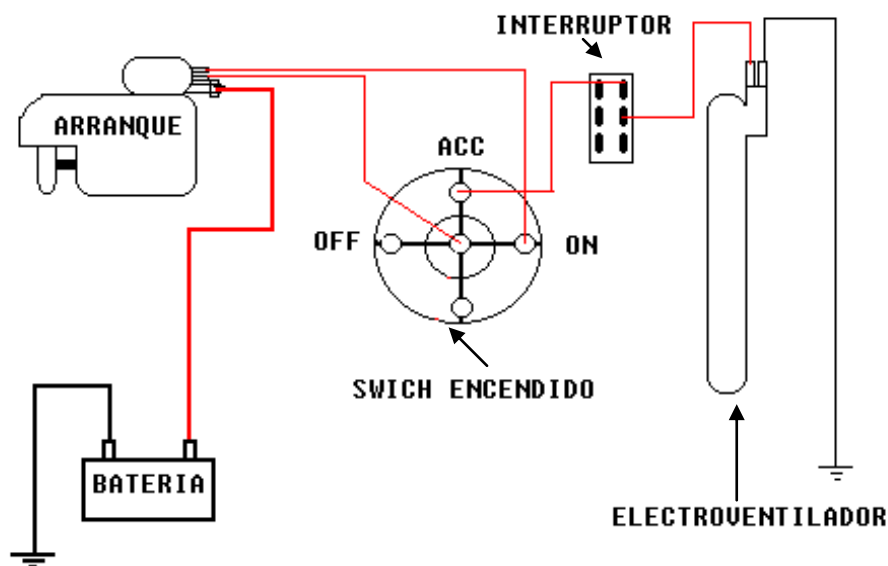
**Figura 3.17 Tacómetro Revoluciones**



### 3.4.6. Encendido Arranque de Motor

Se coloca un swich de encendido para vehículos encendidos por una fuente de alimentación de 12 voltios (batería) en el panel de instrumentos, originalmente el motor Briggs & Stratton en este modelo el encendido es manual por acción de una cuerda , por motivos de facilitacion del encendido se coloco un motor de arranque en la parte posterior del eje del cigüeñal , cuidando siempre del sentido de giro del motor y de acoplar los engranes del bendix y del volante de inercia.

Esquema:



3.18 Circuito Swich Encendido y electro ventilador

### **3.4.7. Encendido Electro ventilador**

Se provee de un electro ventilador debido a que el motor originalmente se refrigera por medio de aletas y una carcasa que direcciona el flujo de aire , por la construcción de el cabezote esta carcasa fue suspendida y fue motivo de la aplicación de un mecanismo externo para el enfriamiento del conjunto motor , el interruptor de dos posiciones es conectado de la salida del swich de encendido ( accesorios ) para el funcionamiento del electro ventilador como se indica en el esquema anterior.



**3.19 Electro ventilador**

Ahora conociendo todos los instrumentos a utilizar en el banco de pruebas se procede a distribuir en el tablero como se indica en el gráfico siguiente



**Figura 3.19 Tablero de instrumentos**

### **3.5.Montaje y puesta a punto del banco de pruebas**

La finalidad de construir el banco de pruebas es el de visualizar cada uno de los instrumentos de medida, y demás controladores para el óptimo funcionamiento del cabezote; para lo cual debemos estudiar la construcción de un armazón o estructura metálica para soportar el motor en si más los instrumentos de medida.

Una vez que ya hemos realizado el estudio de la estructura metálica como las bases en la cual se alojará el motor es necesario determinar unos pasos necesarios tanto para el montaje como la puesta a punto del banco de pruebas.

### 3.5.1. Montaje de materiales e instrumentos

1. Montar los instrumentos y sistemas adicionales para el funcionamiento del banco de pruebas , como el sistema de escape, admisión , de frenado y de refrigeración.

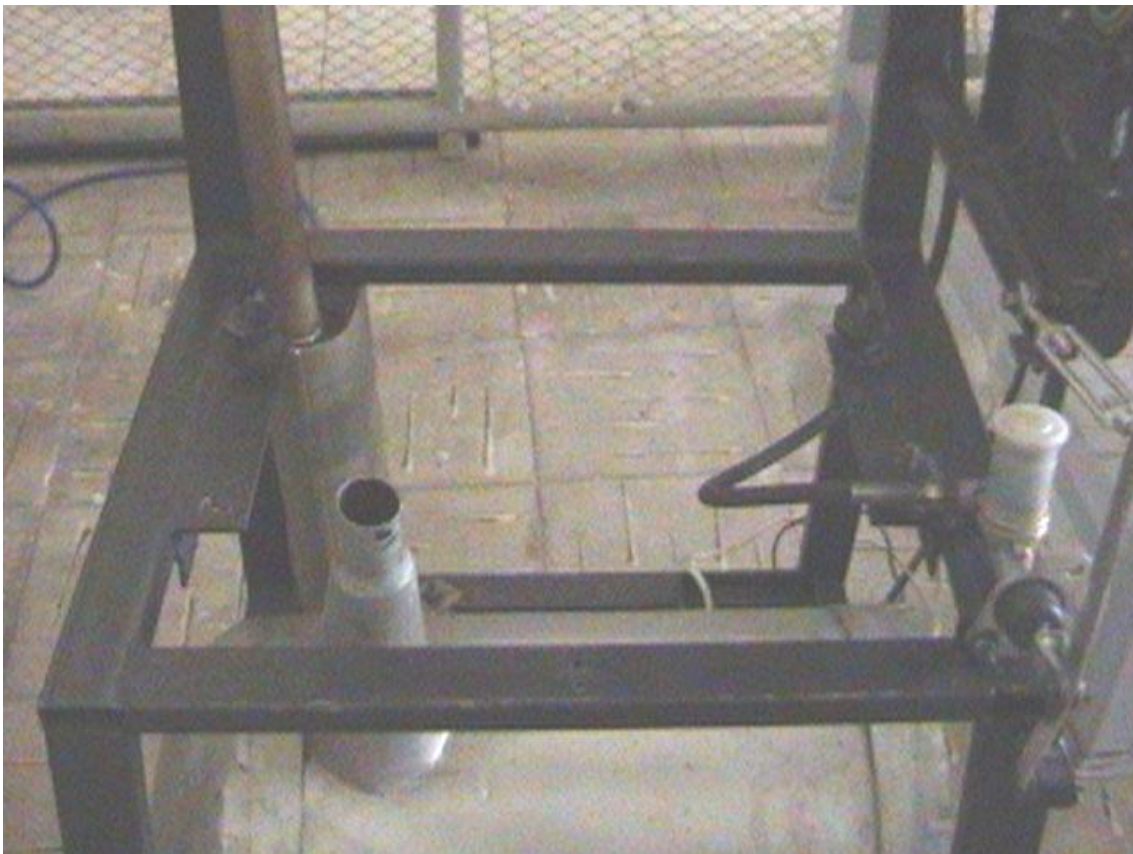
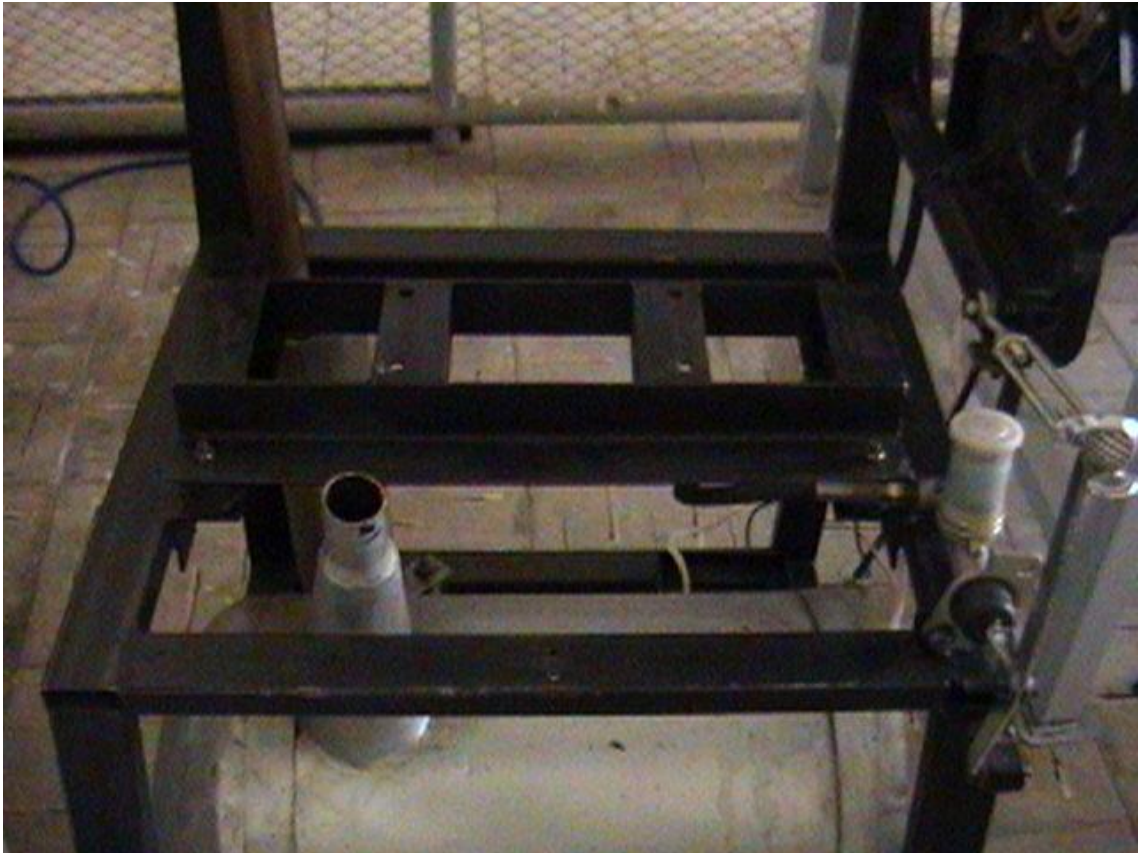


Figura 3.21 Montaje de Sistemas Adicionales

2. Montar el motor armado con el motor de arranque, sobre las bases que según el constructor envía con cuatro orificios a los extremos teniendo

en cuenta el estudio de pernos que realizamos en el capítulo II, sección 2.6 que son cuatro pernos de cabeza  $\frac{1}{2}$  " x  $1\frac{1}{2}$  ".



**Figura 3.21 Montaje de base de Motor**

3. Colocamos el motor sobre las bases de caucho debido a que queremos disminuir vibraciones en el banco de pruebas y debemos dar un torque máximo de 20 psi para asegurar los pernos a esta base.

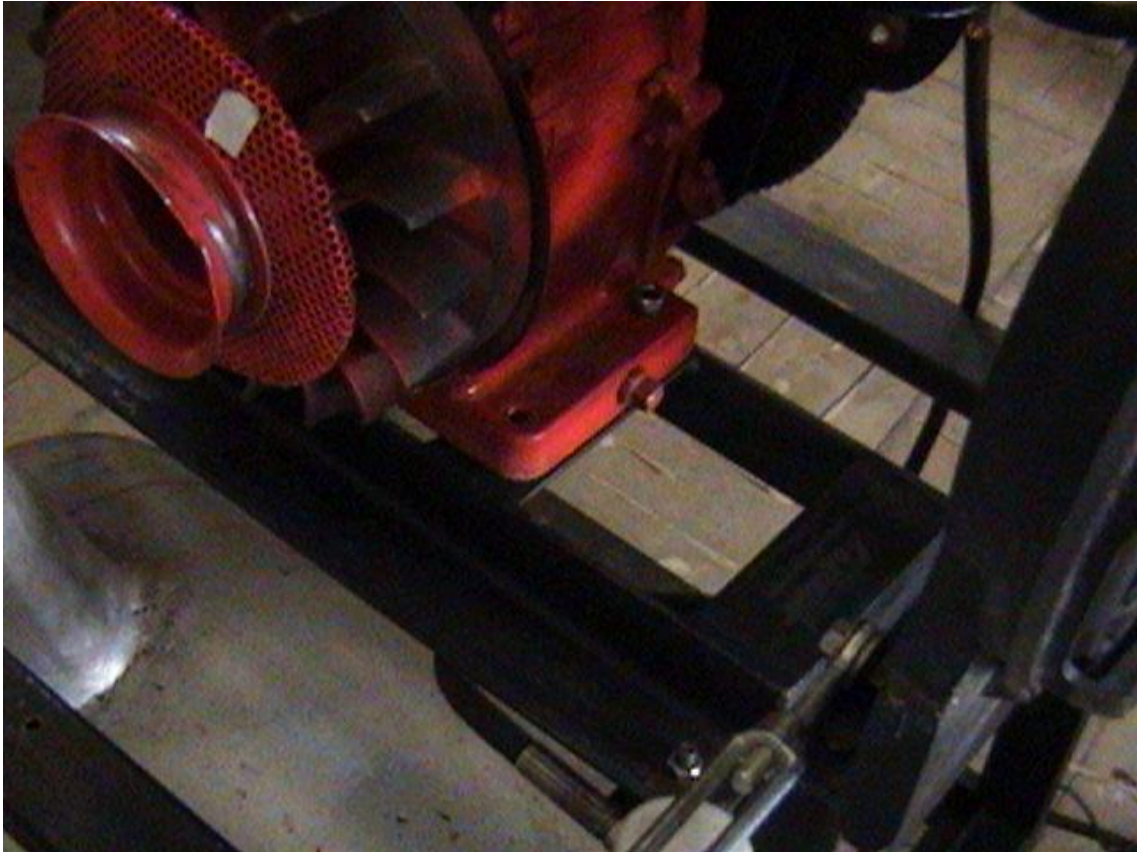


Figura 3.22 Montaje de motor sobre bases

4. Para afianza la base de la estructura que servirá de apoyo para todo el conjunto debemos utilizar pernos de la misma cabeza tal cual como nos indica el estudio de pernos  $\frac{1}{2}$  '' y  $1 \frac{1}{2}$  '' colocamos según la disposición de huecos y demás.
5. Construiremos una caja metálica para evitar que alambres, cañerías, llaves y acoples queden sueltos en la parte posterior para lo cual lo realizaremos de tol esto con el fin de hacer inviolable cada uno de los instrumentos de medidas y demás

6. Para la ubicación de cada instrumento de medida debemos cuidar la distribución en el tablero para que cada cable y cañería corresponda al lado del cual se obtendrá la muestra o medida que influye en datos para la obtención de resultados.
7. Según la distribución de instrumentos que hemos realizado tendremos la disponibilidad de poner los instrumentos de medidas.



Figura 3.23 Caja metálica con los instrumentos de medición

## **8. Puesta a punto.-**

1. Verificar las conexiones eléctricas y de mangueras como también niveles de fluidos de combustibles y carga de batería.
2. Calibrar las agujas del carburador.
3. Verificar el swich de parada
4. Verificar el sangrado del sistema de frenado
5. Abrir las llaves de combustibles
6. Arrancar el motor.



## CAPITULO IV

# PRUEBAS

### **Objetivo:**

- El presente capítulo tiene como finalidad explicar experimentalmente el funcionamiento del Banco de Pruebas con cámara variable y determinar el comportamiento del motor Briggs & Stratton en las diversas posiciones del mecanismo de variación de la cámara.

Las pruebas que se describen a continuación están detalladas en guías de laboratorio para una mejor comprensión del funcionamiento del motor y de los instrumentos de comprobación.

## PRACTICA MOTORES

### PRACTICA Nº 1

**TEMA:** Determinación de la relación de compresión y eficiencia del motor monocilíndrico en función del desplazamiento del pistón por vuelta o fracción de vuelta del mecanismo de variación.

## OBJETIVO

Encontrar la relación de compresión máxima y mínima; además de determinar la eficiencia del motor de acuerdo a la variación del mecanismo por vuelta.

## TEORIA.

### RELACIÓN DE COMPRESIÓN

La relación de compresión de un motor nos da el nivel de compresión que se somete la mezcla en el interior del cilindro.

Para calcularlo se divide el volumen de aire contenido en el cilindro cuando el pistón esta en el PMI por el volumen que ocupa al pasar el pistón en el PMS.

**Es así que :**

$$\varepsilon = \frac{Vh + Vc}{Vc}$$

de donde :

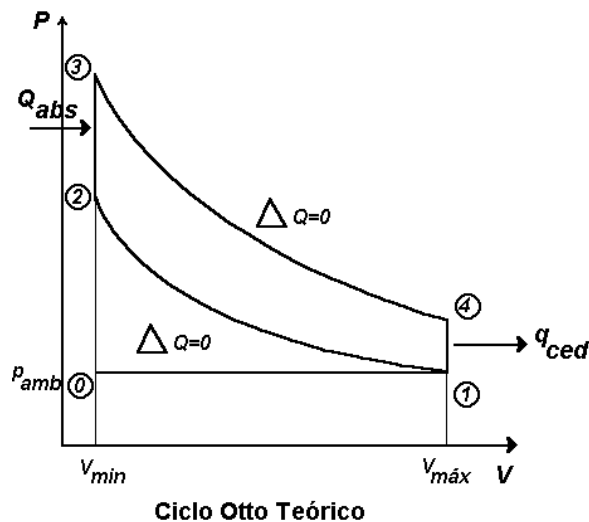
$V_h$  = volumen de cilindro del PMS al PMI ( cilindrada motor)

$V_c$  = volumen de la cámara de combustión

## EFICIENCIA MOTOR

La eficiencia es la cantidad en porcentaje que un motor desempeña de acuerdo a la relación de compresión de un motor.

Para su calculo observemos la gráfica característica P-V



Calculemos a continuación el rendimiento de este ciclo teórico. Para ello usaremos el concepto de ciclo de aire equivalente. Con ello queremos decir que supondremos que el fluido de trabajo es un gas perfecto (aire) que se hace seguir el ciclo y cuyas propiedades termodinámicas se mantienen constantes a lo largo de él. Esta es una simplificación, pues en realidad las propiedades termodinámicas de la mezcla y gases de combustión son diferentes. Sin embargo la simplificación permite sistematizar mejor el estudio del ciclo.

El ciclo teórico tiene las siguientes particularidades:

**Evoluciones:**

- La evolución (0-1) (admisión) y (1-0) (expulsión de gases) son teóricamente ambas a presión atmosférica. Como se recorren en sentidos opuestos, se anulan.
- La combustión (2-3) y la apertura válvula de escape (4-1) se suponen ambas como evoluciones isócoras (a volumen constante).
- La compresión (1-2) y la expansión o carrera de trabajo (3-4) se suponen adiabáticas sin roce. Es decir  $DQ_{12} = 0$  y  $DQ_{34} = 0$ .

**Rendimiento:**

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{Q_{ced}}{Q_{abs}}$$

$$Q_{ced} = C_v \overbrace{(T_4 - T_1)}$$

$$Q_{abs} = C_v \overbrace{(T_3 - T_2)}$$

**donde :**

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{\overbrace{(T_4 - T_1)}}{\overbrace{(T_3 - T_2)}}$$

Sacando factor común T1/T2 para referir a compresión de base :

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{T1}{T2} \times \frac{(T4/T1 - 1)}{(T3/T2 - 1)}$$

Considerando que (1-2) y (3-4) son adiabáticas sin roce :

$$T1 \cdot V1^{\gamma-1} = T2 \cdot V2^{\gamma-1} \quad (1)$$

$$T4 \cdot V4^{\gamma-1} = T3 \cdot V3^{\gamma-1} \quad (2)$$

Dividiendo (2)/(1)

$$\frac{T4}{T1} \left( \frac{V4^{\gamma-1}}{V1^{\gamma-1}} \right) = \frac{T3}{T2} \left( \frac{V3^{\gamma-1}}{V2^{\gamma-1}} \right)$$

Como V4=V1=Vmax y V2=V3=V min., se tiene que :

$$\frac{T4}{T1} = \frac{T3}{T2}$$

**de donde :**

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{T1}{T2} = 1 - \frac{V2^{\gamma-1}}{V1^{\gamma-1}} = 1 - \frac{1}{V1^{\gamma-1}/V2^{\gamma-1}}$$

V1/V2 = E = relación de compresión

R = constante es igual que K

$$\eta_{otto} = 1 - \frac{1}{E^{\gamma-1}}$$

## EQUIPO UTILIZADO.

**BANCO DE PRUEBAS:** MONOCILINDRICO CÁMARA  
VARIABLE

**MOTOR:**

Nº Cilindros	= 1
Diámetro	= 75.30 mm
Carrera	= 61.00 mm
Cilindrada	= 271.65 cc
Diámetro embolo	= 79.90 mm
Paso Rosca	= 1.75

**INSTRUMENTOS**

Jeringuilla Graduada
Aceite motor ¼

## PROCEDIMIENTO.

- 1) Desmontaje de cabezote con cámara de combustión variable del motor .
- 2) Poner el cabezote en una superficie plana y nivelada
- 3) Señalar la el mecanismo de variación, dividiendo la circunferencia que este mecanismo genere en cuatro partes iguales, además de señalar un punto fijo en el cabezote el cual nos servirá como referencia.
- 4) Colocar el émbolo en el punto inferior, girando el mecanismo de variación hasta que todo el conjunto este en la parte mas baja.

- 5) Ahora utilizando una jeringuilla graduada , conjuntamente con el aceite del motor , verter el aceite hasta que la cámara de combustión quede completamente llena .
- 6) Tabular el volumen que esta en la cámara de combustión variable en la posición mas baja del mecanismo.
- 7) Girar el perno o mecanismo hasta alinear las marcas en un cuarto de vuelta .
- 8) Medir el volumen nuevamente y tabular estos datos
- 9) Repetir este procedimiento hasta llegar al punto muerto superior del perno o mecanismo de variación .
- 10) Tabular los datos tomados de la practica anterior
- 11) Montaje del cabezote en el motor

#### TABULACION DE DATOS

$$V_h = 271.649 \text{ cc}$$

$$K = \text{Constante de aire } C_p/C_v ( 1.4)$$

## **TABULACION DE DATOS**



Nº	Vuelta	Vol Cámara ( cm3)	rel compr	E elevado ( K-1)	$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{K-1}}$	%
0	0	21	13.936	2.868	0.6514	65.14
1	¼	22	13.348	2.819	0.6453	64.53
2	½	24	12.319	2.730	0.6338	63.38
3	¾	26	11.448	2.652	0.6229	62.29
4	1	28	10.702	2.581	0.6125	61.25
5	1 ¼	31	9.763	2.488	0.5981	59.81
6	1 ½	33	9.232	2.433	0.5890	58.90
7	1 ¾	35	8.761	2.382	0.5803	58.03
8	2	37	8.342	2.336	0.5719	57.19
9	2 ¼	39	7.965	2.293	0.5640	56.40
10	2 ½	43	7.317	2.217	0.5489	54.89
11	2 ¾	45	7.037	2.182	0.5418	54.18
12	3	47	6.780	2.150	0.5349	53.49
13	3 ¼	48	6.659	2.135	0.5316	53.16
14	3 ½	50	6.433	2.106	0.5251	52.51
15	3 ¾	53	6.125	2.065	0.5157	51.57
16	4	55	5.939	2.039	0.5096	50.96
17	4 ¼	56	5.851	2.027	0.5067	50.67
18	4 ½	57	5.766	2.015	0.5038	50.38
<b>ORI</b>	<b>STD</b>	<b>34</b>	<b>8.990</b>	<b>2.407</b>	<b>0.5846</b>	<b>58.46</b>

### EJEMPLO PARA TEST N º 5

Posición: N º 5

Vuelta: 1 ¼

#### 1. Relación de compresión

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

Reemplazamos:

$$\varepsilon = \frac{271.649 + 31}{31}$$
$$\varepsilon = 9.763$$

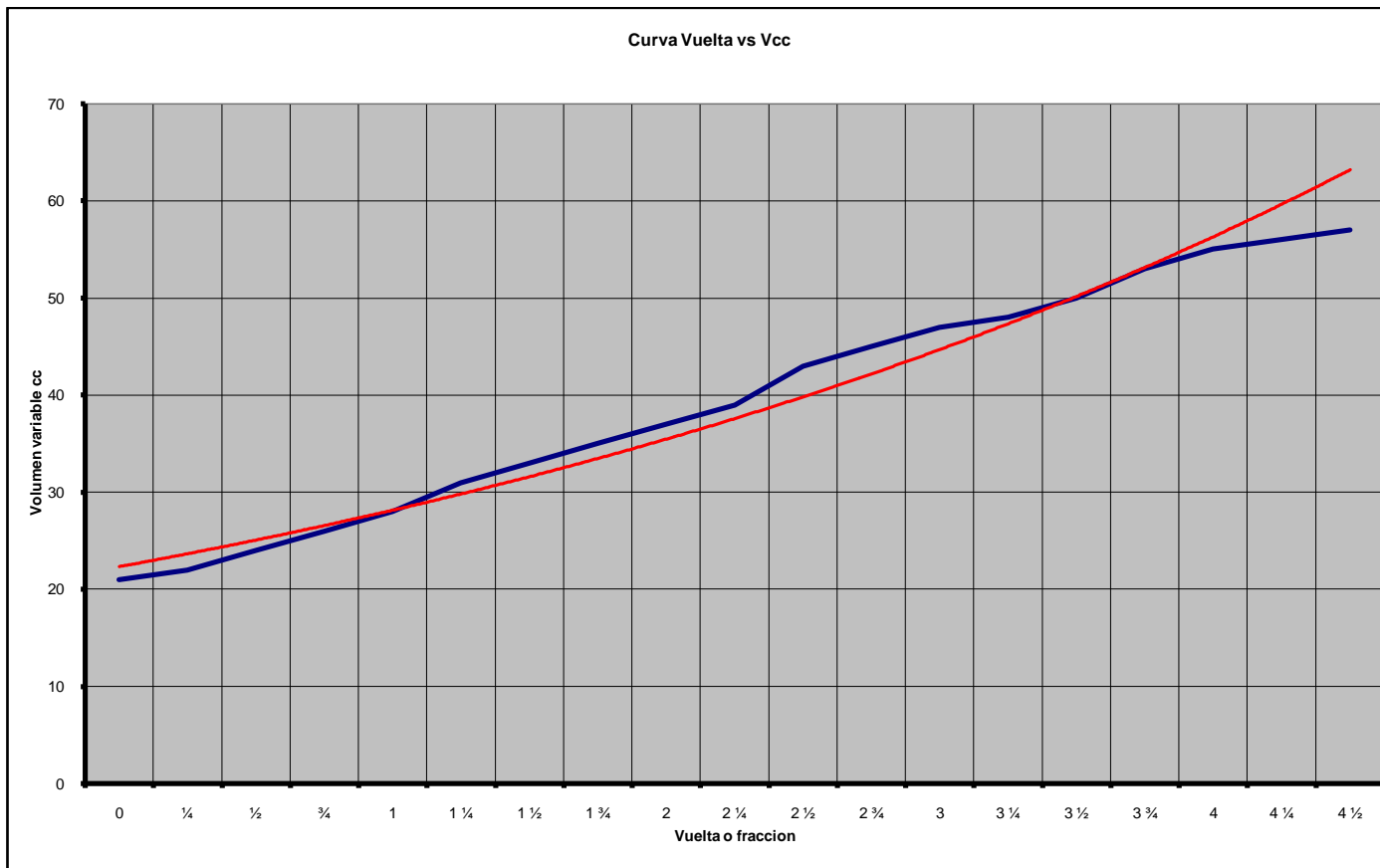
## 2. Eficiencia Motor

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

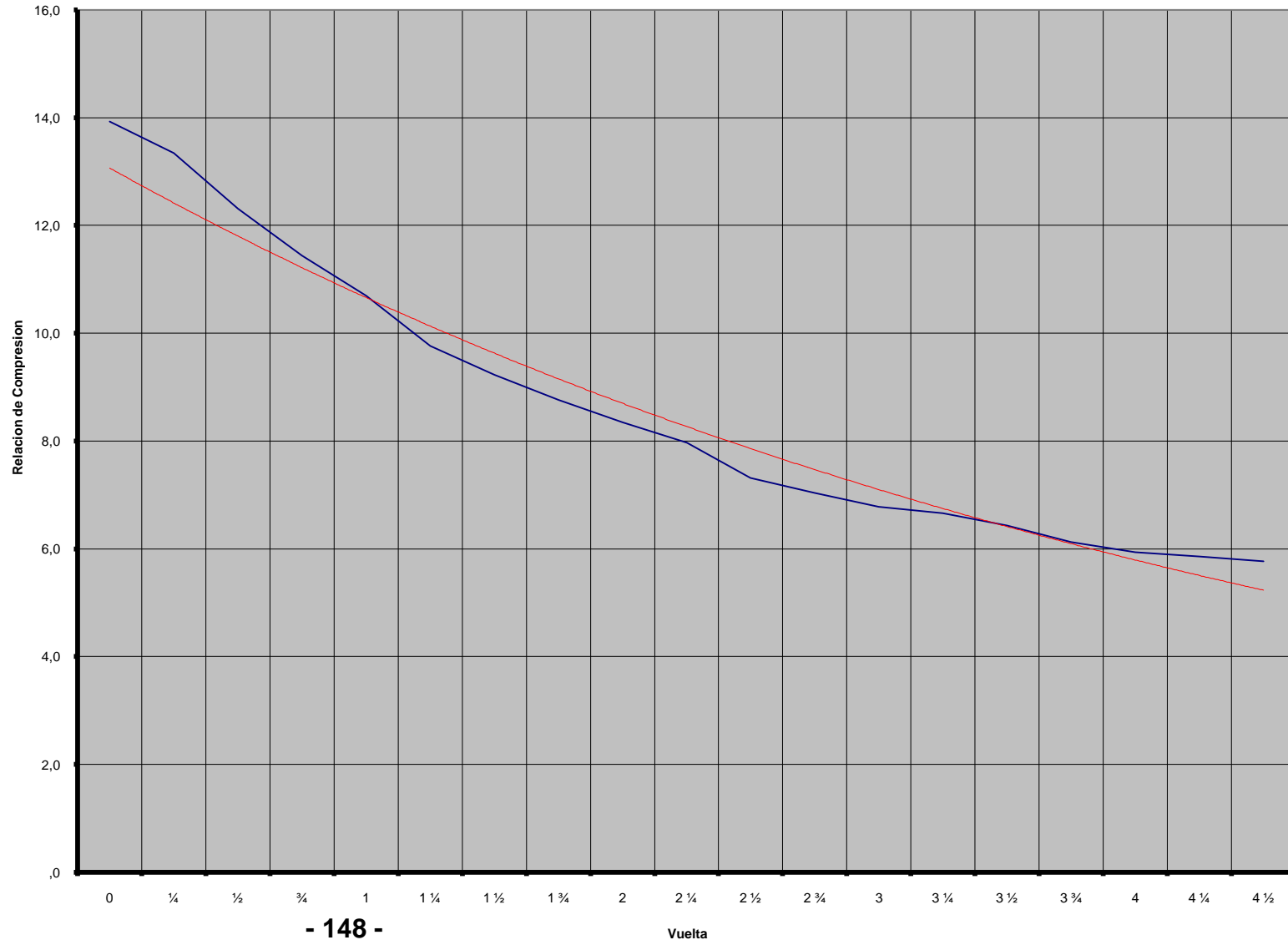
$$\eta = 1 - \frac{1}{9.763^{1.4-1}}$$
$$\eta = 0.5981$$
$$\eta = 59.81\%$$

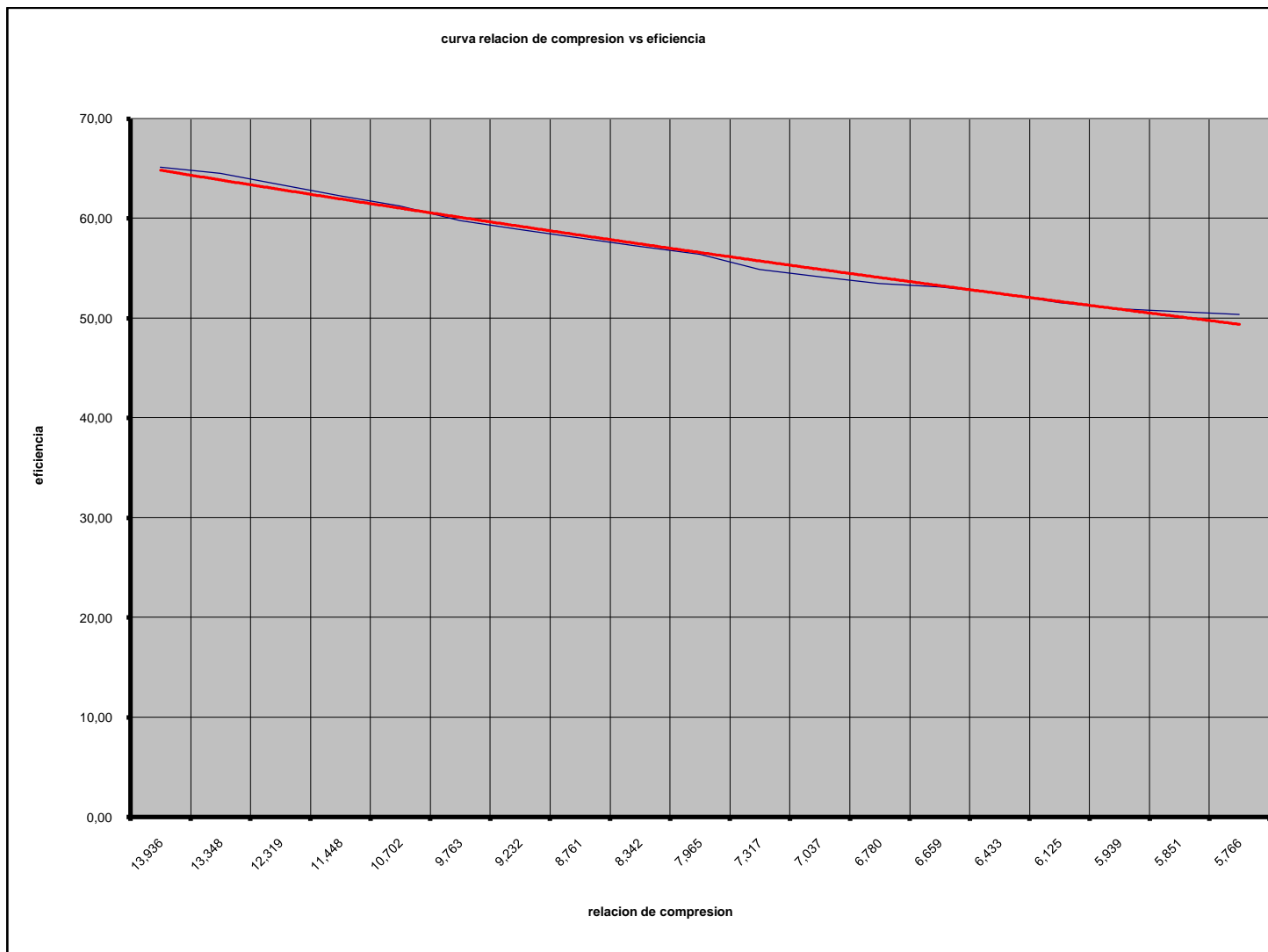
## GRAFICOS

- 1) Vuelta vs Volumen Cámara.
- 2) Vuelta vs Relación de Compresión.
- 3) Relación de Compresión vs Eficiencia Motor .



Curva vuelta vs relacion de compresion





## **ANALISIS DE RESULTADOS.**

### **1) Volumen De cámara de combustión.**

El volumen de la cámara aumenta en relación del número de vueltas o fracción, es decir que a mas vueltas giremos el mecanismo de variación se obtendrá mayor volumen en unidades cúbicas en la cámara variable.

El valor mínimo de volumen en la cámara de combustión variable es 21 centímetros cúbicos a cero (0) vueltas del mecanismo de variación; el valor máximo es 57 centímetros cúbicos a 4 vueltas y media del mecanismo de variación.

### **2) Relación de Compresión.**

La relación de compresión decrece de acuerdo al numero de vueltas o fracción, es decir a mas vueltas giremos el mecanismo de variación obtendremos una relación de compresión mas baja.

El valor mínimo es de 5.766: 1 cuando el mecanismo de variación esta a cuatro vueltas y media; el máximo valor es de 13.936 :1 , cuando el mecanismo de variación esta es su punto inicial cero (0) .

### **3) Eficiencia de Motor.**

La eficiencia del motor es proporcional al aumento de la relación de compresión , lo que quiere decir a mayor relación de compresión se obtendrá una mejor eficiencia del motor expresada en porcentaje.

El valor mínimo es de 5.766: 1 con un eficiencia de 50.38 %; y el valor máximo es 13.936 con una eficiencia de 65.14%.

## CONCLUSIONES

- Con esta práctica se demuestra que a mayor número de vueltas que se realice en el mecanismo de variación, se obtiene mayor volumen de la cámara de combustión, lo que repercute a que la relación de compresión y la eficiencia del motor disminuya.
- Se observa que a cada giro del mecanismo se tiene una variación en el volumen de la cámara de combustión ya que por medio del mecanismo rosca perno podemos variar la altura de la cara del embolo.
- Se compara las curvas elaboradas con datos reales (color azul) con las teóricas (color rojo) en cada grafica, demostrando la similitud de estas.

## RECOMENDACIONES

- Desmontar cuidadosamente el cabezote con cámara de combustión variable del banco de pruebas
- Medir adecuadamente, girando el mecanismo alineando los puntos entre el cabezote y mecanismo de variación.
- Tapar el block del motor, ya que se puede ingresar materias extrañas que dañarían los componentes internos del motor.
- Realizar esta prueba cuando el motor esta frío.

# PRACTICA DE MOTORES

## PRACTICA N 2

**TEMA:** Comprobación de la presión de compresión en las diferentes vueltas del mecanismo de variación de la cámara de combustión variable.

## OBJETIVO

Determinar la presión de compresión en cada posición de la cámara de combustión variable y comparar los datos obtenidos experimentalmente con los obtenidos teóricamente.

## TEORIA

La comprobación de la compresión en la cámara de combustión de un motor es la realización de un test o ensayo, con el que se puede determinar y localizar de modo barato y sencillo las discrepancias que pueda presentar con respecto a los valores especificados por el fabricante.

Para la comprobación se emplea un comprobador de presión de compresión , con este aparato se toma mediciones comparativas de compresión de cada una de las cámaras de compresión .

## PRESION DE CMPRESION

Es la presión que se ejerce por la fuerza del pistón del motor al subir del PMI al PMS comprimiendo la mezcla en la cámara de combustión.



## **EQUIPO UTILIZADO.**

**BANCO DE PRUEBAS:** MONOCILINDRICO CÁMARA  
VARIABLE

**MOTOR:**

Nº Cilindros	= 1
Diámetro	= 75.30 mm
Carrera	= 61.00 mm
Cilindrada	= 271.65 cc
Diámetro embolo	= 79.90 mm
Paso Rosca	= 1.75

**INSTRUMENTOS** Comprobador de presión de Compresión

## **PROCEDIMIENTO.**

- a) Desconectar el cable de bujía
- b) Desenroscar la bujía del cabezote con cámara de combustión variable
- c) Enroscar el comprobador de presión en el alojamiento de la bujía en le cabezote.
- d) Encerar el comprobador de presión de compresión
- e) Colocar el mecanismo de variación de la cámara de combustión en es punto inferior, alineando las marcas en cero.
- f) Hacer girar el motor brevemente con el arrancador, con la posición del acelerador abierta
- g) Tomar los datos de compresión y anotarlos en la tabla correspondiente.
- h) Girar el mecanismo de variación, un cuarto de vuelta, medir y anotar el resultado.
- i) Hacer girar el mecanismo hasta llegar al punto superior , tomando los datos de compresión para su análisis
- j) Tabular los datos.
- k) Desconectar el medidor de presión, colocar la bujía y cable respectivo.

## TABULACION DE DATOS

## CALCULO Y MEDICION DE PRESIONES

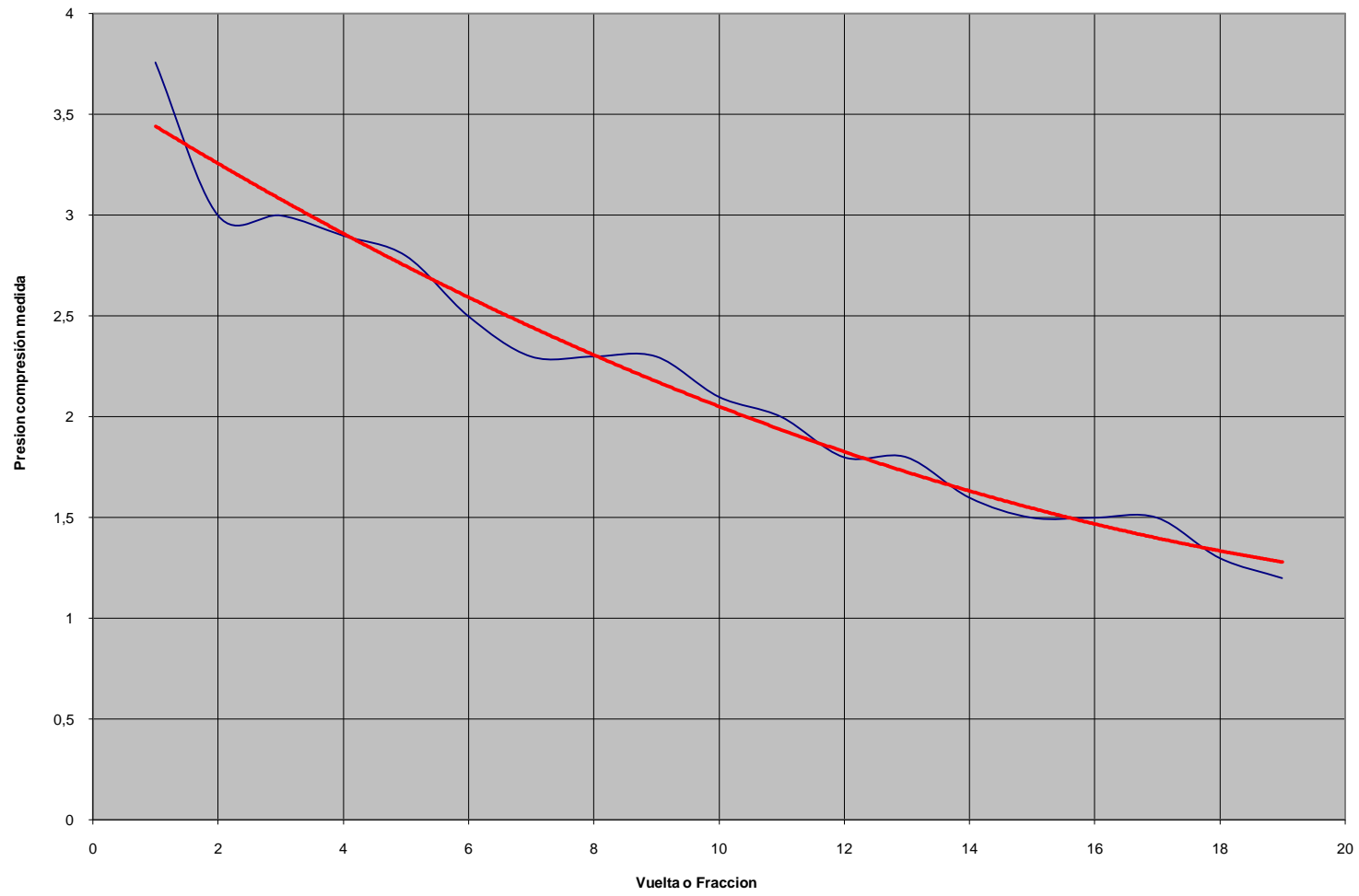
Nº	VUELTA	Volumen	1	2	1	1	2	EXPERIMENTAL	
			P 0 Mpa	P 1 Mpa	P 2 Mpa	P 3 Mpa	P 4 Mpa	PC medida	Perdida pC
0	0	13.936	0.0866	0.0866	3.462	9.930	0.248	3.760	0.298
1	1/4	13.348	0.0866	0.0866	3.259	9.189	0.244	3.000	0.259
2	1/2	12.319	0.0866	0.0866	2.913	7.953	0.236	3.000	0.087
3	3/4	11.448	0.0866	0.0866	2.629	6.970	0.230	2.900	0.271
4	1	10.702	0.0866	0.0866	2.392	6.174	0.224	2.800	0.408
5	1 1/4	9.763	0.0866	0.0866	2.103	5.233	0.215	2.500	0.397
6	1 1/2	9.232	0.0866	0.0866	1.945	4.732	0.211	2.300	0.355
7	1 3/4	8.761	0.0866	0.0866	1.808	4.307	0.206	2.300	0.492
8	2	8.342	0.0866	0.0866	1.688	3.943	0.202	2.300	0.612
9	2 1/4	7.965	0.0866	0.0866	1.582	3.628	0.199	2.100	0.518
10	2 1/2	7.317	0.0866	0.0866	1.405	3.114	0.192	2.000	0.595
11	2 3/4	7.037	0.0866	0.0866	1.330	2.903	0.189	1.800	0.470
12	3	6.780	0.0866	0.0866	1.262	2.715	0.186	1.800	0.538
13	3 1/4	6.659	0.0866	0.0866	1.231	2.628	0.185	1.600	0.369
14	3 1/2	6.433	0.0866	0.0866	1.173	2.470	0.182	1.500	0.327
15	3 3/4	6.125	0.0866	0.0866	1.095	2.261	0.179	1.500	0.405
16	4	5.939	0.0866	0.0866	1.049	2.139	0.177	1.500	0.451

# GRAFICOS

Vuelta vs relación de compresión.

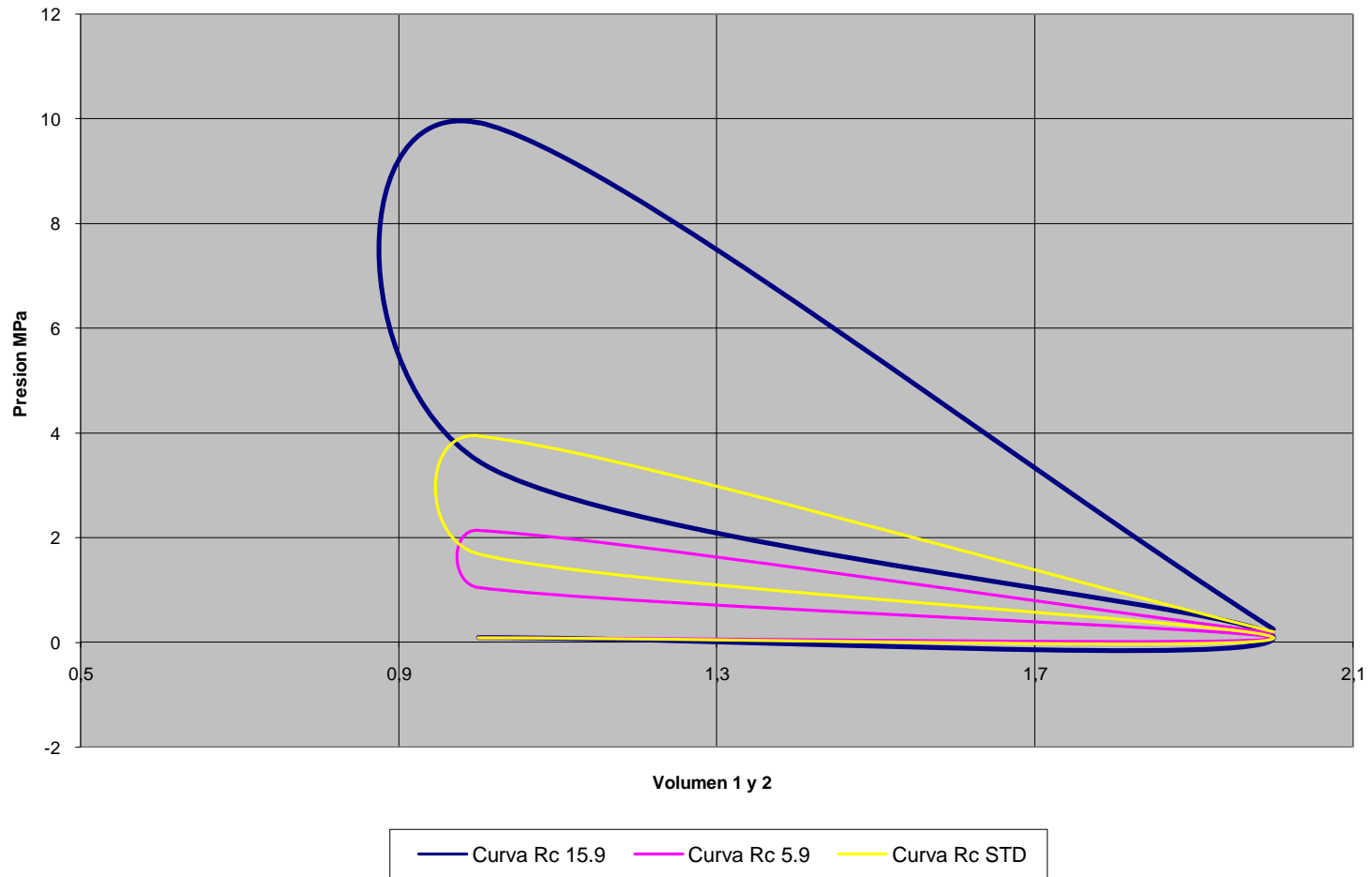
Presión vs Volumen

Grafico Vuelta vs Pc (mediada)





Curva Presion vs Volumen



## Ejemplo de Calculo

Para los cálculos de las presiones en los puntos de admisión, compresión, explosión y escape se toma como dato inicial la Presión Atmosférica igual a la presión de admisión.

$$P_0 = 0.0866 \text{ Mpa}$$

$$P_1 = 0.0866 \text{ Mpa}$$

$$R_c = 13.936$$

$$K = 1.4$$

$$P_2 = P_1 * E^k$$

$$P_2 = 0.0866 * 13.936^{1.4}$$

$$P_2 = 3.465 \text{ Mpa}$$

$$P_3 = P_2 * E^{k-1}$$

$$P_3 = 3.465 * 13.936^{1.4-1}$$

$$P_3 = 9.930 \text{ Mpa}$$

$$P_4 = P_3 / E^k$$

$$P_4 = 9.930 / 13.936^{1.4}$$

$$P_4 = 0.248 \text{ Mpa}$$



## **ANALISIS DE RESULTADOS**

### **1) Presión De Compresión**

Como se puede observar en el gráfico la presión de compresión va decreciendo de acuerdo al número de vueltas que se dan en el tornillo de la parte superior, esto se debe a que al girar el mecanismo de variación el volumen de la cámara de combustión va aumentando, decreciendo de esta manera la relación de compresión.

Se comparan las curvas elaboradas con datos reales (color azul) con las teóricas (color rojo) en cada gráfica, demostrando la similitud de estas.

### **2) Curva Presión Volumen**

Las curvas de presión en función del volumen van desde una presión baja o atmosférica en un volumen mínimo, a un volumen máximo manteniéndose la presión, empezando desde este punto a comprimir el cilindro la mezcla aire combustible elevándose la presión hasta empezar la explosión donde se produce la máxima presión, decreciendo al momento que el pistón regresa al volumen máximo en la etapa de expulsión de gases.

## CONCLUSIONES

- Se comprueba experimentalmente que la compresión de un motor es afectada directamente por el volumen de la cámara de combustión.
- Según la tabla y gráfico se puede notar que la compresión se eleva bajando el mecanismo de variación de la cámara de combustión variable .
- La presión de compresión mediada y calculada decrece a medida que la relación de compresión disminuye.
- El error entre la presión mediada y calculada se debe a que al medir no se considera que el motor funciona a condiciones optimas y al 100 % de su capacidad.

## RECOMENDACIONES

- Realizar esta prueba a temperatura régimen del motor con objeto de que se tenga mayor estanqueidad.
- Tratar de dar arranques proporcionales para tener lecturas uniformes .
- Enroscar perfectamente el comprobador para no tener fugas
- Realizar dos o mas mediciones en cada posición para tener un margen de error mínimo.

# PRACTICA DE MOTORES

## PRACTICA N 3

**TEMA:** Determinación de la curva de Torque y Potencia útil en función de la revoluciones generadas por el motor en varias posiciones del mecanismo de Variación.

### OBJETIVO.

- Graficar la curva de Torque y Potencia útil del motor de acuerdo a las revoluciones generadas por acción del freno del volante de inercia , haciendo una comparación en las posiciones mas relevantes de la cámara de combustión variable.
- Explicar el método empleado para empleado para llegar a registrar el valor de Torque en el motor.

## TEORIA

### TORQUE O PAR MOTOR.

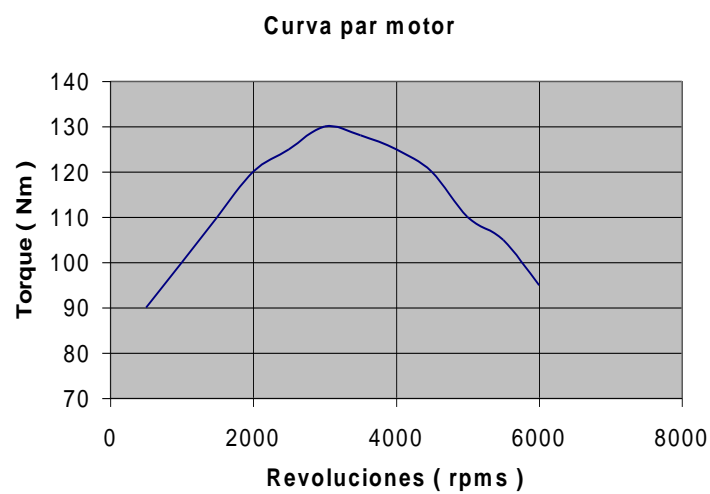
A continuación algunas definiciones de Torque o Par motor

#### Torque es:

- Es un esfuerzo de Giro .
- Es el producto de la fuerza ejercida por la distancia al centro de giro .

- El par motor es la acción de la fuerza tangencial en el brazo del cigüeñal o radio de giro .

El motor de combustión no tiene un par de valor constante sino que depende en cada momento del numero de revoluciones . Se representa en la curva de momentos del motor .



**Formula :**

$$Tq = F \times d$$

**De donde :**

Tq = Torque

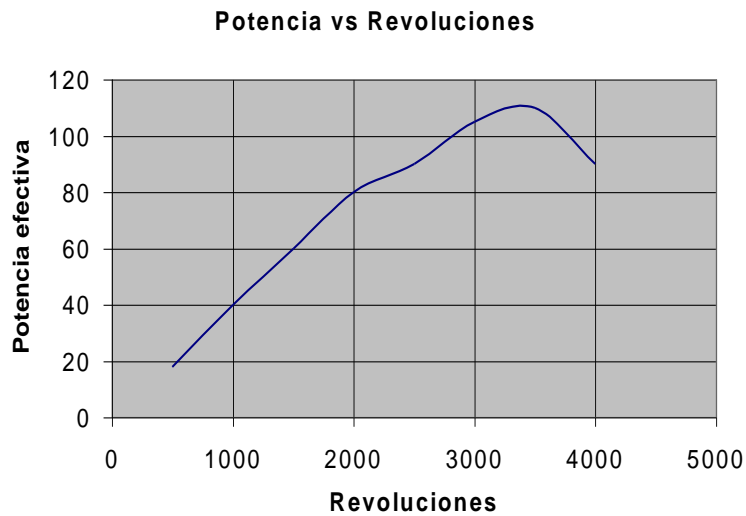
F = Fuerza aplicada

D = Distancia del brazo de palanca

**Potencia efectiva ( potencia útil)**

La potencia es la rapidez a la cual realiza trabajo el motor , ésta depende del numero de revoluciones del motor para su cuantificación.

La potencia efectiva es la que llega al cigüeñal y se mide en el volante de impulsión .



## Formula

$$P = \frac{F \cdot s}{1000 \cdot t} = \frac{F \cdot v}{1000} \text{ Kw}$$

$$Tq = Ft \cdot r \text{ Nm}$$

$$r = \frac{d}{2}$$

$$Ft = \frac{Tq}{\frac{d}{2}} = \frac{Tq \cdot 2}{d}$$

$$Vt = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{60} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$Pe = \frac{Ft \times Vt}{1000}$$

$$Pe = \frac{\frac{Tq \cdot 2}{d} \times \frac{d \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 30}}{1000}$$

$$Pe = \frac{Tq \cdot \pi \cdot n}{1000}$$

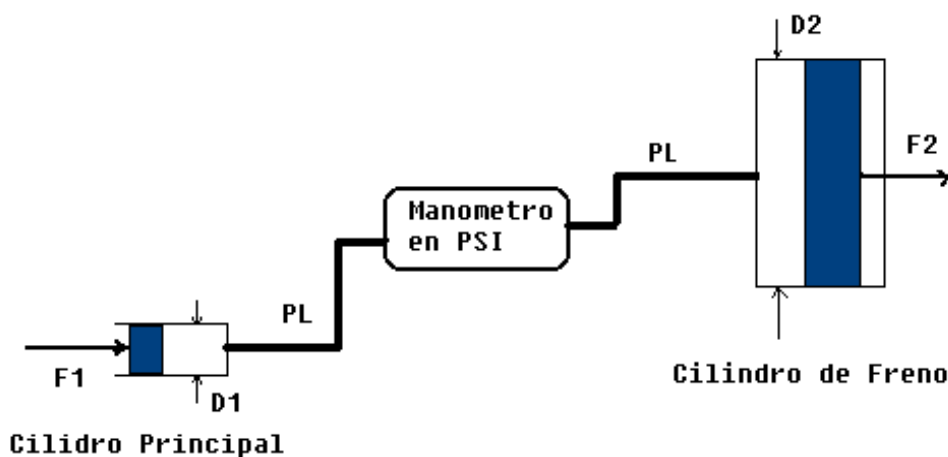
$$Pe = \frac{Tq \cdot n}{9550} \text{ Kw}$$

## Calculo del Torque mediante fuerzas y presión de frenado .

En el banco de pruebas la manera de obtener el torque es aplicando fuerza en el pedal de freno, la cual se transforma en presión que es registrada por el manómetro y a su vez ésta se transforma en fuerza aplicada por el pistón del cilindro del volante, ésta fuerza del cilindro que es aplicada sobre la pastilla de freno produce una fuerza de rozamiento contra el volante y da origen a otra fuerza tangencial con el brazo de palanca, dando así el Torque que se aplica en el volante de inercia.

Partimos de la expresión de  $\text{Presión} = \text{Fuerza} / \text{Área}$  y del circuito de frenado del motor para realizar los cálculos para la obtención del Torque.

- Presión: Es la presión del liquido, en este caso es la registrada por el manómetro.
- Fuerza: Es la que actúa sobre el pistón del cilindro principal o secundario para que este pueda moverse.
- Área : Superficie del cilindro principal o secundario



F1 = Fuerza que se aplica en la palanca de freno.

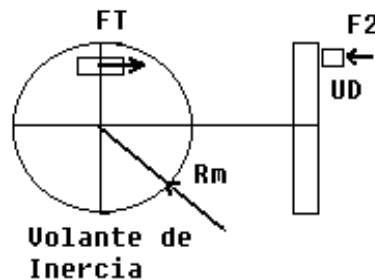
D1 = Diámetro del cilindro principal

PL = Presión del Líquido

F2 = Fuerza que ejerce el cilindro al volante de inercia.

A2 = Área del cilindro del volante

**Nota: El banco de pruebas dispone de un solo cilindro de frenado como se indica en el gráfico.**



$F_T$  = Fuerza Tangencial.

$F_2$  = Fuerza que ejerce el cilindro al volante de inercia.

$U_D$  = Coeficiente de rozamiento dinámico ( 0.3 a 0.5)

$R_m$  = Brazo de palanca

Ahora notamos que la Fuerza 2 o de apriete como se explico anteriormente produce una fuerza tangencial conjuntamente con el radio de giro del volante ,que en este caso es el brazo de palanca que actúa directamente al giro del motor ; con estos datos podemos calcular el Torque utilizando las formulas siguientes:

Datos conocidos:

$A_1 = 2.85 \text{ cm}^2$  ( diámetro de 19.05 mm)

$A_2 = 11.52 \text{ cm}^2$  ( diámetro de 38.29 mm)

Ud = 0.45

PL = ok ( **Variable** )

$$PL = \frac{F2}{A2}$$

Despejamos, F2

$$F2 = PL \left[ \frac{N}{cm^2} \right] \times A2 \left[ m^2 \right] = N$$

$$14PSI = 1Bar = 10N/cm^2$$

$$Ft = vD \left[ \frac{N}{cm^2} \right] \times F2 \left[ N \right] = N$$

$$Tq = Ft \left[ N \right] \times Rm \left[ m \right] = Nm$$

Para el calculo directo del Torque que se esta aplicando se utilizara la siguiente formula:

$Tq = PL \times 0.4814 \text{ ( PL en Psi)}$ $Tq = PL \times 0.04814 \text{ ( PL en Bar )}$
---

**PL** = Es la presión registrada en el manómetro

**Nota :** Como ya se obtiene directamente el valor de la Presión del Liquido no es necesario conocer la fuerza del cilindro principal , motivo por el cual se calcula la fuerza del pistón de freno y la fuerza tangencial.

En la práctica se aplica cargas en la palanca de freno como se indica en la siguiente tabla , con fines de demostración, se calcula la fuerza en el cilindro , la fuerza tangencial y el torque.



Test Nº	Medicion Manometro		Fuerza en cilindro freno(N)	Fuerza Tangencial en Volante(N)	Torque en Volante(Nm)
	Psi	Bar			
1	10	0.714	82.286	37.029	4.814
2	20	1.429	164.571	74.057	9.627
3	30	2.143	246.857	111.086	14.441
4	40	2.857	329.143	148.114	19.255
5	50	3.571	411.429	185.143	24.069
6	60	4.286	493.714	222.171	28.882
7	70	5.000	576.000	259.200	33.696
8	80	5.714	658.286	296.229	38.510
9	90	6.429	740.571	333.257	43.323
10	100	7.143	822.857	370.286	48.137
11	110	7.857	905.143	407.314	52.951
12	120	8.571	987.429	444.343	57.765
13	130	9.286	1069.714	481.371	62.578
14	140	10.000	1152.000	518.400	67.392
15	150	10.714	1234.286	555.429	72.206
16	160	11.429	1316.571	592.457	77.019
17	170	12.143	1398.857	629.486	81.833
18	180	12.857	1481.143	666.514	86.647
19	190	13.571	1563.429	703.543	91.461
20	200	14.286	1645.714	740.571	96.274

**EQUIPO UTILIZADO.**

**BANCO DE PRUEBAS:** MONOCILINDRICO CÁMARA VARIABLE

**MOTOR:**

- Nº Cilindros = 1
- Diámetro = 75.30 mm
- Carrera = 61.00 mm
- Cilindrada = 271.65 cc
- Diámetro embolo = 79.90 mm
- Paso Rosca = 1.75

**INSTRUMENTOS**

- Manómetro de Presión de 0 a 350 Psi
- Tacómetro Digital
- Circuito de Freno Banco de Prueba

## **PROCEDIMIENTO.**

- a) Verificar niveles de combustible y liquido de frenos.
- b) Abrir la llave de paso de combustible al motor
- c) Colocar el mecanismo de variación en una posición media (dos vuelta y un cuarto) para encender el motor y mantenerlo encendido para realizar las pruebas a temperaturas de funcionamiento .
- d) Encender el motor sin carga en el freno del volante de inercia
- e) Apagar el motor para cambiar de posición el mecanismo de variación colocarlo en la posición (4 vueltas), encender el motor.
- f) Colocar paulatinamente cargas al volante, aconsejablemente en intervalos de 10 PSI y tomar la lectura de la revoluciones que se generan en con cada carga.
- g) Aplicar cargas hasta que el motor se pare ( aproximadamente 150 PSI)
- h) Tabular estos datos, apagar el motor y colocar el mecanismo de variación en la posición de tres vueltas .
- i) Repetir el procedimiento aplicar el mismo rango de presión en el manómetro
- j) Tabular los datos, apagar el motor y Repetir el procedimiento para las posiciones 2, 1 y 0 vueltas.
- k) Apagar el motor, cerrar la llave de paso de combustible.

## **TABULACION DE DATOS**

Test Nº	Torque en Volante(Nm)	Presion		Revoluciones en funcion de la Rc				
		PSI	BAR	13.936	10.702	8.342	6.780	5.939
1	4.814	10	0.714	2670	2500	2360	2050	1970
2	9.627	20	1.429	2620	2490	2330	2030	1960
3	14.441	30	2.143	2600	2380	2300	2040	1940
4	19.255	40	2.857	2580	2320	2215	2025	1930
5	24.069	50	3.571	2540	2290	2200	2010	1915
6	28.882	60	4.286	2430	2260	2180	1980	1800
7	33.696	70	5.000	2360	2200	2160	1970	1740
8	38.510	80	5.714	2350	2100	2100	1890	1670
9	43.323	90	6.429	2340	2070	2080	1750	1640
10	48.137	100	7.143	2310	2060	2050	1680	1620
11	52.951	110	7.857	2260	2000	2020	1630	1580
12	57.765	120	8.571	2150	1930	1960	1590	1550
13	62.578	130	9.286	2090	1750	1710	1550	1525
14	67.392	140	10.000	1600	1490	1615	1510	1470
15	72.206	150	10.714		1470	1500	1470	1440
16	77.019	160	11.429		1300	1470	1430	1415
17	81.833	170	12.143			1380	1410	1350
18	86.647	180	12.857			1200	1380	1250
19	91.461	190	13.571				1200	1150

Test Nº	Torque en Volante(Nm)	Revoluciones en funcion de la Rc					Potencia Efectiva Pe ( hp)				
		13.936	10.702	8.342	6.780	5.939	13.936	10.702	8.342	6.780	5.939
1	4.814	2670	2500	2360	2050	1970	1.805	1.690	1.595	1.386	1.332
2	9.627	2620	2490	2330	2030	1960	3.542	3.366	3.150	2.744	2.650
3	14.441	2600	2380	2300	2040	1940	5.272	4.826	4.664	4.137	3.934
4	19.255	2580	2320	2215	2025	1930	6.976	6.273	5.989	5.475	5.218
5	24.069	2540	2290	2200	2010	1915	8.585	7.740	7.435	6.793	6.472
6	28.882	2430	2260	2180	1980	1800	9.855	9.166	8.841	8.030	7.300
7	33.696	2360	2200	2160	1970	1740	11.167	10.410	10.220	9.321	8.233
8	38.510	2350	2100	2100	1890	1670	12.708	11.356	11.356	10.220	9.031
9	43.323	2340	2070	2080	1750	1640	14.235	12.593	12.654	10.646	9.977
10	48.137	2310	2060	2050	1680	1620	15.614	13.925	13.857	11.356	10.950
11	52.951	2260	2000	2020	1630	1580	16.804	14.871	15.020	12.120	11.748
12	57.765	2150	1930	1960	1590	1550	17.439	15.655	15.898	12.897	12.573
13	62.578	2090	1750	1710	1550	1525	18.365	15.378	15.026	13.620	13.401
14	67.392	1600	1490	1615	1510	1470	15.141	14.100	15.283	14.290	13.911
15	72.206		1470	1500	1470	1440		14.905	15.209	14.905	14.600
16	77.019		1300	1470	1430	1415		14.060	15.898	15.466	15.303
17	81.833			1380	1410	1350			15.858	16.202	15.513
18	86.647			1200	1380	1250			14.600	16.791	15.209
19	91.461				1200	1150				15.412	14.769

## Ejemplo de calculo para el Test N° 4

Utilizando las siguientes expresiones se calcula la potencia efectiva en HP para cada una de las posiciones de Prueba .

$$Pe = \frac{Tq \times n}{9550} \text{ Kw}$$

$$1Watt = 1.341 \times 10^{-3} hp$$

$$1kw = 1000Watts$$

$$Pe = \frac{Tq \times n}{9550} \times 1.341021859 = \text{HP}$$

En Test N 4 se aplica un torque de 19.255 Nm , en la posición 0, con una relación de compresión de 13.936 , esto genera 2580 rpms .

Aplicamos la formula anterior :

$$Pe = \frac{19.255 \times 2580}{9550} \times 1.3410 \text{ HP}$$

$$Pe = 6.946 \text{ HP}$$

Ahora reemplazamos los datos de la tabla para cada posición de prueba de la siguiente manera :

## Posición 1 , Rc 10.702

$$Pe = \frac{19.255 \times 2320}{9550} \times 1.3410 \text{ HP}$$
$$Pe = 6.273 \text{ HP}$$

## Posición 2, Rc 8.342

$$Pe = \frac{19.255 \times 2215}{9550} \times 1.3410 \text{ HP}$$
$$Pe = 5.989 \text{ HP}$$

## Posición 3 , Rc 6.780

$$Pe = \frac{19.255 \times 2025}{9550} \times 1.3410 \text{ HP}$$
$$Pe = 5.475 \text{ HP}$$

## Posición 4 , Rc 5.939

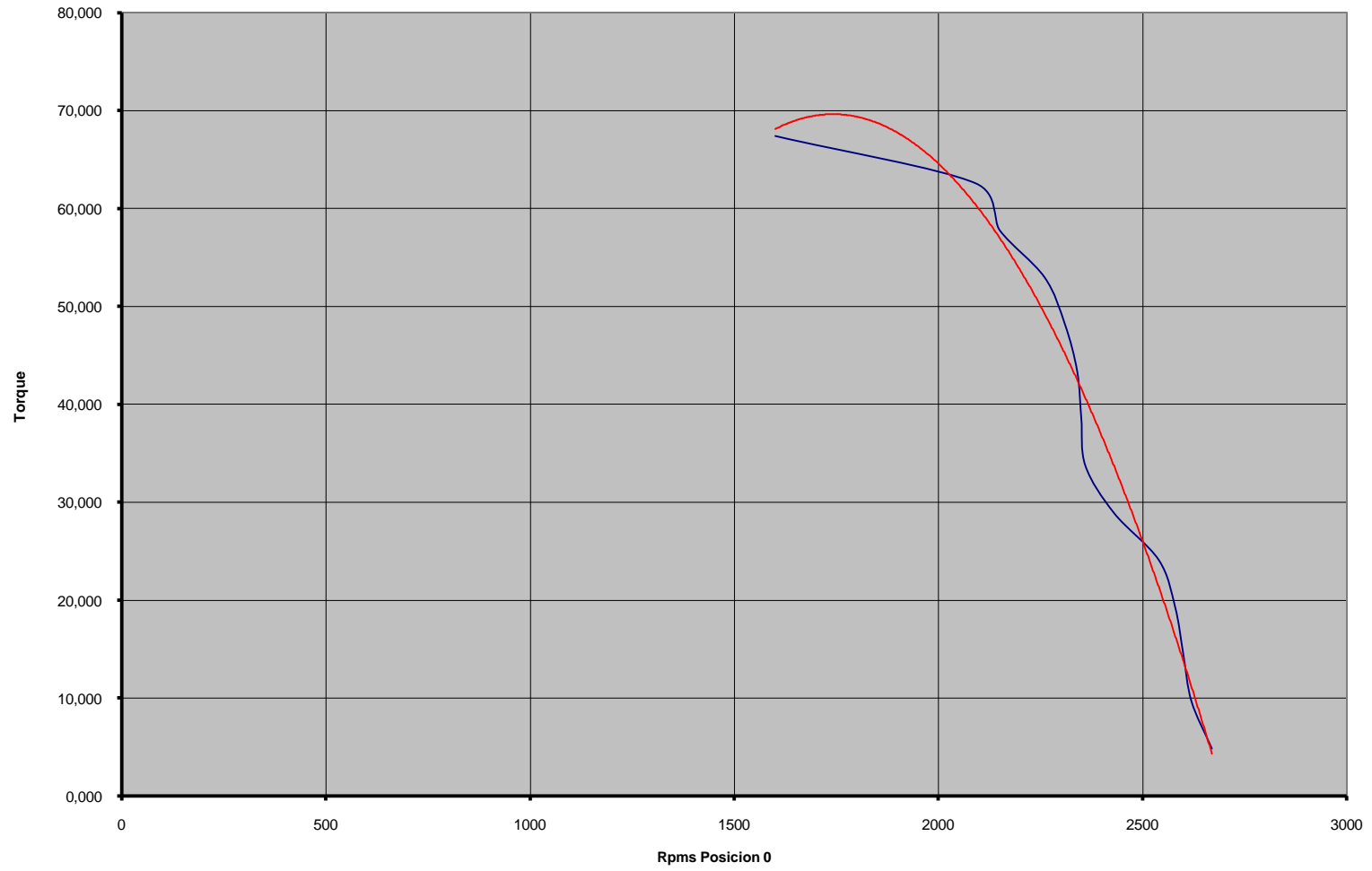
$$Pe = \frac{19.255 \times 1930}{9550} \times 1.3410 \text{ HP}$$
$$Pe = 5.218 \text{ HP}$$

### Gráficos .

- 1) Torque en función de las Rpm , por cada posición de prueba .
- 2) Potencia útil en función de las Rpm , por cada posición de prueba.

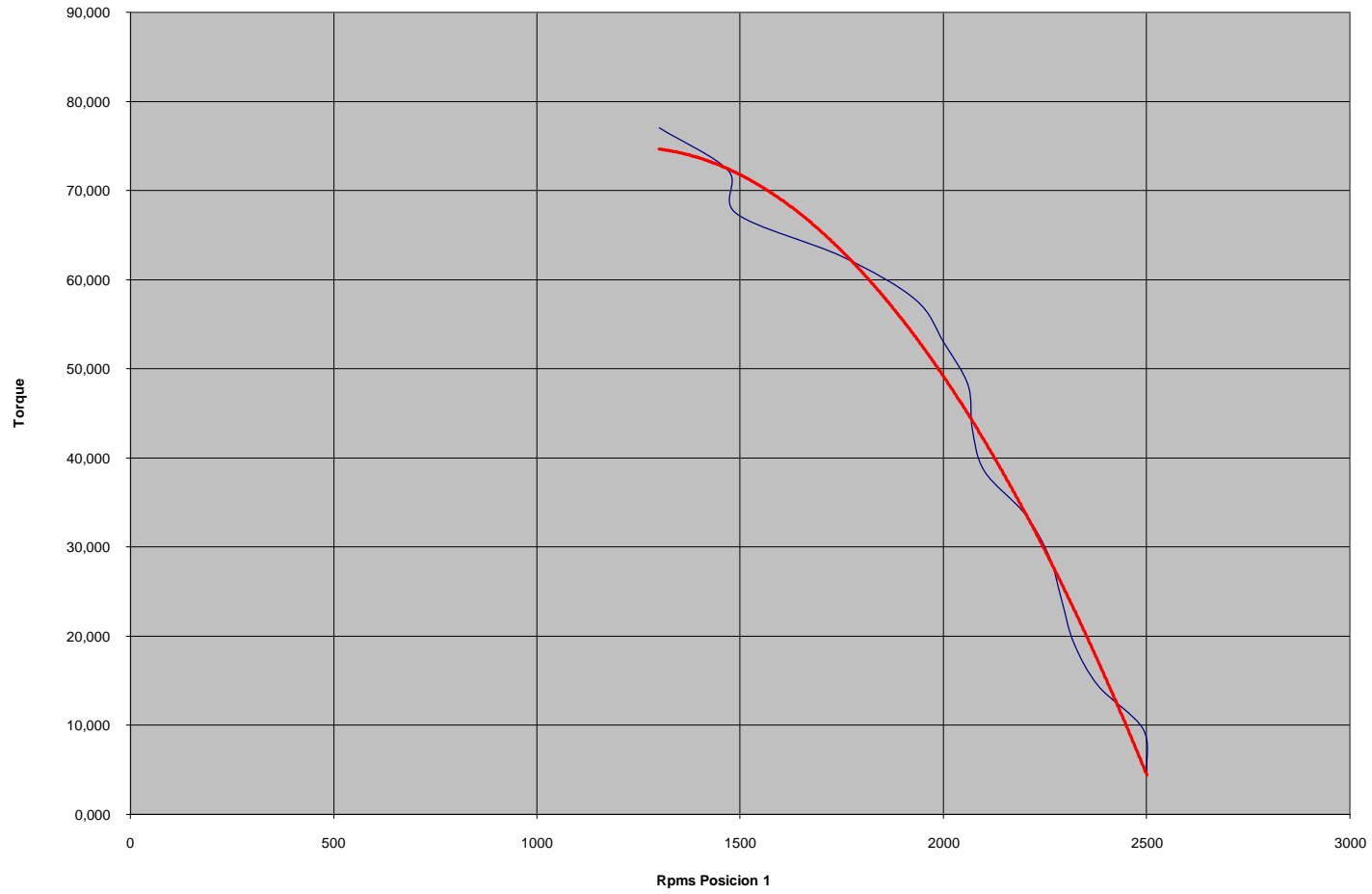


Torque vs Rpm

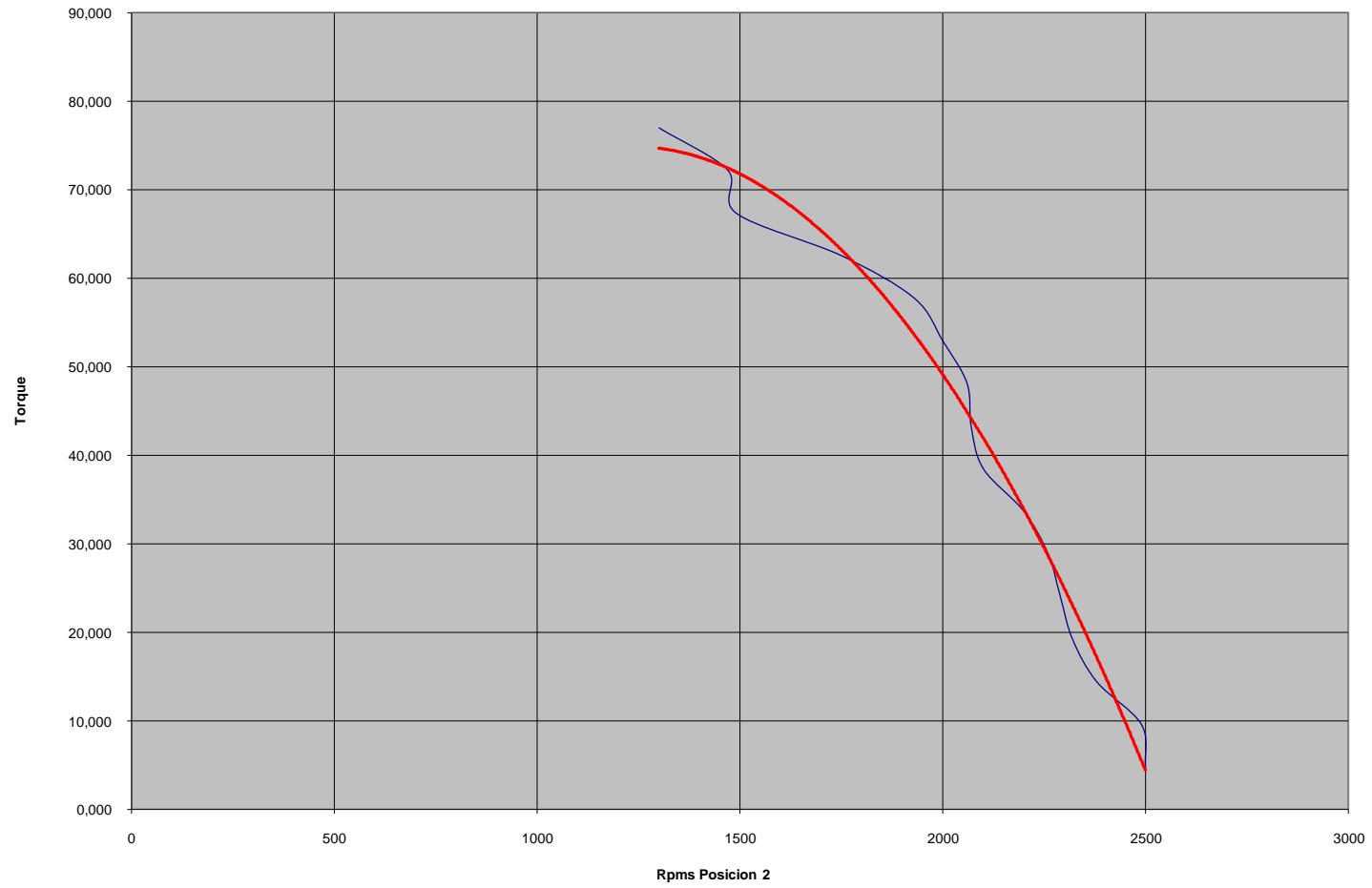




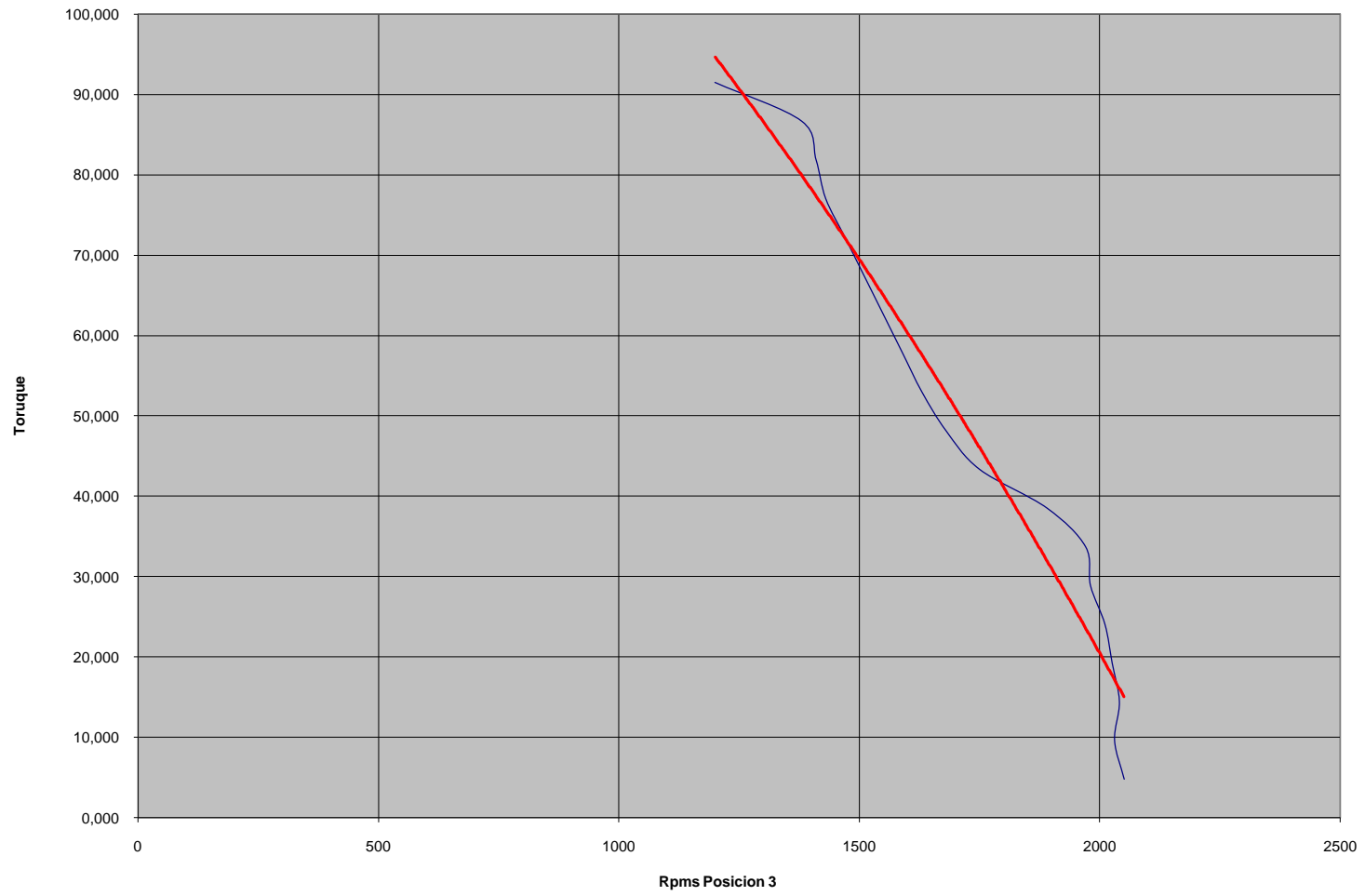
Torque vs Rpms



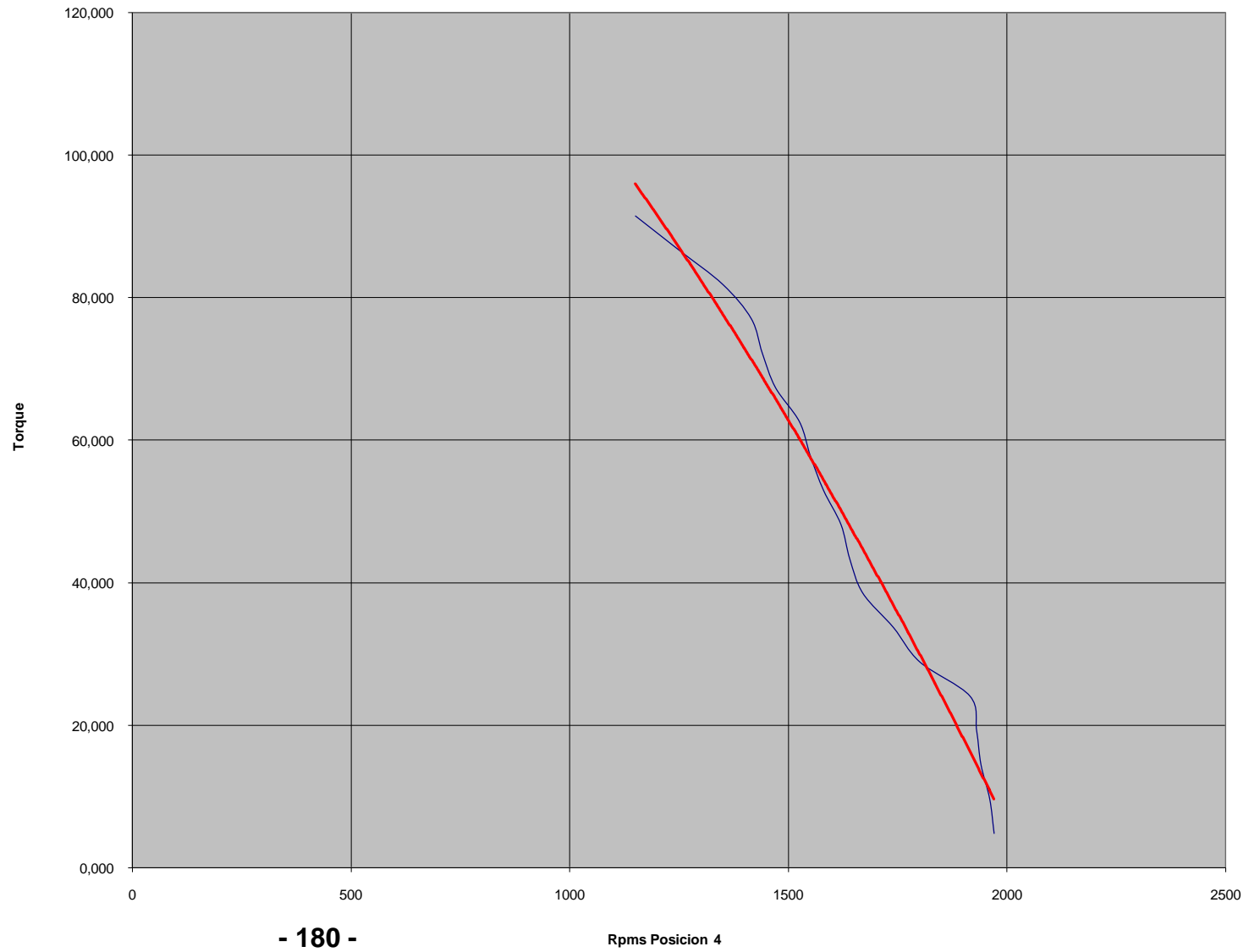
Torque vs Rpms



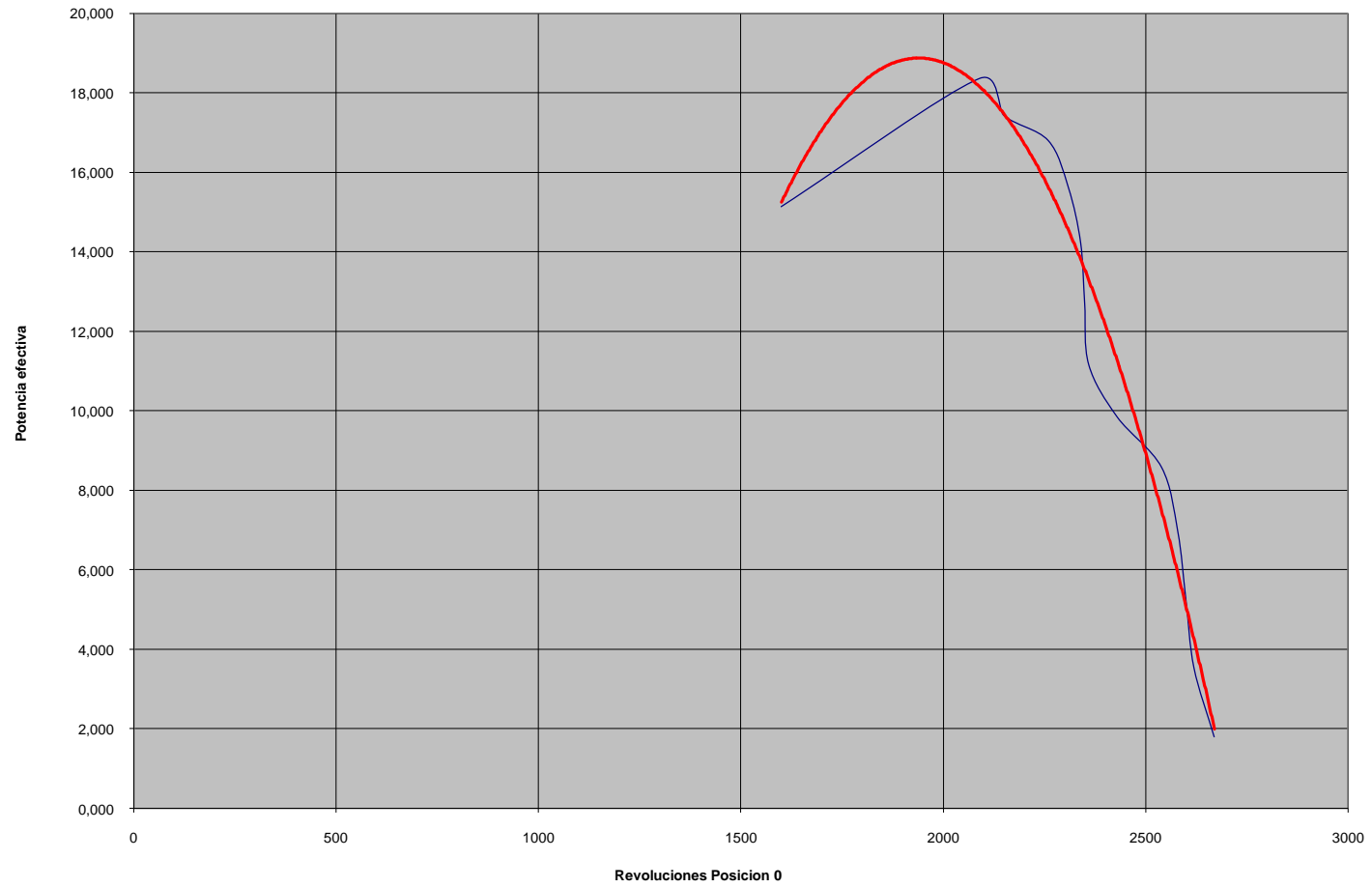
Torque Vs Rpms



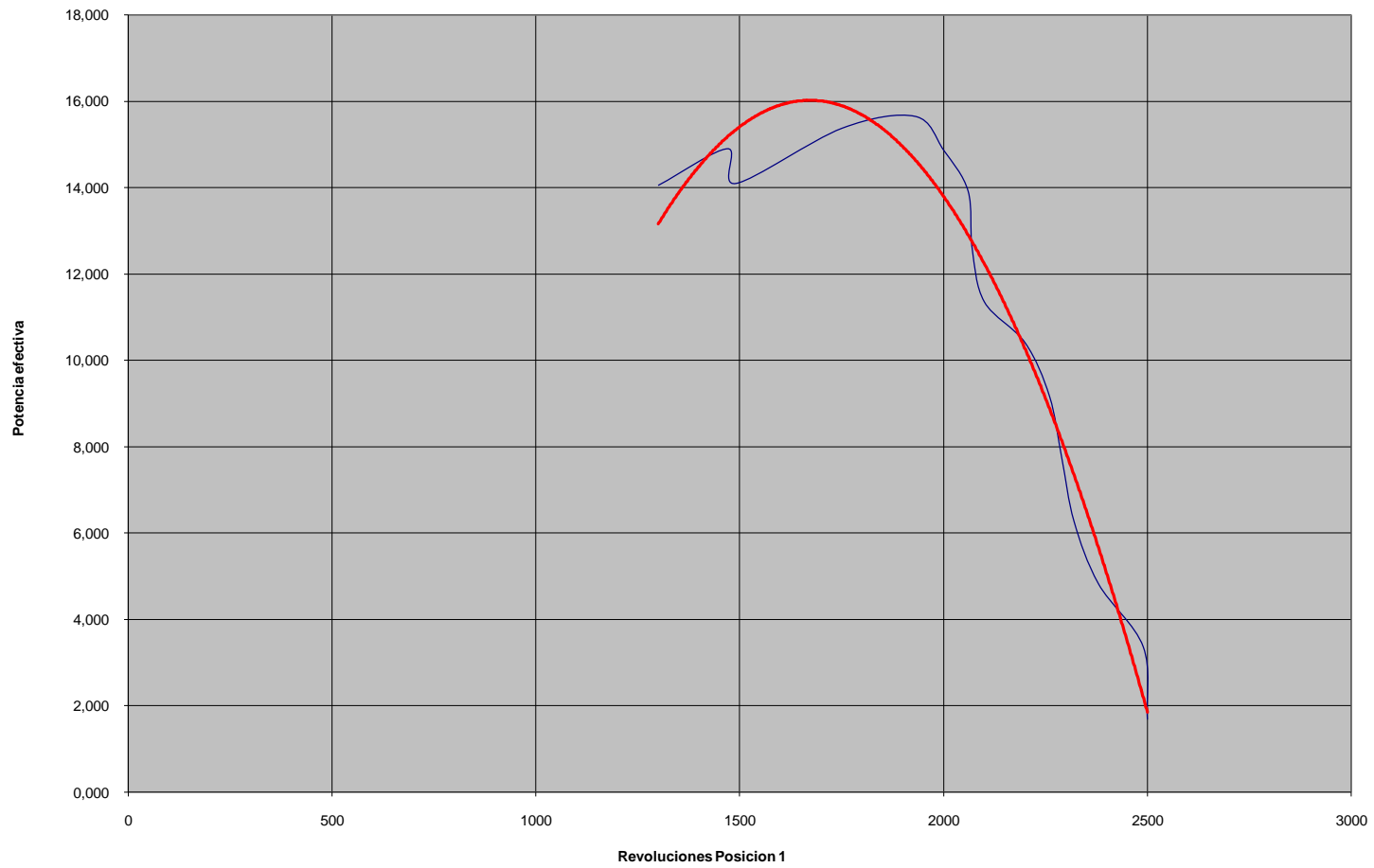
Torque Vs Rpms



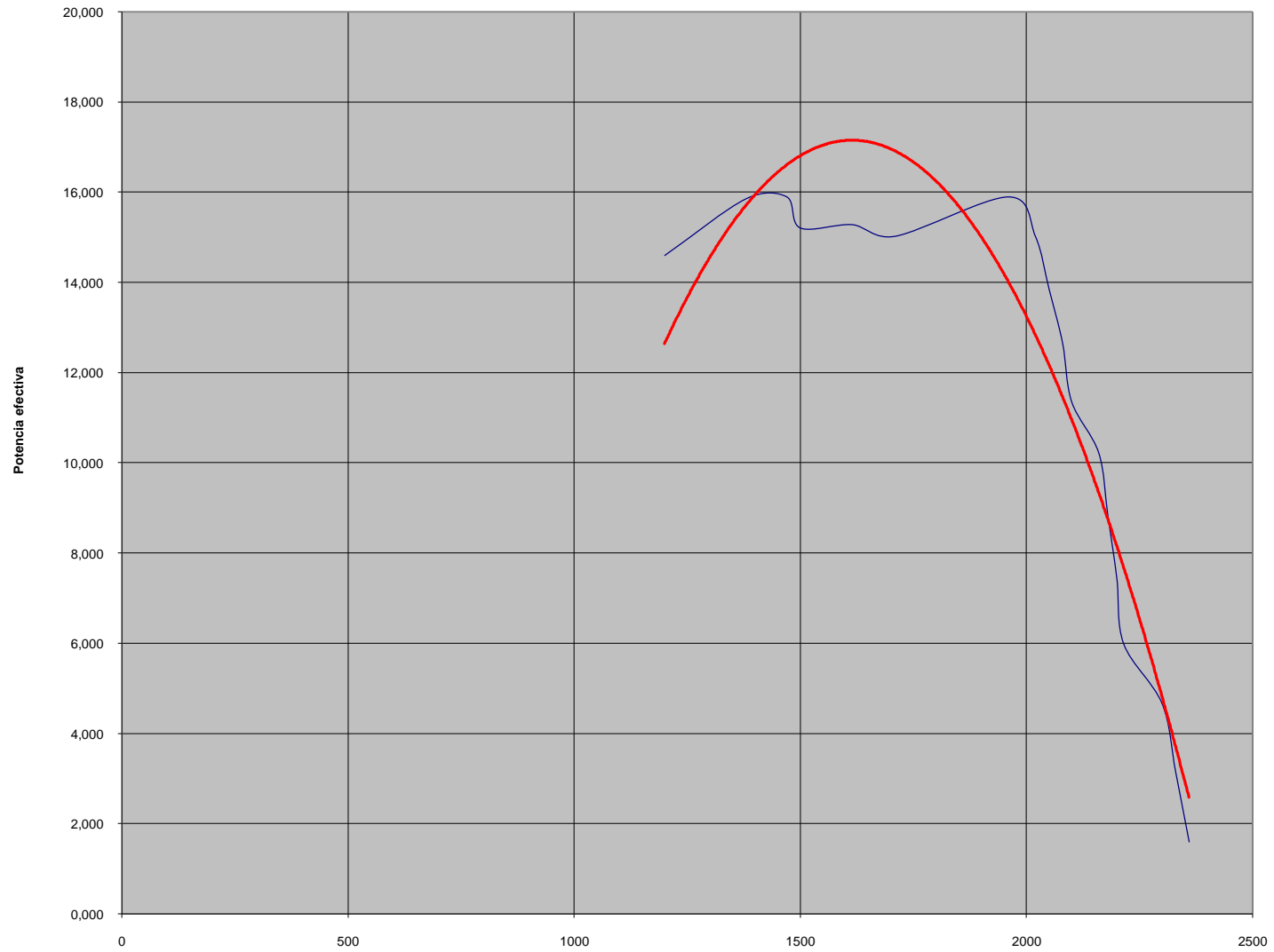
Potencia efetiva vs revoluciones



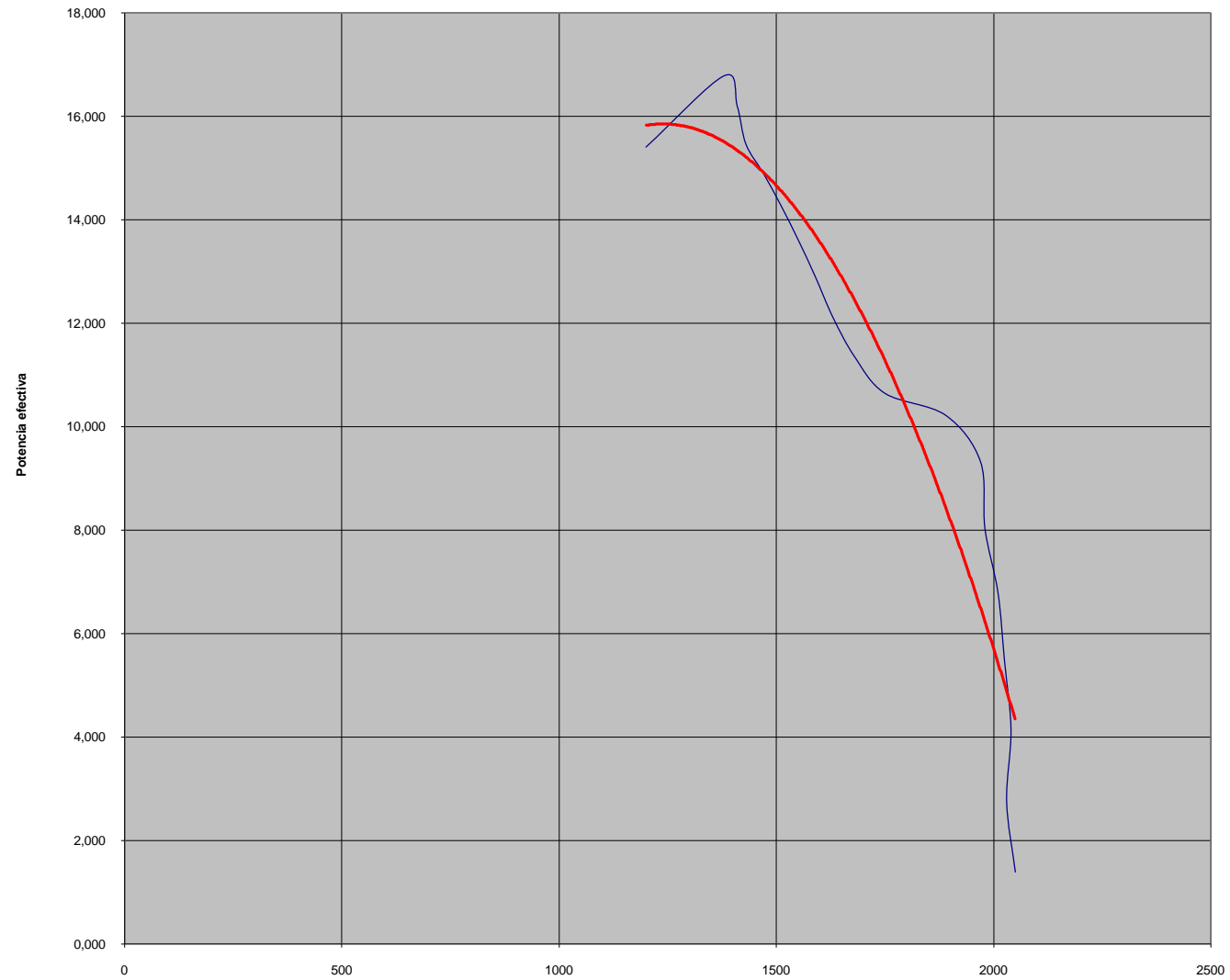
Potencia efectiva vs Rpms



Potencia efectiva vs Revoluciones

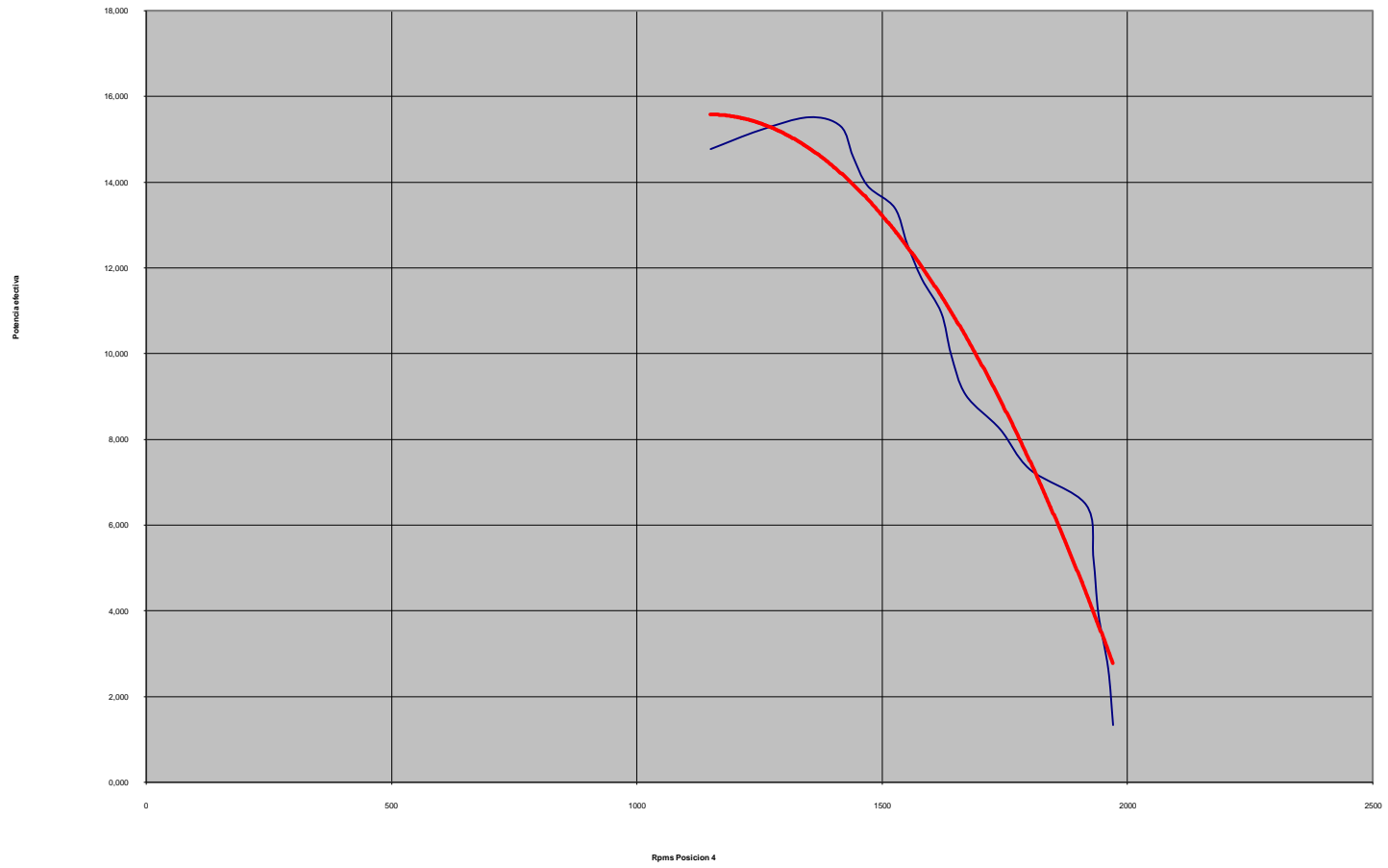


Potencia efectiva vs Revoluciones





Potencia efectiva vs Revoluciones



# ANALISIS DE RESULTADOS

## 1) Torque en función de Revoluciones

El torque que se aplica al motor genera un numero de revoluciones en cada posición de la prueba, como se en la gráfica en las cuatro posiciones de prueba se nota que la curva tiende a decrecer, debido a que si se aplica una carga débil se aumenta el numero de revoluciones y a mayor torque o carga aplicada al motor las revoluciones aumentan.

De esta manera los Torques máximos que se producen en las posiciones de prueba son los siguientes:

### En la Posición 0

**Torque Máx. : 67.392 a 1600 rpms**

### En la posición 1

**Torque Máx. : 77.019 a 1300 rpms**

### En la posición 2

**Torque Máx. : 77.019 a 1300 rpms**

### En la posición 3

**Torque Máx. : 91.461 a 2050 rpms**

## **En la posición 4**

**Torque Máx. : 91.461 a 1150 rpms**

Como se puede apreciar en la gráfica se necesita mayor carga o torque cuando el mecanismo de variación esta en una relación elevada, existe una mayor compresión y por ende existe una mayor fuerza en el pistón motivo por el cual se necesita mas carga en el volante para mantener las revoluciones o frenar el giro del motor.

## **2) Potencia efectiva en función de la Revoluciones.**

La potencia efectiva es proporcional al numero de revoluciones, lo que quiere decir que a mayor numero de revoluciones se obtendrá una mayor potencia , como se observa en la curva que se obtiene mayores revoluciones en la posición 0 o de mayor relación de compresión y es el la que se obtiene un mayor valor de Potencia .

La tendencia de la curva en las posiciones de prueba indican que la potencia llega a su punto máximo en revoluciones intermedias de prueba y luego decrece por motivo de que el torque es menor y no existe trabajo o esfuerzo en el motor por eso las revoluciones son altas .

De esta manera se obtiene La potencia máxima en las posiciones de prueba así:

## Posición 0

**Potencia Máx.: 18.365 hp a 2090 rpms**

## Posición 1

**Potencia Máx.: 15.655 hp a 1930 rpms**

## Posición 2

**Potencia Máx.: 15.898 hp a 1960 rpms**

## Posición 3

**Potencia Máx.: 16.791 hp a 1380 rpms**

## Posición 4

**Potencia Máx.: 15.303 hp a 1415 rpms**

Se observa que se obtiene una mayor potencia efectiva en la posición 0 del mecanismo de variación del banco de pruebas.

## CONCLUSIONES

- Las revoluciones del motor se controlan con el freno del volante de inercia, y en la presente practica se grafico las curvas de para motor , siendo similares entre si pero se distinguen ya que en las diferentes posiciones se obtienen datos distintos .
- El motor tiene un mejor desempeño en posiciones intermedias del mecanismo de variación de la cámara obteniendo valores máximos en Torque Y Potencia efectiva.
- Los datos de las pruebas son en ocasiones irreales ya que al ser un motor monocilíndrico el comportamiento de este es inestable.
- Se compara las curvas elaboradas con datos reales (color azul) con las teóricas (color rojo) en cada grafica, demostrando la similitud de estas.

## RECOMENDACIONES

- Verificar los niveles y fugas tanto de combustible como de liquido de frenos , para obtener datos mas precisos .
- Antes de las pruebas encender el motor de 8 a 15 minutos en una posición intermedia del mecanismo de variación, para tener temperaturas apropiadas de funcionamiento.
- Apagar el motor para cambiar de posición o de relación de compresión .

- Utilizar guantes para girar el mecanismo de variación ya que por el funcionamiento del motor la temperatura es elevada.
- Si existe una anomalía en el funcionamiento apagar el motor y verificar los posibles daños.
- Para un mejor desempeño del motor utilizar gasolina super.

## PRACTICA DE MOTORES

### PRACTICA N 4

**TEMA:** Determinación de Torque , Potencia Efectiva , consumo específico de combustible por cada vuelta del mecanismo de Variación , manteniendo constante las RPMS.

### OBJETIVO

- Determinar el Torque a 2000 rpms para cada vuelta del mecanismo de variación de la cámara, y calcular la potencia efectiva para cada registro de Torque.
- Determinar el consumo específico de combustible a 2000 rpms en cada posición del mecanismo de variación.
- Conocer el comportamiento de las temperaturas de en el escape , en la admisión y en el cabezote , en cada vuelta del mecanismo de variación.

### TEORIA

**TORQUE.-** El torque es una fuerza contraria al giro del motor por la distancia o radio necesario para producir dicha fuerza .

**Formula:**

$$Tq = F \times d$$

**De donde:**

Tq = Torque

F = Fuerza aplicada

D = Distancia o radio del brazo de palanca

**POTENCIA EFECTIVA** .- Es la rapidez que tiene el motor para realizar un trabajo , ésta depende de las revoluciones a las que gira el motor .

**Formula**

$$Pe = \frac{Tq \times n}{9550} \quad \left[ \frac{kg \cdot m^2}{s^2} \right]$$

**De donde**

Pe = Potencia efectiva

Tq = Torque

N = numero de revoluciones

9550 = Factor de conversión de unidades

Consumo específico de combustible.

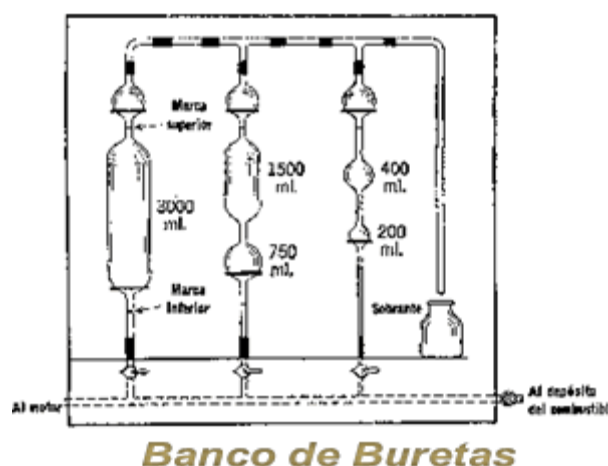
**CONSUMO DE COMBUSTIBLE B,b**

**B** : Consumo horario de combustible en masa por unidad de tiempo.

**b** : Consumo específico másico horario de combustible en masa por potencia - tiempo.

El consumo específico de combustible  $b$  es un parámetro de primer orden que muestra la capacidad de la máquina para convertir una cantidad determinada de combustible en trabajo. En las especificaciones nominales del motor, este parámetro es preferido a la eficiencia térmica por estar dado en unidades "estándar".

El método aceptado para medir la cantidad de combustible usado por un motor es el de pesar el combustible consumido en un intervalo de tiempo, obteniéndose el consumo medio de combustible durante el periodo de prueba. Por medio de este método se consiguen valores muy aproximados, pero su implementación es bastante compleja; por lo cual se prefiere una práctica más simple pero no aceptada formalmente y que es la que está implementada en el laboratorio, la cual consiste en la medición del volumen de combustible en un intervalo de tiempo determinado y convertir el volumen a masa o peso, utilizando la densidad o el peso específico. Bajo el procedimiento semiautomático, se admite manualmente combustible en un banco de buretas; el nivel baja al fluir el combustible al motor, al encontrarse el nivel con un diodo fotosensible este activa un reloj; posteriormente al seguir bajando el nivel, llega hasta el punto inferior donde hay otro diodo fotosensible que detiene la marcha del reloj. Esta operación puede realizarse de modo manual utilizando un cronometro y verificando visualmente los pasos del nivel.



Los consumos de combustible vienen dados por las fórmulas:



$$b = \frac{B}{Pe} \cdot \left[ \frac{g}{Kw \cdot h} \right]$$

$$B = \frac{k \cdot \delta \cdot 3600}{t} \cdot \left[ \frac{g}{h} \right]$$

Donde :

b = consumo específico de combustible.

B = Consumo por hora.

Pe = Potencia del motor.

K = cantidad de combustible consumido

D = densidad del combustible

T = tiempo

#### **EQUIPO UTILIZADO.**

**BANCO DE PRUEBAS:** MONOCILINDRICO CÁMARA  
VARIABLE

**MOTOR:**

Nº Cilindros	= 1
Diámetro	= 75.30 mm
Carrera	= 61.00 mm

Cilindrada	= 271.65 cc
Diámetro embolo	= 79.90 mm
Paso Rosca	= 1.75

## **INSTRUMENTOS**

Manómetro de Presión de 0 a 350 Psi  
 Tacómetro Digital  
 Circuito de Freno Banco de Prueba  
 Bureta graduada de 15 cc  
 Cronometro  
 Termómetros digitales

## **PROCEDIMIENTO.**

- a. Verificar niveles de combustible y liquido de frenos.
- b. Abrir la llave de paso de combustible al motor
- c. Colocar el mecanismo de variación en una posición media (dos vuelta y un cuarto) para encender el motor y mantenerlo encendido para realizar las pruebas a temperaturas de funcionamiento.
- d. Encender el motor sin carga en el freno del volante de inercia
- e. Apagar el motor para cambiar de posición el mecanismo de variación colocarlo en la posición (4 vueltas), encender el motor.
- f. Controlar las revoluciones del motor con el tacómetro digital , aplicando cargas en el volante de inercia hasta mantener las revoluciones requeridas ( 2000 rpms )
- g. Tabular los datos de la lectura del de manómetro, la temperatura en el cabezote, en el sistema de escape y en la admisión.
- h. En la misma posición del mecanismo y a 2000 rpms, utilizando la bureta graduada y un cronometro, tomar el tiempo (segundos) en que se consume una cantidad de gasolina de prueba (5 cc).
- i. Apagar el motor del banco de pruebas, cambiar de posición del mecanismo de variación girando  $\frac{1}{4}$  de vuelta a la derecha, cerrando o disminuyendo el volumen de la cámara de combustión. Posición  $3 \frac{3}{4}$

- j. Encender el motor de banco de pruebas , controlar mediante el freno las revoluciones requeridas ( 2000 rpms )
- k. En esta posición tabular los datos del manómetro , la temperatura en el cabezote , en el sistema de escape y en la admisión .
- l. En la misma posición del mecanismo y a 2000 rpms, utilizando la bureta graduada y un cronometro, tomar el tiempo (segundos) en que se consume una cantidad de gasolina de prueba ( 5 cc ).
- m. Apagar el motor del banco de pruebas, cambiar de posición del mecanismo de variación girando  $\frac{1}{4}$  de vuelta a la derecha, cerrando o disminuyendo el volumen de la cámara de combustión. Posición  $3 \frac{1}{2}$
- n. Encender y tomar datos , repetir el procedimiento , girar el mecanismo en fracciones de vuelta de  $\frac{1}{4}$  hasta llegar a la posición 0.
- o. Apagar el motor , cerrar la llave de paso de combustible

### TABULACION DE DATOS

Nº	VUELTA	RPMS	Temperatura Admision °C	Temperatura Camara °C	Temperatura Escape °C	Lectura Manometro	
						Psi	Bar
0	0	2000	40	180	184	120	8.571
1	1/4	2000	42	191	203	120	8.571
2	1/2	2000	39	184	217	110	7.857
3	3/4	2000	48	186	220	105	7.500
4	1	2000	48	190	237	100	7.143
5	1 1/4	2000	44	188	240	90	6.429
6	1 1/2	2000	45	182	244	80	5.714
7	1 3/4	2000	46	185	254	75	5.357
8	2	2000	42	185	251	63	4.500
9	2 1/4	2000	48	193	261	60	4.286
10	2 1/2	2000	53	200	281	60	4.286
11	2 3/4	2000	47	207	295	52	3.714
12	3	2000	50	194	292	60	4.286
13	3 1/4	2000	47	201	295	43	3.071
14	3 1/2	2000	48	210	288	40	2.857
15	3 3/4	2000	50	228	295	18	1.286
16	4	2000	45	240	307	10	0.714

Nº	VUELTA	RPMS	Ta °C	Tc °C	Te °C	Manometro		Torque ( Nm)	Consumo		Consumo B(g/h)	Pe (kw)	Pe ( hp)	C Especifico b ( g/kwh )
						Psi	Bar		( cc)	tiempo (s)				
0	0	2000	40	180	184	120	8.571	57.765	5	23	571.304	12.097	16.223	47.226
1	1/4	2000	42	191	203	120	8.571	57.765	5	23.2	566.379	12.097	16.223	46.819
2	1/2	2000	39	184	217	110	7.857	52.951	5	24.5	536.327	11.089	14.871	48.365
3	3/4	2000	48	186	220	105	7.500	50.544	5	22.7	578.855	10.585	14.195	54.686
4	1	2000	48	190	237	100	7.143	48.137	5	28.4	462.676	10.081	13.519	45.895
5	1 1/4	2000	44	188	240	90	6.429	43.323	5	26.8	490.299	9.073	12.167	54.039
6	1 1/2	2000	45	182	244	80	5.714	38.510	5	24.2	542.975	8.065	10.815	67.326
7	1 3/4	2000	46	185	254	75	5.357	36.103	5	24.3	540.741	7.561	10.139	71.519
8	2	2000	42	185	251	63	4.500	30.326	5	23.8	552.101	6.351	8.517	86.930
9	2 1/4	2000	48	193	261	60	4.286	28.882	5	22.8	576.316	6.049	8.111	95.280
10	2 1/2	2000	53	200	281	60	4.286	28.882	5	25.5	515.294	6.049	8.111	85.192
11	2 3/4	2000	47	207	295	52	3.714	25.031	5	23.8	552.101	5.242	7.030	105.319
12	3	2000	50	194	292	60	4.286	28.882	5	28.4	462.676	6.049	8.111	76.492
13	3 1/4	2000	47	201	295	43	3.071	20.699	5	36.9	356.098	4.335	5.813	82.147
14	3 1/2	2000	48	210	288	40	2.857	19.255	5	21.3	616.901	4.032	5.408	152.985
15	3 3/4	2000	50	228	295	18	1.286	8.665	5	24.5	536.327	1.815	2.433	295.563
16	4	2000	45	240	307	10	0.714	4.814	5	26.5	495.849	1.008	1.352	491.861



# Ejemplo de Cálculo

## Test N 1

En la posición 0 , para mantener 2000 revoluciones se necesito aplicar una carga en el pedal de freno que genero 120 PSI .

Aplicamos las formulas :

Primero transformamos la lectura del manómetro en Torque .

$$Tq = 0.4814 \times PL$$

$$Tq = 0.4814 \times 120$$

$$Tq = 57.768 \text{ Nm}$$

Luego calculamos la Potencia efectiva .

$$Pe = \frac{Tq \times n}{9550} \text{ [w]}$$
$$Pe = \frac{57.768 \times 2000}{9550} \times 1.341021 \text{ [HP]}$$
$$Pe = 16.223 \text{ [p]}$$

Ahora calculemos el consumo especifico de combustible :

$$B = \frac{k \cdot \delta \cdot 3600}{t} \cdot \left[ \frac{g}{h} \right]$$
$$B = \frac{5 \text{ cm}^3 \cdot 0.73 \text{ [g/dcm}^3] \cdot 3600}{23} \text{ [g/h]}$$
$$B = 571.304 \text{ [g/h]}$$

$$b = \frac{B}{Pe} \cdot \left[ \frac{g}{Kw \cdot h} \right]$$
$$b = \frac{571.304}{12.097}$$
$$b = 47.226 \left[ \frac{g}{Kw \cdot h} \right]$$

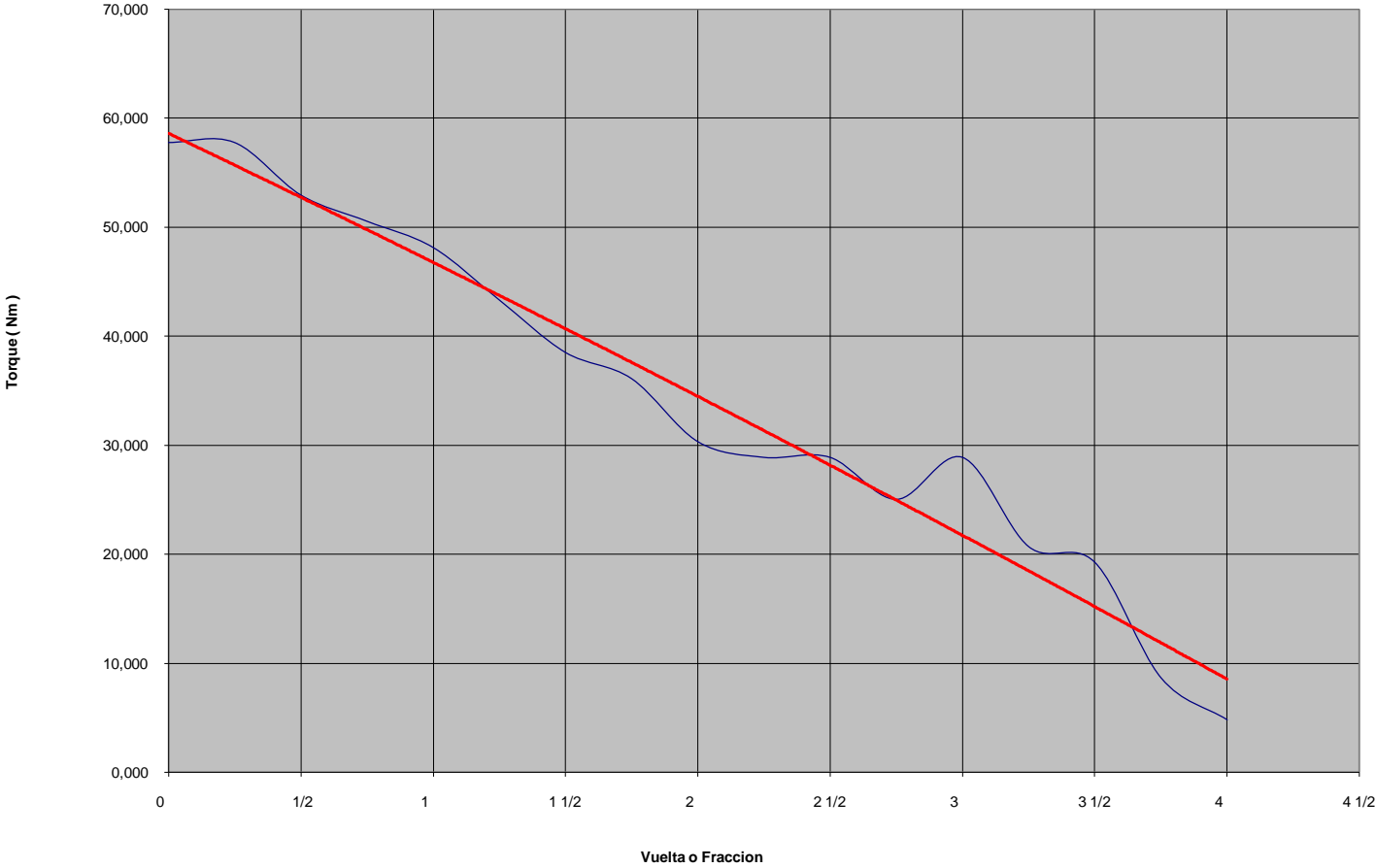
**Nota: Usar la potencia efectiva en Kw. .**

**Gráficos.**

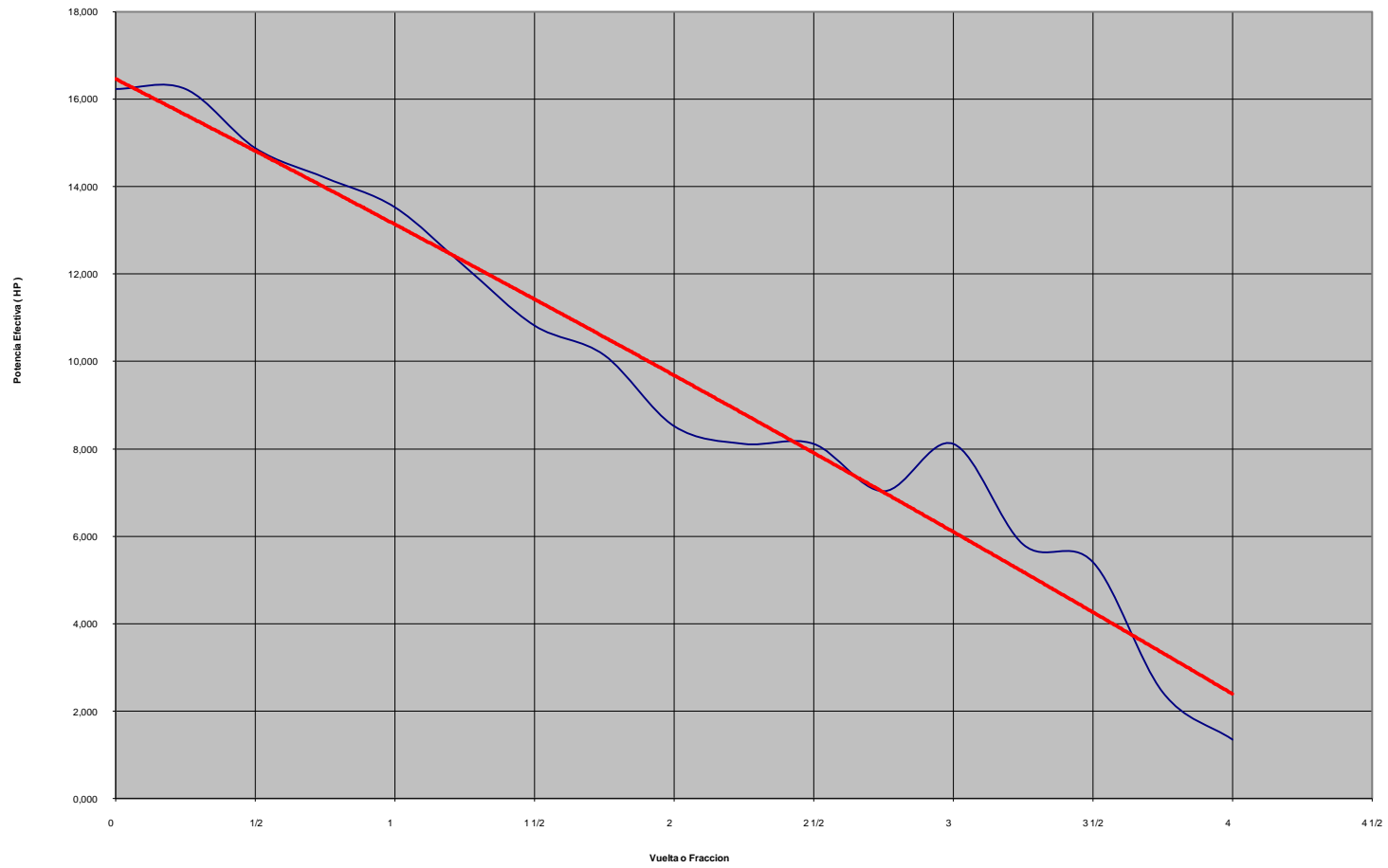
- 1) Torque en función de cada vuelta o fracción de vuelta.**
- 2) Potencia efectiva en función de cada vuelta o fracción de vuelta.**
- 3) Consumo específico en función de cada vuelta o fracción de vuelta.**
- 4) Temperatura de admisión en función de cada vuelta o fracción de vuelta.**
- 5) Temperatura del cabezote en función de cada vuelta o fracción de vuelta.**
- 6) Temperatura de escape en función de cada vuelta o fracción de vuelta.**



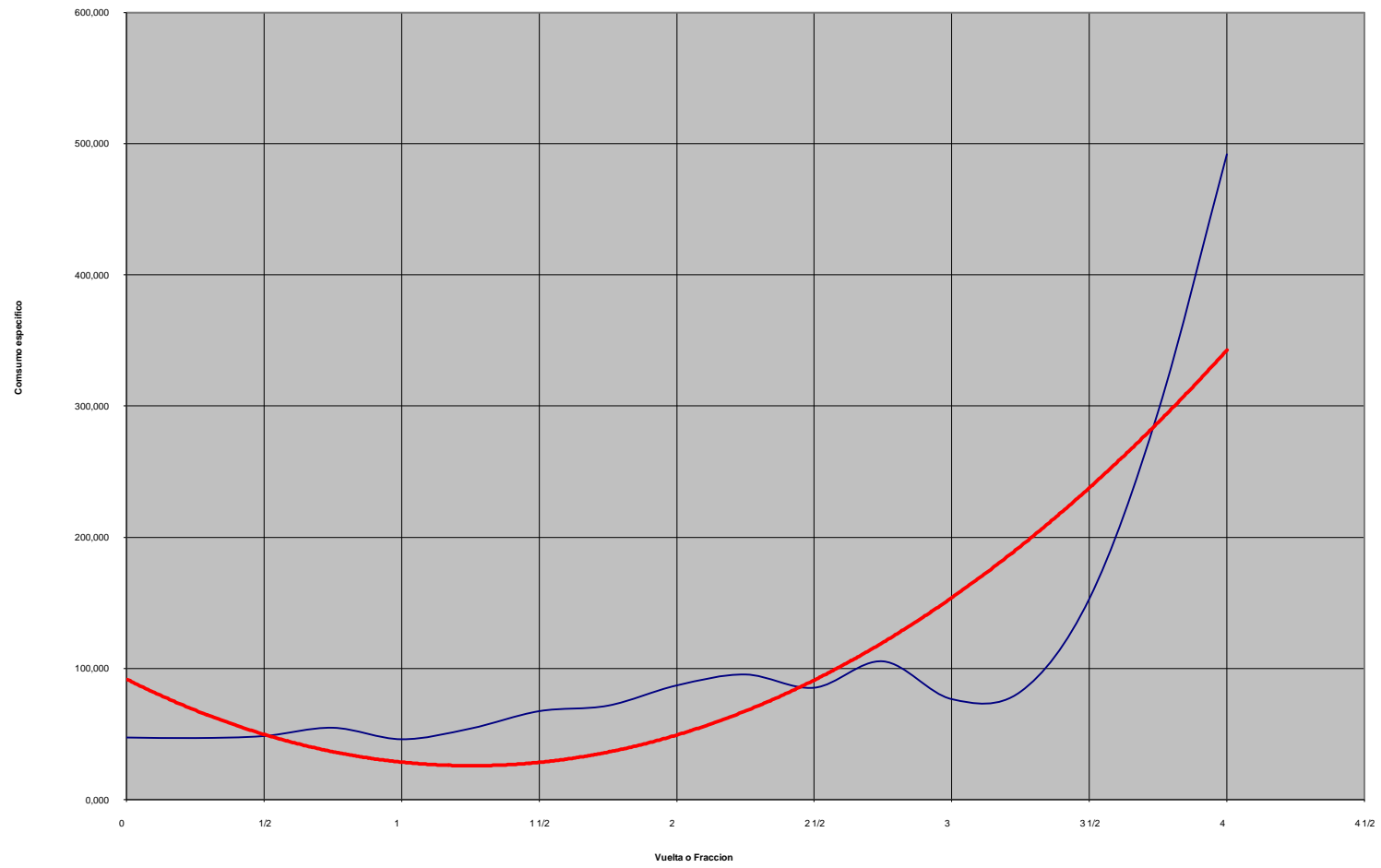
Torque vs vuelta



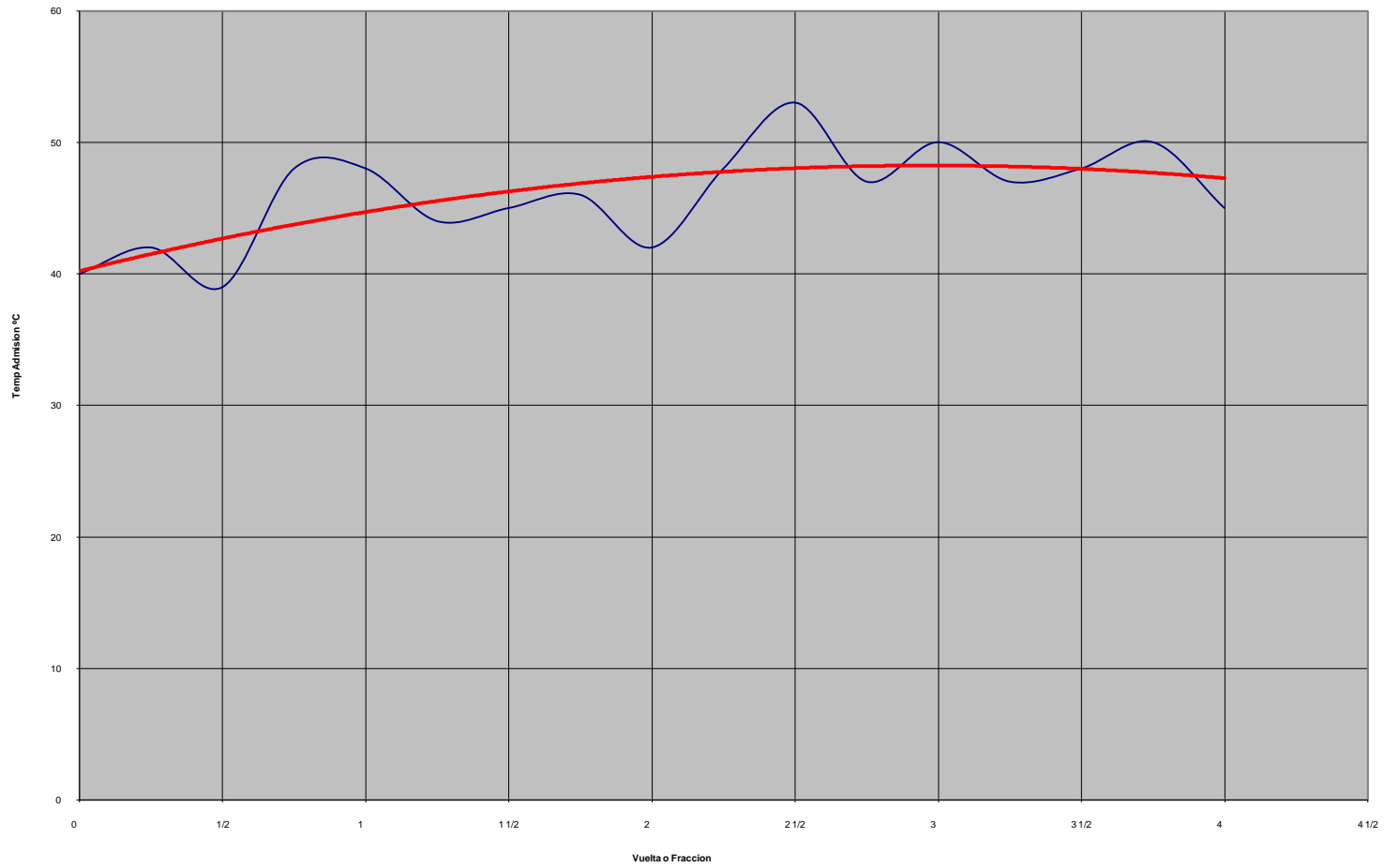
Potencia efectiva vs Vuelta



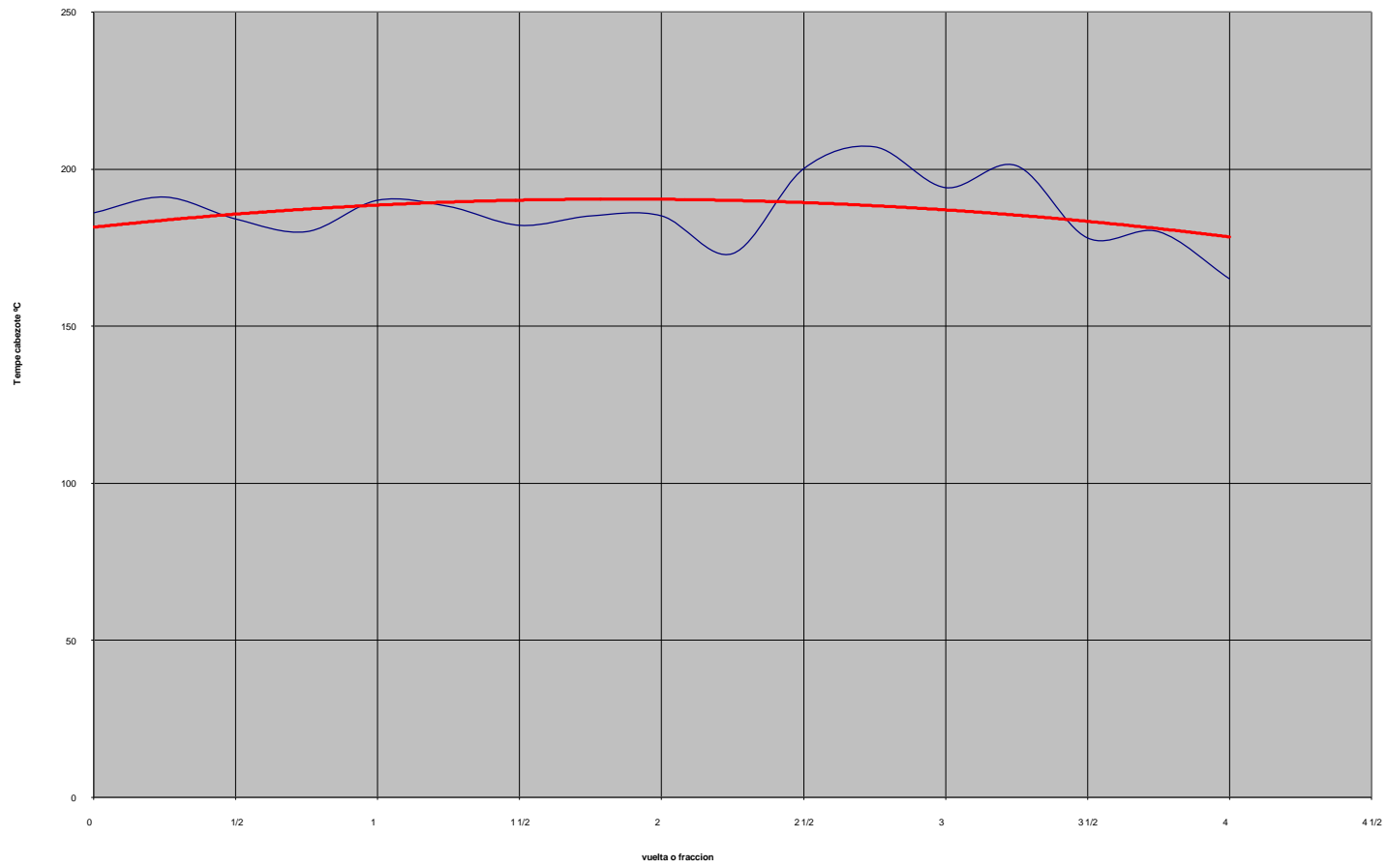
Consumo específico vs vuelta



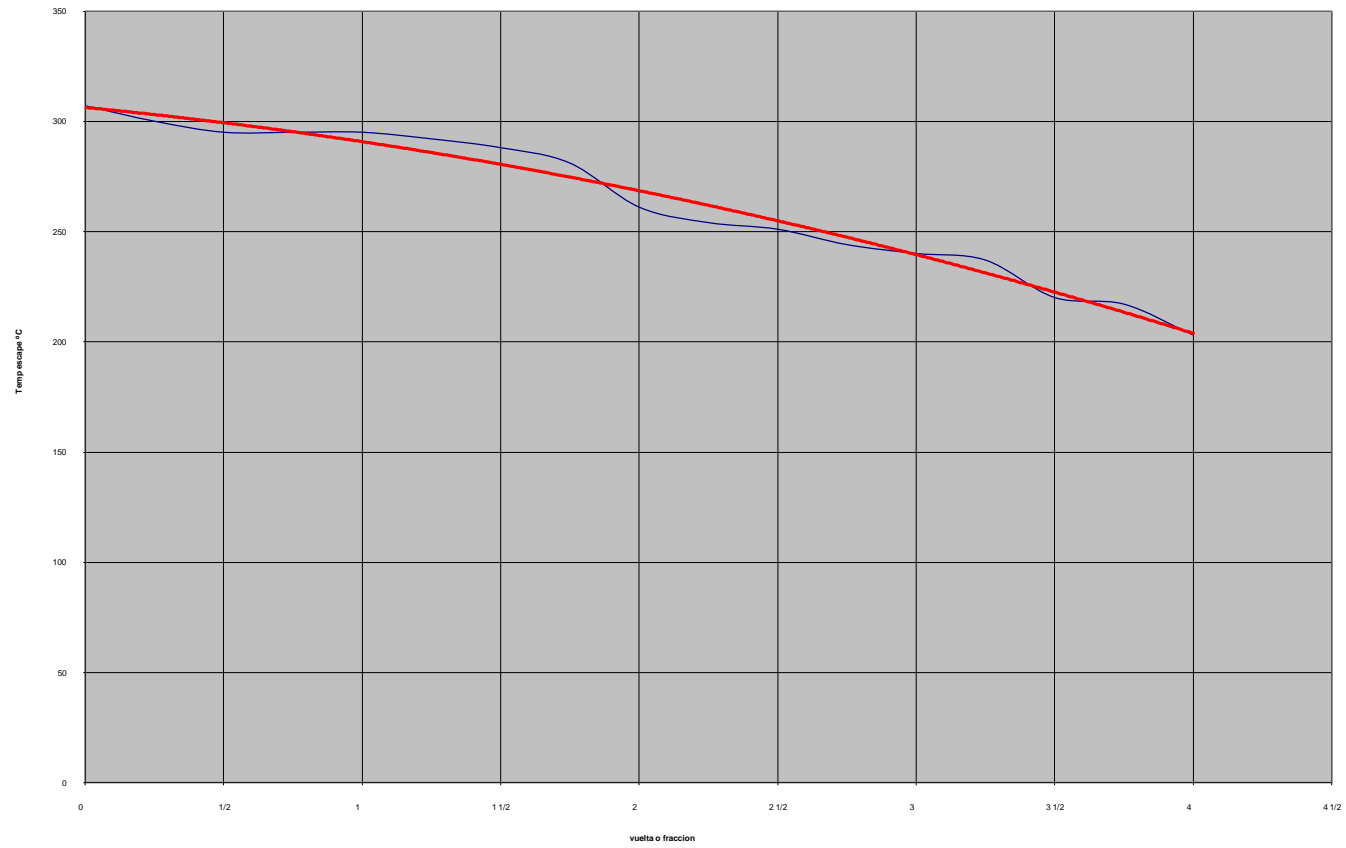
Temp Admision vs vuelta



Tempe cabezote vs vuelta



Temp escape vs vuelta



## **1) Torque**

En la gráfica se observa que cuando la relación de compresión es elevada , con un volumen de cámara mínimo se necesita aplicar una mayor fuerza de frenado lo que se transforma en un torque mayor en esta posición y va decreciendo cuando la relación de compresión va disminuyendo , motivo por el que se necesita aplicar cargas mas ligeras para mantener el mismo numero de revoluciones en todas las posiciones .

## **2) Potencia Efectiva**

Esta depende directamente del torque y el numero de revoluciones , motivo por el que la curva decrece de una máximo valor en la posición 0 a una posición 4 .

El motor en condiciones estándares la potencia es de 8 HP , y con las modificaciones realizadas se a conseguido potencias de 16.22 HP como máximo y de 1.35 HP como mínima.

## **3) Consumo Especifico de Combustible**

La cantidad de combustible que ingresa en la cámara del motor depende del volumen de la cámara , la cual con el mecanismo de variación la modificamos , motivo por el cual se observa en la gráfica que se necesita mayor cantidad de combustible a menor relación de combustión por la existencia de un volumen mayor en la cámara de combustión además en estas posiciones se obtiene menor potencia del motor .

## **4) Temperatura de Admisión.**

La temperatura de admisión se mantiene casi estable en un rango de 39 a 53 °C lo cual indica que no tiene mucha influencia en el aumento de compresión en un motor.

#### **5) Temperatura del Cabezote.**

La temperatura es elevada cuando existe una relación de compresión elevada y va decreciendo cuando variamos el mecanismo hacia una relación baja .

#### **6) Temperatura de Escape.**

Esta tiende a elevarse a una relación elevada por condiciones de extremo funcionamiento del motor y esfuerzo que éste realiza . pero decrece a manera que la relación de compresión disminuye .

## **CONCLUSIONES**

- Se demuestra experimentalmente el aumento de Potencia en los motores , con relación a la variación del volumen de la cámara de combustión .
- La fuerza de frenado es menor a menor relación de compresión y se debe aumentar considerablemente al aumentar la relación de compresión .
- Existe mayor esfuerzo en el funcionamiento del motor motivo por el que se registra mayores temperaturas tanto en el cabezote, como en el escape.
- Al aumentar la cámara de combustión existe un volumen mayor que debe ser llenado por la mezcla de combustible aire, esto produce un mayor consumo de combustible.
- Se compara las curvas elaboradas con datos reales (color azul) con las teóricas (color rojo) en cada grafica, demostrando la similitud de estas.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda verificar conexiones de cañerías y los niveles de combustible y líquido de frenos.
- Realizar las prácticas con guantes para no sufrir quemaduras en las manos al mover el mecanismo de variación de la cámara.
- Mantener constante las revoluciones con el tacómetro digital, con una tolerancia de 20 revoluciones, ya que no se puede mantener exactamente las revoluciones deseados por la inestabilidad de un motor monocilíndrico.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES

- Los parámetros estándares de funcionamiento del motor monocilíndrico, son valores intermedios de los registrados y calculados en los puntos superior e inferior del mecanismo de variación, teniendo de esta manera una gama de valores entre los que se destacan los máximos y mínimos.

### Parámetros estándares.

Cilindrada :	271.65 cc
Relación de Compresión:	8.9:1
Eficiencia :	58 %
Presión de Compresión:	2.4 Bar
Temperatura de Compresión:	705 ° K
Torque a 2000 rpms:	28.7 N m
Potencia :	8 HP
Temperatura de Escape:	230 ° C
Revoluciones Ralentí:	1750 r pms

### Parámetros Máximos.

Cilindrada:	292.65 cc
Relación de Compresión:	13.9:1
Eficiencia:	65 %
Presión de Compresión:	3.7 Bar
Temperatura de Compresión:	840 ° K
Torque a 2000 rpms:	57.8 N m
Potencia :	16.2 HP
Temperatura de Escape:	307 ° C
Revoluciones Ralentí:	2670

### Parámetros Mínimos.

Cilindrada:	326.65 cc
Relación de Compresión:	5:91
Eficiencia:	50 %
Presión de Compresión:	1.5 Bar
Temperatura de Compresión:	597 ° K
Torque a 2000 rpms:	4.8 N m
Potencia:	1.4 HP
Temperatura de Escape:	203 ° C
Revoluciones Ralentí:	1150

Los valores que están expuestos demuestran que los motores de combustión interna aumentan su compresión, eficiencia y torque modificando el volumen de la cámara de combustión, pero a su vez las temperaturas de funcionamiento son mas elevadas por lo que es necesario colocar dispositivos de enfriamiento externos, además por la existencia de mayor fuerza en el pistón los mecanismos internos del motor se desgastan rápidamente, en consecuencia la vida útil del motor es menor.

- El consumo específico de combustible se ve afectado por el aumento de la cilindrada en las posiciones mínimos, ya que al tener mayor volumen de compresión, y producirme menor trabajo por no existir fuerza, ni presión de compresión existe una menor potencia, lo que conlleva a que la relación consumo de combustible por unidad de potencia sea mas elevado.
- Los materiales seleccionados en la construcción de la cámara son óptimos para soportar las presiones que genera el pistón en los puntos críticos de funcionamiento, además de tener la propiedad de disipar mas rápidamente el calor de la combustión , y al tener la facilidad de maquinabilidad el diseño de la cámara es sencillo y funcional.
- El diseño del mecanismo de sujeción y variación es optimo para este tipo de motores ya que por la presencia de las válvulas en el block facilita el

trabajo, permitiendo elaborar un tornillo de presión que al girar la rosca en  $\frac{1}{4}$  de vuelta se consigue variar el volumen de la cámara y en consecuencia los la relación de compresión, la eficiencia y potencia. La variación de la altura esta limitada por un perno guía colocado en el cabezote por lo cual se puede girar este mecanismo hasta cuatro vueltas y media.

- El banco de pruebas esta dotado de instrumentos de medición para el análisis del comportamiento del motor como es un termómetro digital para el registro de la temperatura de admisión, un termómetro con termocuplas para la lectura de las temperaturas del cabezote y de escape , un manómetro para controlar la presión de frenado y determinar el torque del motor , una probeta graduada para conocer el consumo especifico de combustible de combustible ; todo esto montado en un tablero de instrumentos , además se provee de swich de encendido , de apagado , del ventilador y selector de temperatura para el reloj digital.
- Se realizo cinco guías de laboratorio donde se a podido comparar en funcionamiento teórico del motor con el funcionamiento real del mismo , determinando así que se consigue una mayor eficiencia del motor a mayor relación de compresión.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar las practicas de laboratorio verificando el estado de las conexiones eléctricas, de combustible y de fluido, constando el nivel de los mismos, además de la utilización de guantes para calor para evitar quemaduras por las temperaturas elevadas que se generan en el cabezote por lo que es necesario apagar el motor para el cambio de posición del mecanismo de variación.

- Verificar periódicamente el ajuste de los pernos del cabezote, mecanismo de seguridad, bases del motor. Además de fugas de las mangueras de fluido y de combustible.
- Siempre encender el motor sin carga para que no exista mucho esfuerzo del motor de arranque y una pronta descarga de la batería.
- Cargar la batería después de cada práctica ya que no existe un dispositivo de carga como es el alternador
- Limpiar las aletas del block del motor que sirven para la que la corriente de aire que circula para la refrigeración sea más eficiente.

#### RECOMENDACIONES PARA EL MEJORAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS CON CÁMARA VARIABLE.

- Fundir el cabezote diseñado en un aluminio importado, de esta manera se aumentara la vida útil y se obtendrá resultados mucho mas exactos.
- Colocar un tacómetro digital en el tablero de instrumentos, para obtener datos mas precisos en la elaboración de practicas en el Banco de Pruebas .
- Optimizar el circuito de freno colocando dispositivos hidráulicos controlando electrónicamente la posición del pedal freno.
- Optimizar el mecanismo de variación colocando un instrumento eléctrico que tenga la capacidad de girar en  $\frac{1}{4}$  0  $\frac{1}{2}$  de vuelta para poder realizar las practicas sin necesidad de apagar el motor.

- Colocar un alternador diseñando la polea y adaptando en el eje de motor para tener carga suficiente en la batería.
- Añadir un recipiente de gasolina para realizar pruebas con distinto tipo de gasolina y verificar el comportamiento del motor.

# **ANEXOS**

ANEXO 1	METODO DE MOLDEO ACONSEJADO			CONDICIONES NORMALES DE EMPLEO		EMPLEO	CARACTERISTICAS MECANICAS MINIMAS			CARACTERISTICAS TECNICAS						EMPLEO	
	A	C	P	Bruto	Mejorado		R Kg/mm <sup>2</sup>	As %	Hd Kg/mm <sup>2</sup>	Contabilidad	Fragilidad De Contrac.	Resistencia A la prestion	Caracteristicas Mecánicas en caliente	Mecanizado	Pulimentabilidad		Resistencia a La corrosión
Designación Según UNI 3040 - 3059																	
Aleaciones Al-Cu																	
G-AL CU 12	(SI)	SI	---	(SI)	SI	Ca TE Co TE	23 27	1.0 1.0	100 110	2	m	2	1	3	2	5	Para elementos que trabajen en caliente (pistones en coquilla)
G-AL CU 10 FE MG	SI	SI	---	---	SI	Ca TA Co TA	21 26	---	110 125	2	m	3	1	2	2	5	Para elementos que trabajen en caliente (pistones y culatas).
G-AL CU 10 NI SI MG	SI	SI	---	---	SI	Ca Ta Co TA	22 35	---	135 135	1	p	2	1	1	2	5	Para elementos que trabajen en caliente (pistones y culatas).
G-AL CU 8	SI	SI	---	SI	---	Ca CC	12.5 14	1 2	50 55	3	m	3	2	3	2	5	Para usos generales
G-AL CU 4.5	SI	---	---	(SI)	SI	Ca TA	25	2	75	3	m	3	2	1	2	5	Para usos generales y específicamente para partes mecánicas sometidas a esfuerzo
G-AL CU 4	SI	SI	---	---	SI	Ca TA Co TA	21 25	0.5 0.3	90 95	3	m	3	1	2	2	4	Para elementos que trabajen en caliente (pistones y culatas) y de algún modo sometidos a esfuerzo
G-AL CU 3 FE MG NI	SI	SI	---	---	SI	Ca TA Co TA	30 33	1.0 1.0	115 115	3	m	3	1	1	1	4	Para elementos que trabajen en caliente (pistones y culatas) y de algún modo sometidos a esfuerzo
Aleaciones Al - Si G-AL SI 13	SI	SI	SI	SI	---	Ca Co Cp	17 18 22	4 5 1.5	50 50 60	1	P	1	3	5	3	2	Para usos generales y específicamente para piezas de paredes delgadas



G-AL SI13 CU MN	SI	SI	SI	SI	—	Ca Co Cp	17 18 22	2 3 1.5	50 50 60	1	p	2	3	5	3	3	Para usos generales y en particular para piezas delgadas y sometidas a esfuerzos medianos.
G-AL SI12 MN MG	SI	SI	—	—	SI	CaTA CoTA	22 24		80 80	1	P	2	3	5	3	2	Para usos generales y en particular para piezas delgadas y sometidas a esfuerzos.
G-AL SI10 CU MG NI	SI	SI	—	—	SI	CaTA CoTA	23 25	0.5 0.3	100 95	1	P	2	1	3	3	3	Para elementos que trabajen en caliente y con poca dilatación (jalones)
G-AL SI9 MN MG	SI	SI	—	—	SI	CaTA CoTA	22 25	2 3.5	80 80	1	P	2	2	3	3	3	Para usos generales
G-AL SI5.5 CU	—	SI	SI	SI	—	Co Cp	17 20	3 1.5	50 55	2	P	2	5	3	2	5	Para usos generales
G-AL SI5 CU MG	SI	SI	—	(SI)	SI	Ca TA CoTA	20 25	0.5 2	70 90	2	P	3	3	2	2	2	Para usos generales y en particular para cilindros de motores y cuerpos de Bombas.
G-AL SI4.5 MN MG	SI	SI	SI	(SI)	SI	Ca TA Co TA Cp	20 25 18	1.0 1.0 1.5	80 90 55	2	P	3	5	2	1	2	Para usos generales y específicamente para elementos resistentes a la corrosión
G-AL SI2 MN MG	SI	SI	—	—	SI	Ca TA Co TA	22 25	1.0 1.0	80 90	3	m	3	5	1	1	1	Para usos generales y específicamente para elementos resistentes a la corrosión
Aleaciones AL- Mg G-AL MG10	SI	SI	SI	SI	(SI)	Ca Co TN Co Cp	16 25 22 20	1.5 6.5 6.0 1.5	65 75 70 70	4	P	4	1	1	1	1	Para usos generales y específicamente para partes resistentes a la corrosión y sometidas a fuertes esfuerzos
G-AL MG7	SI	SI	SI	SI	SI	Ca TN Co TN Cp	18 26 20	3.5 5 1.5	70 70 60	4	P	3	3	1	1	1	Para usos generales y específicamente para partes resistentes a la corrosión y sometidas a fuertes esfuerzos
G-AL MG5	SI	SI	—	SI	—	Ca Co	16 20	3 8	55 60	3	m	3	4	2	2	1	Para usos generales y específicamente para partes resistentes a la corrosión y sometidas a esfuerzos medianos
G-AL MG3	SI	SI	—	SI	—	Ca Co	13 15	5 6	40 45	3	m	3	4	2	2	1	Para usos generales y específicamente para elementos resistentes a la corrosión

## ANEXO 2

### PROPIEDADES TÍPICAS DEL ALUMINIO

<i>templado</i>	<i>Resistencia a Con aleacion punto cedente</i>		<i>Ductibilidad (elongation porcentual en 2 pulg)</i>			<i>Resisteneid at corte</i>		<i>Resistencia por durabilidad</i>	
	<i>Ksi</i>	<i>MPa</i>	<i>Ksi</i>	<i>MPa</i>		<i>Ksi</i>	<i>MPa</i>	<i>Ksi</i>	<i>MPa</i>
1060-O	10	69	4	28	43	1	48	3	21
1060-H14	14	97	11	76	12	9	62	5	34
1060-H18	19	131	18	124	6	11	121	6	41
1350-O	12	83	4	28	28	8	55	—	—
1350-H14	16	110	14	97	—	10	69	—	—
1350-H19	27	186	24	165	—	15	103	7	48
2014-O	27	186	14	97	18	18	124	13	90
2014-T4	62	427	42	290	20	38	262	20	138
2014-T6	70	483	60	414	13	42	290	18	124
2024-O	27	186	11	76	22	18	124	13	90
2024-T4	68	469	47	324	19	41	283	20	138
2024-T361	72	496	57	393	12	42	290	18	124
2219-O	25	172	11	76	18	—	—	—	—
2219-T62	60	414	42	290	10	—	—	15	103
2219-T87	69	476	57	393	10	—	—	15	103
3003-O	16	110	6	41	40	11	121	7	48
3003-H14	22	152	21	145	16	14	97	9	62
3003-H18	29	200	27	186	10	16	110	10	69
5052-O	28	193	13	90	30	18	124	16	110
5052-H34	38	262	31	214	14	21	145	18	124
5052-H38	42	290	37	255	8	24	165	20	138
6061-O	18	124	8	55	30	12	83	9	62
6061-T4	35	241	21	145	25	24	165	14	97
6061-T6	45	310	40	276	17	30	207	14	97
6063-O	13	90	7	48	—	10	69	8	55
6063-T4	25	172	13	90	22	—	—	—	—
6063-T6	35	241	31	214	12	22	152	10	69
7001-O	37	255	22	152	14	—	—	—	—
7001-T6	98	676	91	627	9	—	—	22	152
7075-O	33	228	15	103	16	22	152	—	—
7075-T6	83	572	73	503	11	48	331	23	159

Nota: propiedades comunes

Densidad: 0.095 a 0.102 lb/pulg<sup>3</sup> (2635-2829 Kg/m<sup>3</sup>)

Modulo de elasticidad: 10 a 10.6 x 10<sup>6</sup> psi (69-73 GPa).

Resistencia por durabilidad a 5 x 10<sup>7</sup> ciclos

### ANEXO 3

#### TENSIONES PERMISIBLES PARA PERNOS

<b>Grado ASTM</b>	<b>Tensión por esfuerzo de corte permisible</b>	<b>Tensión por esfuerzo de tracción permisible</b>
<b>A307</b>	<b>10 ksi (69 Mpa)</b>	<b>20 ksi (138 Mpa)</b>
<b>A325 Y A449</b>	<b>17.5 ksi (21 Mpa)</b>	<b>44 ksi (303 Mpa)</b>
<b>A490</b>	<b>22 ksi (152 Mpa)</b>	<b>54 ksi (372 Mpa)</b>

LATACUNGA, OCTUBRE DEL 2004

AUTORES

-----  
PABLO ARTURO TAPIA CAMPAÑA

-----  
JUAN CARLOS VARGAS PEÑA

DIRECTOR DE LA CARRERA  
INGENIERIA AUTOMOTRIZ

-----  
ING. JUAN CASTRO

EL SECRETARIO

-----  
DR. MARIO LOZADA PAREDES