

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Química

NITROMETANO EN LA COMBUSTIÓN DE METANOL

JUAN RAMÓN PALLAIS PONCIANO



Trabajo de investigación presentado

para optar al grado académico de

Licenciatura en Química

Guatemala

1996

NITROMETANO EN LA COMBUSTIÓN DE METANOL

JUAN RAMÓN PALLAIS PONCIANO

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Química

NITROMETANO EN LA COMBUSTIÓN DE METANOL

JUAN RAMÓN PALLAIS PONCIANO

Trabajo de graduación presentado

para optar al grado académico de

Licenciatura en Química

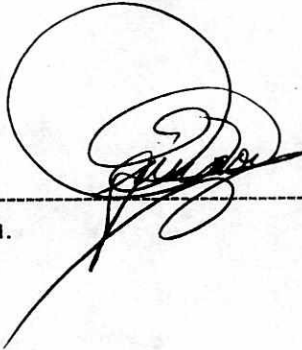
Guatemala

1996

Vo. Bo. :

(f)

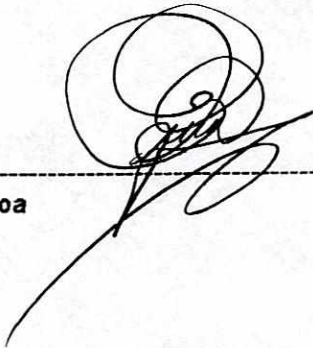
Dr. Victor Quiroa.  
Asesor



Tribunal :

(f)

Dr. Victor Quiroa



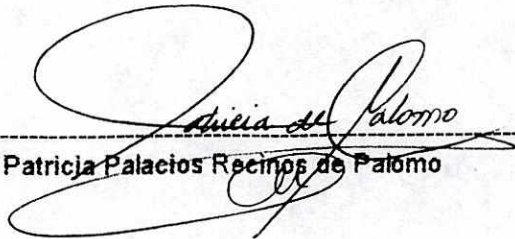
(f)

Dr. Cesar Estrada



(f)

Lic. Patricia Palacios Recinos de Palomo



Fecha de aprobación:

A Dios y a los seres que amo.

## RESUMEN

El metanol se utiliza como combustible en vehículos de carrera, y se sabe empíricamente que al agregar nitrometano a éste, las revoluciones del motor aumentan considerablemente. El presente trabajo tiene como objetivo estudiar algunos de los efectos del nitrometano en la combustión del metanol y plantear un modelo sencillo para explicar los resultados experimentales, para lo cual se trabajó en un motor de dos tiempos de 0.61 pulgadas cúbicas.

El aumento de nitrometano en la mezcla con metanol mostró una disminución en la temperatura de combustión, así como un mejor rendimiento mecánico del motor, disminuyendo el consumo de combustible y estabilizando las condiciones de éste más rápido que el metanol puro.

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	2
III. OBJETIVOS	3
A. Generales	3
B. Específicos	3
IV. HIPÓTESIS	4
VI. ANTECEDENTES	5
A. El motor de dos tiempos	5
1. Descripción	5
2. Funcionamiento	10
3. Requerimientos	14
B. Combustibles para motores de dos tiempos	15
1. Requerimientos	16
a. Grado antidetonante y número de octanaje	16
i. Definición y métodos de determinación del número de octano	18
ii. Atrancamiento por vapor	20
b. Relación entre número de octanos y composición	20
2. Lubricantes	21

C. Combustibles para motores de dos tiempos usados en aeromodelismo	24
1. Requerimientos	24
2. Formulación convencional y sus componentes	24
a. Metanol	25
i. Características	25
ii. Características de combustión y contenido energético	27
iii. Seguridad y medio ambiente	28
iv. Rendimiento del motor	29
b. Nitrometano	30
i. Características	30
ii. Función dentro del combustible	30
c. Aceite de castor y aceite sintético	31
i. Aceite de castor	31
ii. Aceite sintético	32
iii. Función dentro del combustible	32
3. Componentes alternos en formulación para motores desde .15 hasta .90	32
D. Metanol y etanol como fuentes de energía	33
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	35
A. Materiales	35
1. Reactivos	35
2. Equipo	35
B. Metodología	35

VII. TRABAJO EXPERIMENTAL	40
VIII. RESULTADOS	40
IX. DISCUSIÓN	55
X. CONCLUSIONES	58
XI. RECOMENDACIONES	59
XII. FUENTES CITADAS	60
APÉNDICES	62

## LISTA DE TABLAS Y GRÁFICAS

Cuadros:	Página
Temperaturas de Ignición	16
Composición de la gasolina	18
Métodos	19
Aceites según API	22
Aditivos	23
Propiedades físicas y químicas	26
Gráficas:	
Pistón de 1 motor mostrando la aplicación de la presión sobre su superficie	6
Motor de dos tiempos	9
Ciclo de cuatro tiempos	11
Ciclo de dos tiempos	13
Temperaturas de combustión vrs porcentaje de nitrógeno:	
Orsat	44
Estequiométrico	45
Temperatura de entrada a 36 °C	46
Temperatura de entrada a 50 °C	47

Consumo a 12 ml/min	48
Consumo a 15 ml/min	49
Consumo de combustible vrs porcentaje de nitrometano	50
Porcentaje de oxígeno vrs porcentaje de nitrometano	51
Porcentaje de dióxido de carbono vrs porcentaje de nitrometano	52
Porcentaje de monóxido de carbono vrs porcentaje de nitrometano	53
Porcentaje de nitrógeno vrs porcentaje de nitrometano	54

## I. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se evalúan los efectos del nitrometano en la combustión de metanol al utilizarlo como combustible en motores de combustión interna. En la primera parte de éste se presenta una recopilación bibliográfica, tanto de los principios básicos de los motores de dos y cuatro tiempos como de las distintas sustancias que se utilizan dentro del combustible, así como algunas de sus propiedades y comportamiento. Con esto se pretende conocer la secuencia cronológica de las etapas en este tipo de motores de combustión interna, los elementos del combustible y el motor, de tal forma que al pasar a la parte experimental se pueda dar un seguimiento a la metodología y entender el razonamiento en la parte de resultados y discusión.

La segunda parte se realiza en dos fases : en la primera fase se realiza un muestreo de temperaturas y gases de combustión variando los porcentajes de nitrometano en la mezcla combustible, manteniendo el trabajo de eje constante y luego variando el trabajo de eje, aumentando o disminuyendo el trabajo. En la segunda fase se plantea un modelo sencillo que muestra el comportamiento de la combustión del metanol al incrementar el nitrometano.

## II. JUSTIFICACIÓN

El metanol se ha propuesto como fuente alterna de energía desde antes de mediados de siglo, tratando de eliminar en parte la dependencia de recursos no renovables como el petróleo. Puesto que existen ya estudios sobre el metanol, se trabajó un combustible a partir de metanol y nitrometano, sabiendo que en la actualidad este combustible se utiliza para motores de dos y cuatro tiempos y se conoce poco sobre esta mezcla.

### III. OBJETIVOS

#### A. General

Estudiar el efecto del nitrometano en la combustión del metanol en un motor de dos tiempos.

#### B. Específicos

Estudiar el efecto del nitrometano en el rendimiento mecánico de la combustión del metanol en un motor de dos tiempos.

Estudiar el efecto del nitrometano en la temperatura de combustión del metanol en un motor de dos tiempos.

#### IV. HIPÓTESIS

El nitrometano mejora el rendimiento del metanol como combustible.

## V. ANTECEDENTES

### A. El motor de dos tiempos

#### 1. Descripción

Uno de los tipos de motores que se utilizan en aeromodelismo es el de combustión interna. La energía primaria es química, que está contenida en forma potencial en el combustible. la mezcla carburante se quema dentro del cilindro para producir trabajo mecánico. En el motor, la combustión es originada por una resistencia y luego sigue una autocombustión dentro del motor. La energía calórica liberada por la combustión ocasiona un aumento de presión dentro del cilindro, la que se utiliza para mover al pistón recíprocamente. El pistón realiza un movimiento recíproco y comunica su movimiento al eje cigüeñal por intermedio de un brazo de conexión llamado biela. La biela efectúa el movimiento oscilante que en el eje del cigüeñal ocasiona el movimiento rotatorio. Producido el movimiento rotatorio en el cigüeñal, el cual queda a disposición de la hélice, que finalmente es la que impulsa al avión, el funcionamiento detallado del motor de dos tiempos se explica más adelante (Gilardi, 1978).

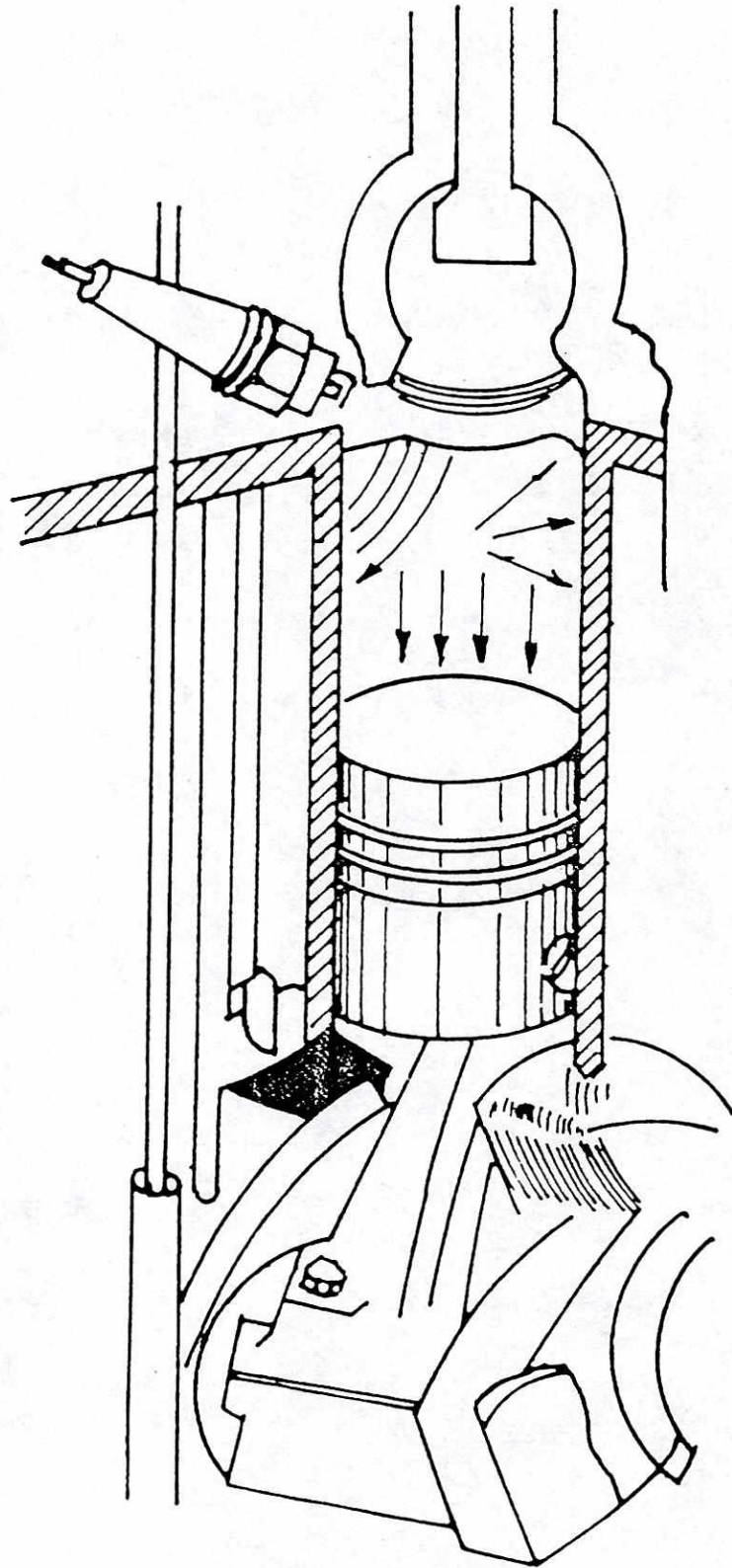


Figura # 1 Pistón de un motor mostrando la aplicación de la presión sobre su superficie

**Figura # 1 Pistón de un motor mostrando la aplicación de la presión sobre su superficie**

## 1. Partes del motor

A continuación se detallan las partes generales de un motor de combustible de dos tiempos:

**Bujía:** Es un artefacto eléctrico que genera el precalentamiento que inicia la combustión de la mezcla carburante comprimida en la cámara de combustión; va enroscada en la culata del motor.

**Culata:** Es la tapa superior del motor; además de contener la bujía, también por su parte inferior e interna presenta una superficie lisa o cóncava que junto con la parte superior del cilindro y con la cabeza del pistón, forman la cámara de combustión.

**Block:** Es la parte estructural del motor que sirve para sostener y alojar las demás piezas. El "monoblock" contiene internamente al cilindro, pistón y la biela.

**"Cárter" inferior:** Esta pieza se llama simplemente "cárter". Es la tapa inferior del motor que contiene aceite en los motores de cuatro tiempos y sirve de cámara de bombeo en los motores de gasolina de dos tiempos. Se fabrica de aleaciones ligeras.

**Pistón:** Es una pieza cilíndrica hueca; se fabrica de una aleación de aluminio. Su diámetro externo es apenas ligeramente menor que el diámetro interno del cilindro donde se aloja. El pistón posee una o dos ranuras donde se insertan los anillos de compresión. El pistón posee orificios para que pase un pin de acero que conecta con la parte superior de la biela (articulación móvil).

La parte superior o cabeza es la que recibe toda la presión de la combustión, presión que produce el movimiento del pistón alejándose de la cámara de combustión. El pistón recorre dentro del cilindro desde su punto más alto (Punto Muerto Superior) o P.M.S., hasta su posición más baja (Punto Muerto Inferior) o P.M.I.; dicha distancia se denomina carrera. La carrera del pistón, el área del pistón, la presión media de la combustión y la velocidad de giro del eje cigüeñal determinan la potencia del motor.

**Cilindro:** Es una pieza cilíndrica contenida en el interior del motor. Su función es la de alojar al pistón para que se realicen los tiempos del ciclo. Se utiliza además otro tipo de cilindro denominado camisa, siendo más versátil la camisa que el cilindro, en mantenimiento y reparación. Se deja una pequeña luz entre la camisa y el pistón que permite la dilatación.

**Biela:** Esta pieza sirve para conectar el pin del pistón con el codo del eje del cigüeñal.

**Eje cigüeñal:** Es un eje muy resistente y capaz de absorber las reacciones propias ocasionadas por el torque producido en cada explosión y transmitido por la biela. Posee un centro de giro llamado "bancada" y tiene un codo por cada cilindro, llamado excéntrica o manivela. La bancada soporta en sus respectivos cojinetes. El codo es conectado con la respectiva biela (Gilardi, 1978).

Además de contar con estas partes, el motor de cuatro tiempos tiene: Eje de levas que es un eje de acero montado en forma paralela al cigüeñal, tiene asientos o soportes de giro con sus cojinetes. Posee dos levas o lóbulos por cada cilindro del motor; estas levas tienen como función levantar a los botadores, los levanta válvulas o los buzos, para que estos a su vez operen las válvulas. En la parte delantera tiene un engranaje o piñón de

distribución donde existe una marca que se utiliza en el armado del motor de tal forma que coincida con la marca del engranaje del cigüeñal y garantice la sincronización del movimiento del pistón con el de las válvulas. Los motores de dos tiempos no poseen eje de levas, ya que operan sin válvulas, como se vera mas adelante.

Botadores o buzos: Son piezas cilíndricas, pequeñas, sólidas de acero, que van colocadas sobre cada leva del eje de levas; en esta forma se someten a movimientos reciprocanes verticales que son transmitidos a las válvulas.

Válvulas: Son piezas de acero cuya función es abrir y cerrar los pasajes de admisión y escape de la cámara de combustión de los motores de cuatro tiempos. (Gilardi, 1978)

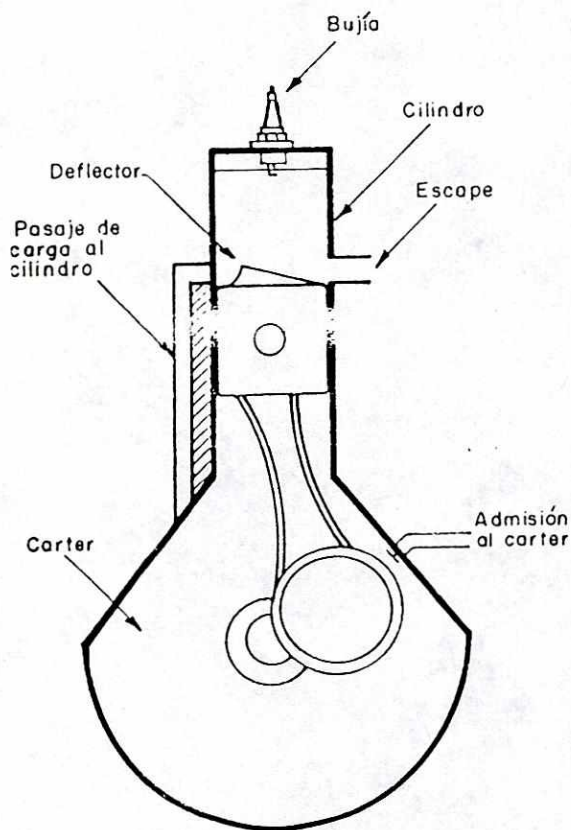


Figura 2. Partes del motor de dos tiempos

distribución donde existe una marca que se utiliza en el armado del motor, de tal forma que coincida con la marca del engranaje del cigüeñal y garantice la sincronización del movimiento del pistón con el de las válvulas. Los motores de dos tiempos no poseen eje de levas, ya que operan sin válvulas, como se vera más adelante.

**Botadores o buzos:** Son piezas cilíndricas, pequeñas, sólidas de acero, que van colocadas sobre cada leva del eje de levas; en esta forma se someten a movimientos recíprocos verticales que son transmitidos a las válvulas.

**Válvulas:** Son piezas de acero cuya función es abrir y cerrar los pasajes de admisión y escape de la cámara de combustión de los motores de cuatro tiempos (Gilardi, 1978).

**Figura 2. Partes del motor de dos tiempos**

## 2. Funcionamiento

La clasificación de motores es muy amplia, pero para este trabajo interesa únicamente la clasificación por ciclos y dentro de ésta, el ciclo de dos tiempos.

En un motor con ciclo de dos tiempos: El cigüeñal gira solamente una vuelta, correspondiente a dos viajes del pistón. Durante esta vuelta se realizan las cuatro fases del ciclo: admisión, compresión, explosión y escape. La lubricación se lleva a cabo por una mezcla de gasolina y aceite. El motor no tiene válvulas.

En la figura 2 se presenta un motor de dos tiempos a gasolina seccionado longitudinalmente de un cilindro. El motor no tiene válvulas de admisión ni de escape, ni eje de levas.

El "carter" no contiene aceite de lubricación y sirve solamente como cámara para comprimir la mezcla, acción que hace subir al cilindro.

Los cuatro tiempos: admisión, compresión, explosión y escape, se realizan en forma combinada en los dos movimientos del pistón; no existen tiempos definidos y, por tanto, se describirá a continuación, un viaje de bajada del pistón y otro de subida.

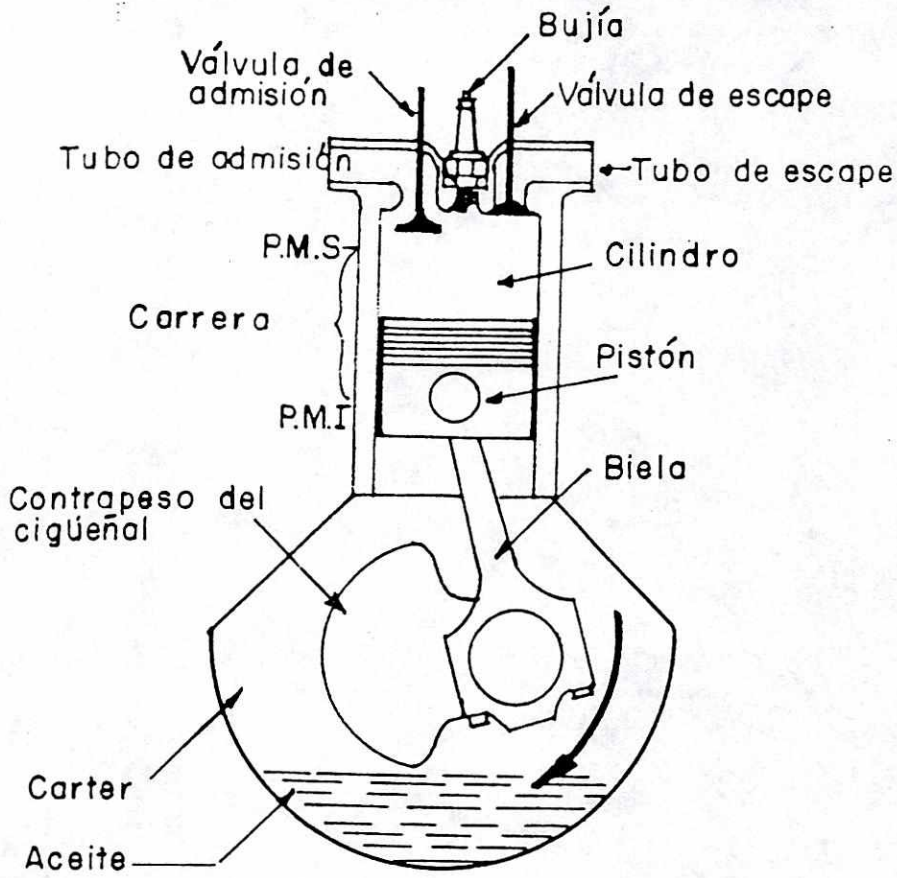


Fig. 28a. Admisión.

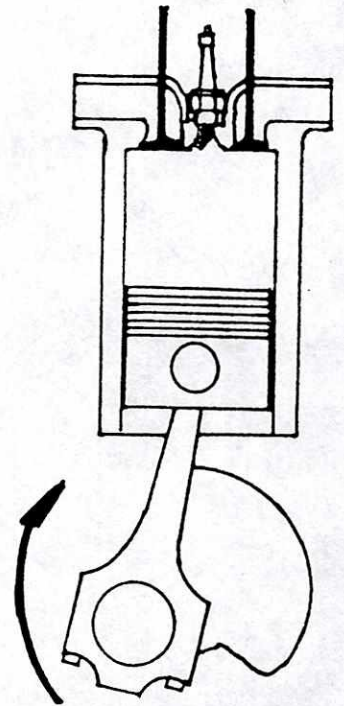


Fig. 28b. Compresión.

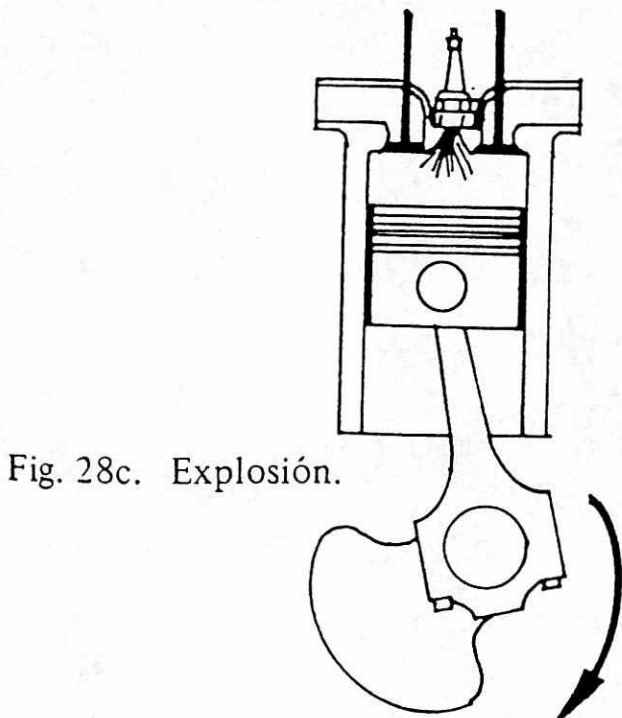


Fig. 28c. Explosión.

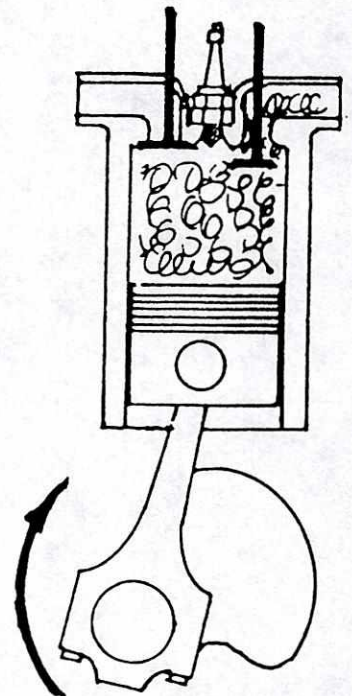


Fig. 28d. Escape.

Figura 3. Ciclo de 4 tiempos

**Figura 3. Ciclo de 4 tiempos**

Ciclo de dos tiempos:

Bajada del pistón:

El pistón baja debido a la expansión de los gases y al aumento de la presión resultante. Conforme baja el pistón, la presión disminuye hasta que la cabeza del pistón descubre el orificio de escape. Debido a la presión remanente, el humo sale por dicho tubo al exterior y con esta función queda realizado el tiempo de escape. Un instante después, el orificio de carga al cilindro es descubierto y la mezcla carburante líquida ingresa a la parte superior del cilindro. Se realiza así el tiempo de admisión. La mezcla ayudará a desalojar al humo que no logró salir por propia presión; en esta circunstancia se realiza el "barrido" donde se pierde gasolina junto con el humo de escape. La subida de la mezcla del "cárter" al cilindro se realiza por la disminución del volumen del "carter", lo que resulta en la misma bajada del pistón, elevándose la presión en el "cárter" (Gilardi, 1978).

Subida del pistón:

Al alcanzar el pistón, el P.M.I. (punto muerto inferior) se obtiene de la carga máxima de mezcla en la parte superior del cilindro. Durante la subida, el pistón cierra el tubo de carga, luego el de escape y comienza la compresión. Al final de este tiempo, la resistencia calienta el combustible lo suficiente, para iniciar otra combustión. Si se observa el "cárter", se notará que a medida que sube el pistón, el volumen del "cárter" aumenta y disminuye la presión en este compartimiento, lo que incrementa el vacío que permitirá el ingreso de la mezcla del carburador hacia el "carter".

En esta forma se cumplen la cuatro fases del ciclo; el cigüeñal ha dado una sola vuelta y el pistón ha realizado dos viajes (Gilardi, 1978).

**Figura 4. Ciclo de 2 tiempos**

### 3. Requerimientos

La potencia que produce un motor de dos tiempos como el descrito, teóricamente es el doble de la que produce un motor equivalente de cuatro tiempos. Lamentablemente en la práctica no llega a duplicarse por diferentes motivos, entre estos: el cilindro no se limpia completamente en el "barrido", la carga al cilindro no es tan eficiente como el de cuatro tiempos, parte de la potencia se utiliza para comprimir la mezcla en el "carter" (Giraldi, 1978).

Para calcular la potencia de un motor en el cilindro y en el volante de dos tiempos, se aplican las siguientes fórmulas:

$$H.I.P. = PLANV / 60 \times 75$$

H.I.P. = potencia indicada en el cilindro

P = Presión media de combustión en Kg./cm<sup>2</sup>

L = Longitud de la carrera del pistón en metros

A = Area de la base del cilindro en cm<sup>2</sup>

N = Número de cilindros del motor

V = Velocidad de giro del cigüeñal en revoluciones por minuto.

La fórmula expuesta determina la potencia indicada. Esta potencia que se desarrolla en el cilindro es mayor la potencia en el volante, la cual resulta después pérdidas por fricción.

$$H.P.B. = 2 TV / 60 \times 75$$

H.P.B. = Potencia al freno o en el volante

T = Torque en el cigüeñal en m.Kg

V = Velocidad del giro del cigüeñal en revoluciones por minuto.

La siguiente fórmula permite calcular la potencia al freno o efectiva, que sí es disponible para su uso en el volante del motor.

La diferencia entre ambas potencias da la potencia que se pierde por fricción en los cojinetes, en los pistones y cilindros, en forma de calor.

$$H.P.I. - H.P.B. = H.P.Fr.$$

Fr. = Potencia de pérdida por fricción.

(Giraldi, 1978)

## B. Combustibles para motores de dos tiempos

Las características de un buen combustible son:

- Debe tener alto poder energético por unidad de peso y suficiente índice de alto octanaje para permitir alta compresión sin detonación.
- Debe vaporizarse a baja temperatura para permitir un buen arranque, no demasiado fuerte que pueda causar un atrancamiento por vapores (este se explica más adelante).
- Debe quemarse violentamente en presencia del oxígeno.
- Baja peligrosidad para su transporte.
- No debe producir elementos o gases dañinos para la salud.
- Debe estar libre de una manera razonable de gomas y resinas.
- Debe tener un bajo contenido de azufre para evitar corrosión (Círculo aéreo, 1992).

## 1. Requerimientos

### a. Grado antidetonante y número de octanaje

Para una mezcla con relación combustible/aire baja la eficiencia de un motor que funciona conforme a un ciclo de volumen constante, que viene dado por

$$E = 1 - (1/r)^{\gamma-1}$$

donde  $r$  = relación de compresión, y

$$\gamma = \frac{\text{Calor específico a P cte}}{\text{calor específico a V cte.}}$$

En consecuencia, cuanto mayor es la relación de compresión, mayor es el rendimiento.

Por otra parte, con el aumento de presión, se eleva la temperatura alcanzada antes de la chispa y, con relaciones de compresión altas, la temperatura puede alcanzar el punto de ignición espontánea de ciertos hidrocarburos.

La temperatura de ignición espontánea es baja para los hidrocarburos de cadena recta y alta para los aromáticos, por ejemplo:

Cuadro 1:

#### Temperaturas de ignición

n-pentano, temp, de ignición espontánea	= 218 C
Combustible Diesel	Ídem Íd.= 247 C
Tolueno	Ídem Íd.= 550 C
Benceno	Ídem Íd.= 580 C

La ignición espontánea antes de formarse la chispa produce una detonación repentina. Por lo tanto, ésta puede ocurrir con más facilidad en el caso de cadena recta, que en el caso de los aromáticos. La detonación es el factor límite principal para el desarrollo de potencia en un motor de encendido por chispa. El fenómeno suena como un martilleo metálico agudo procedente del cilindro del motor. El efecto es causado por la detonación, produciendo una onda de presión vibratoria que precede a la presión normal de trabajo. El resultado es recalentamiento y pérdida de potencia.

En el fenómeno de ignición espontánea, el factor más importante de diseño es la relación de compresión en la culata del cilindro. Para un combustible y un motor cualesquiera, existe un límite máximo en la relación de compresión que puede emplearse sin causar detonación. Por otra parte el combustible que puede emplearse en un motor con una relación de compresión dada se define por su valor antidetonante (este se explica más adelante) (Francis, 1969).

En los años 20, utilizando un motor de compresión variable, se comprobó que el tolueno era un combustible adecuado para emplearlo con altas relaciones, y propuso una escala de valores de detonación en la cual se asignaba al tolueno un valor máximo de 100. El introdujo también el concepto de "relación de compresión máxima útil" (HUCR) para las gasolinas, que indicaba la relación máxima a la cual podrían ser empleadas aquéllas con seguridad, por ejemplo:

Cuadro 2:

Composición aprox. de la gasolina

Parafinas	Aliciclicos	Aromáticos	HUCR
%	%	%	
10	85	5	5.9
38	47	15	5.35
68	20	12	4.7

En 1931 se comprobó que los hidrocarburos de cadena ramificada, tales como el i-octano, son superiores a los aromáticos en valor antidetonante, también se estableció un comité, denominado "Comité de Investigación de combustibles", con la misión de crear un motor de ensayo para la determinación del valor de detonación de la gasolina y una escala adecuada de valores.

El resultado fue un motor normalizado de ensayo y una escala de octanos, en la cual el i-octano se tomó como 100 y el n-heptano como cero (Francis, 1969).

#### i. Definición y métodos de determinación del número de octano

El número de octano de un combustible es el porcentaje en volumen de isoctano en una mezcla de isoctano y n-heptano que tiene la misma tendencia a la detonación que el combustible de interés. Por ejemplo, usando como referencia un combustible de 70 octanos es una mezcla de 70% de isoctanos en heptanos normales (Círculo aéreo, 1992).

Existen cuatro métodos de ensayo que emplean el motor normal de ensayo, denominados, respectivamente, métodos "Investigación", "Motor", "Mezcla pobre de aviación" y "Mezcla rica de Aviación". El método "Motor" se utiliza para combustibles de automóviles de número de octano bajo; el método "Investigación" para combustibles de automóviles de número de octano alto, y los métodos "Aviación", para combustibles de aviación de elevado octanaje (Francis, 1969).

Detalles esenciales de estos métodos se indican a continuación:

Cuadro 3: Método de ensayo para determinar el número de octanos

Método	Mezcla pobre	Mezcla rica	Investigación	Motor
Numero CRC	F1	F2	F3	F4
Veloc. del motor (R.P.M.)	600	900	1200	1800
Temp. entrada del aire (°C)	Ambiente	38	52	107
Temp. de la mezcla (°C)	No controlada	149	104	---
Avance del encendido	13	Variable	35	45
Temp. del refrigerante	100	100	190	190

(Francis, 1969)

## ii. Atrancamiento por vapor:

Uno de los mayores problemas que se encuentra en el sistema de combustible se conoce por atrancamiento por vaporización (Vapor Lock). Este fenómeno se da en los combustibles por su volatilidad y sucede antes de alcanzar el carburador, un bloqueo por burbujas de gas impide el paso del combustible líquido al carburador o se produce una mezcla inadecuada. Si una mezcla de gasolina con vapores llega al cilindro, se da una reducción drástica del paso total del combustible, ya que los vapores son desplazados de mayor a menor presión, por lo que regresan al tanque de gasolina impidiendo el paso de la gasolina al motor y de los gases al tanque, lo que produce una pérdida de potencia.

### b. Relaciones entre número de octanos y composición.

A continuación se resumen éstas para compuestos puros y mezclas:

- Para los hidrocarburos y los aceites, los números de octano decrecen al aumentar la longitud de la cadena.
- Para los aceites isómeros, el número de octano aumenta a medida que el doble enlace se aproxima al centro de la molécula.
- Para los aromáticos, la adición de cadenas laterales hasta de 3 átomos de carbono de longitud, mejora el número de octanos. De ahí en adelante, el número de octanos decrece en proporción a la longitud de la cadena más larga.
- Los alicíclicos tienen generalmente número de octanos más bajo que los aromáticos correspondientes.
- Para los hidrocarburos cíclicos, cuanto mayor es el tamaño del anillo y la longitud de las cadenas laterales, menor es el número de octanos.
- Los aceites poseen número de octanos superiores a los de los hidrocarburos correspondientes.

- Las mezclas de dos hidrocarburos tienen número de octanos directamente proporcional al porcentaje de cada una.
- Para las mezclas de aromáticos e hidrocarburos, el número de octanos de la mezcla es más bajo que lo que se espera de una relación lineal.
- Para mezclas de aceites e hidrocarburos, el número de octanos de la mezcla es más alto de lo esperado (Francis, 1969).

## 2. Lubricantes

### a. Descripción

Generalidades: Son productos de densidad media alta, resultantes de la destilación y del refinamiento del petróleo crudo y que, mejorados con ciertos procesos y sustancias, se utilizan en la lubricación de los motores reduciendo la fricción entre partes móviles. Se pueden clasificar por su origen como: animal, vegetal, mineral y sintético. (Círculo aéreo, 1992)

Viscosidad: Los aceites más viscosos son los más densos o gruesos y presentan mayor resistencia al flujo en conductos.

### b. Función

La función de un lubricante es evitar lo más posible el contacto entre las piezas del motor para evitar de esta manera el desgaste de éstas y la pérdida de energía en forma de calor que se produce al ocurrir ese contacto.

Cuadro 4:

CLASIFICACIÓN DE LOS LUBRICANTES SEGÚN A.P.I

(Instituto Americano de Petróleo)

De acuerdo al tipo y trabajo de motor, los aceites se clasifican en:

M.L. Para motores a gasolina con trabajos livianos y constantes. Temperaturas externas normales.

M.M Para motores a gasolina con trabajo moderado e intermitente. Temperaturas externas normales.

M.S. Para motores a gasolina con cambios constantes de velocidad y carga. El esfuerzo del motor es grande. Las temperaturas son bajas.

D.G. Para motores Diesel con características de trabajo M.L.

D.M. Para motores Diesel con características de trabajo M.M.

D.S. Para motores Diesel con características de trabajo M.S.

(Giraldi, 1978)

c. Aditivos

Son sustancias de origen animal, vegetal o mineral que adicionados al lubricante, en cierta proporción, mejoran las cualidades de lubricación y retendrán el deterioro del aceite. Los más utilizados son:

**Cuadro 5: Tipos de aditivos:**

<b>Antioxidantes:</b>	Evitan o demoran la oxidación producida por la presencia del oxígeno y el calor.
<b>Anticorrosivos:</b>	Controlan la formación de $H_2SO_4$ que corroee los metales.
<b>Antiespumantes:</b>	Controlan la formación de burbujas de aire en el aceite.
<b>Antifricción:</b>	Contribuye a disminuir la fricción entre las piezas móviles.
<b>Dispersantes:</b>	Favorecen el acarreo de ciertas materias como el carbón; las mantienen en suspensión y evitan que se adhieran al motor.
<b>Detergentes:</b>	Evitan la acumulación de depósitos de materias dañinas; óxidos, sales, ácidos, gomas, etc.

(Giraldi, 1978)

Además de los tipos de aditivos indicados en el cuadro 5, hay aditivos que mejoran el índice de viscosidad; su función es evitar los cambios exagerados de la viscosidad producidos por los cambios de temperatura. Otros aditivos para soportar extrema presión se agregan a lubricantes que necesitan soportar grandes presiones; por ejemplo, en cajas de cambio, diferencial, etc (Giraldi, 1978).

### C. Combustibles para motores de dos tiempos usados en aeromodelismo

El aeromodelismo se basa en la construcción de modelos de objetos voladores, incluyendo una gran diversidad de maneras de hacerlo, desde solamente armar y pintar una maqueta de plástico, hasta diseñar prototipos de aviones reales. Para los aeromodelos de radio control existe una gran variedad de motores, incluyendo hasta turbinas y rotores para helicópteros, por ejemplo. Para este trabajo nos centraremos únicamente en motores de un solo cilindro y dos tiempos del tamaño comprendido entre 0.15 y 0.90 pulgadas cúbicas.

#### 1. Requerimientos

El combustible varía dependiendo del tamaño del motor que necesite el avión, el cual puede ser desde un avión con un motor cuya fuente de poder es un hule, el cual es enrollado, para luego hacer girar la hélice, hasta un avión a un cuarto o un medio de la escala de uno de tamaño real. Dentro del tamaño de los .15 a los .90 para motores de dos tiempos, es necesario un tipo de combustible especial de precio elevado.

#### 2. Formación convencional y sus componentes

La formulación comercial de la combustible para motores de dos tiempos de .15 a .90 en aeromodelismo es la siguiente:

65 % (v/v) de metanol

20 % (v/v) de mezcla de aceite de castor y sintético en proporción desconocida

15 % (v/v) de nitrometano

Comercialmente se pueden encontrar variaciones en el porcentaje de nitrometano en el combustible, variando desde un 10 % (v/v) hasta incluso un 60 % (v/v) en la composición de esta compensándose con el porcentaje de metanol.

La proporción de la mezcla de aceite de castor y aceite sintético varía dependiendo de la fabrica que produce el combustible. Para determinar los componentes y sus proporciones en la mezcla de aceite sintético y de castor, es necesario contactar a las distintas compañías que producen combustible.

#### a. Metanol

##### i. Características generales

El metanol es un compuesto orgánico de uso común como solvente y como material crudo en una gran variedad de químicos, es uno de los más importantes junto con el formaldehído. Por otro lado sólo una fracción del metanol es usada como combustible en el presente, aun cuando este tiene un gran número de características de un mejor combustible. Como dato interesante, los carros de carrera de hoy utilizan el metanol para incrementar la eficiencia y el poder del motor. Como combustibles líquidos, el metanol y el etanol poseen algunas características de algunos derivados del petróleo, como la gasolina, diésel y combustibles aceitosos en términos de fácil almacenamiento y transporte. Por otro lado, éstos difieren de los derivados del petróleo en mayor forma en muchas propiedades químicas y físicas, con importantes implicaciones para el uso y distribución como combustibles. Algunas de estas diferencias son derivadas de la presencia de un átomo de oxígeno en estas moléculas, como se indica a continuación (World Bank, 1982).

Cuadro 6: Propiedades físicas y químicas del metanol, etanol e hidrocarburos:

Propiedad	Metanol	Etanol	Gasolina	Diésel
Fórmula química	CH <sub>3</sub> OH	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	C <sub>3</sub> a C <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> a C <sub>8</sub>
Gravedad específica	0.79	0.79	0.72-0.78	0.83-0.88
Composición (peso en %)				
Carbón	37.5	52.2	85.88	85-88
Hidrógeno	12.5	13.1	12-15	12-15
Oxígeno	50.0	34.7	43	-----
Calor de combustión (Btu/Lb)	8570	11500	18900	18500
Calor de evaporación (Btu/Lb)	506	392	150	110
Temp. de Ev (°C)	65	78	27-225	240-36
Flash Point (°C)	11	13	-43	38
Límite de Inflamabilidad en el aire (% vol/ vol)	6.0-36.5	3.3-19.0	1.4-7.6	-----
Número Octano	106-115	106-111	79-98	-----
Número cetano	-----	0-5	5-10	45-55

(World Bank, 1982)

El metanol, como el etanol, es completamente soluble en gasolina, y escasamente en Diesel y aceites combustibles, evitando la presencia de agua. De tal forma, si el agua es agregada después, es seguro que en el valor de entrada a la mezcla alcohol/gasolina, el alcohol preferentemente absorberá el agua por ser completamente soluble y causará la separación en dos fases, una gran fase de gasolina-rica, y otra menor fase de alcohol-rico<sup>(1)</sup>. La mezcla alcohol-agua producirá que el motor se pare y, en el caso del metanol, corroerá las partes normales del motor. La entrada de agua contenida después de que la fase de separación ocurra es cerca de cinco veces más baja en el metanol que en el etanol, pero esto se puede incrementar por la adición de alcoholes más grandes (C<sub>3</sub> a C<sub>6</sub>) que actúan como solventes. Este problema se puede minimizar con cambios en el sistema de distribución y prácticas de manejo que limiten el ingreso de agua. El contenido de agua es un problema de menor grado cuando la solubilidad es muy baja (gasolina pura) o muy alta, como es el caso en los motores que utilizan el metanol (85 a 100% de metanol).

(World Bank, 1982)

## ii. Características de combustión y contenido energético

Las propiedades que afectan la eficiencia de combustión y otras características (calor de combustión, flashpoint, presión de vapor, autoignición, límites de inflamabilidad, números de octanaje y cetanaje, etc.) son substancialmente diferentes en el metanol comparado con combustibles hidrocarbonados. El análisis de estos es en extremo complicado y de cara investigación, lo que ha limitado los usos del metanol como un combustible primario.

---

(1) Esta entrada es menor del 1% de agua para mezclas de gasolina-metanol; este nivel incrementa al aumentar la temperatura ambiental y incrementar el contenido de grupos aromaticos en la base de la gasolina.

En general, el metanol produce una buena ignición de la chispa en los motores de combustible. Por esta razón, el metanol que contiene 50% de oxígeno listo (contra sólo el 43% en contenido energético (o calor de combustión) de la gasolina por unidad de volumen) requiere sólo 45% de aire para combustionarse. La admisión de combustible es continua, por lo que es necesario el mantener el mismo contenido energético en la mezcla aire/gasolina presente en la cámara de combustión (World Bank, 1982).

En otras palabras, el metanol implica una economía en el combustible. Al mismo tiempo, otra característica del metanol. (Los motores corren en frío y deficientes a menos que se aumente la compresión) Es que puede contribuir a incrementar la eficiencia del motor y proporcionar una economía energética cuando se compara con la gasolina (World Bank, 1982).

### iii. Seguridad y medio ambiente.

En términos ambientales y particularmente en la calidad del aire, la comercialización en gran escala del metanol, como combustible, implica beneficios al compararse con los combustibles hidrocarbonados y también nuevos problemas. Porque el alto número de octanaje del metanol proviene del alto número de octanaje de los aditivos que se agregan con este fin. Países interesados en el potencial de los alcoholes para sustituirlos aditivos de plomo, se han interesado últimamente para su aplicación como combustible. La sustitución de la gasolina por el metanol implica la reducción de contaminantes sulfurados y componentes cancerígenos de la gasolina (World Bank, 1982).

La utilización del metanol resulta en la reducción de la emisión de monóxido de carbono, óxido de nitrógeno y partículas sólidas no observadas en las pruebas con metanol.

Se reduce la formación de smog, pero la emisión de aldehídos aumenta y el impacto de ésta en el medio ambiente aún no es claro. Los aldehídos se eliminan fácilmente en los automóviles por los sistemas catalíticos de limpieza. Todos estos beneficios y desventajas son, por supuesto, más pronunciados en el metanol (World Bank, 1982).

#### iv. Rendimientos del motor

Pruebas de laboratorio y de campo muestran al metanol como una atractiva y limpia opción de combustible con relativamente menores problemas como para triunfar ante otros combustibles. Varios vehículos de producción regular en la industria de automóviles han sido modificados para operar con metanol, al utilizar, entre otras modificaciones la del carburador. Las pruebas indican que se ha obtenido más poder con el metanol debido a su alto calor de vaporización enfriando la mezcla que entra al motor mucho más que la gasolina. Esto aumenta la densidad de la mezcla aire-combustible y el flujo de masa. La ganancia en poder de salida con metanol puro es de cerca del 10% (Bernhardt, 1974).

Cuando el vehículo es operado con metanol puro, es necesaria alguna forma de ayuda para el encendido en frío, para temperaturas abajo de los 8 °C. Esto anuncia una gran posibilidad de incluir un encendido en frío y un elevador de temperatura,

agregándole al metanol aditivos de encendido volátiles, utilizando los "encendidos en frío" especiales (sustancias tales como butano, éter metálico o gasolina por ejemplo) de tal forma que se rocíe éste en la entrada de aire durante el encendido, o se utilice una pequeña llama para precalentar la entrada del manifold (Bernhardt, 1974).

## b. Nitrometano

### i. Características del nitrometano:

Se prepara por interacción de nitrato de sodio con cloroacetato de sodio. El nitrometano es un líquido aceitoso con un olor moderadamente desagradable. En forma de sales de sodio es explosivo al contacto con el agua. Se utilizó como combustible para cohetes y se utiliza, actualmente, en la industria de pintura (Merck, 1983).

### ii. Función dentro del combustible

El nitrometano proporciona un efecto de enfriamiento durante la combustión. En motores de dos tiempos para aeromodelismo, no utilizar nitrometano produce un calentamiento en el motor, por lo que no se debe acelerar el motor con una mezcla pobre de aire-combustible. Esto no es para alarmarse, ya que sólo se requieren algunas modificaciones en la graduación de las diferentes válvulas.

Modificaciones al motor cuando se utiliza combustible que no contiene nitrometano:

- Deje que el motor se caliente por un período de tres a cuatro minutos, antes de realizar los ajustes finales.
- Una vez el motor esté caliente, se sube y ajusta la aguja que controla el paso de combustible (aguja de alta) para enriquecer hasta alcanzar 50-100 R.P.M.
- Coloque el motor hacia abajo y realice los ajustes necesarios en la aguja que controla el paso de combustible para una mezcla pobre de combustible/aire (aguja de baja).
- Una vez ajustadas las agujas de alta y de baja, realice una revisión sin llegar a la potencia máxima. (F.A.I, 1994)

c. Aceite de castor y aceite sintético

i. Aceite de castor: También llamado aceite de palma cristi. Este es una mezcla de aceite obtenida a presión en frío de la semilla del *Ricinus communis* Euphorbiaceae, obteniendo un triglicérido de ácido graso con una composición aproximada de 87% de aceite ricinoleico, 7% de oleico, 3% de linoleico, 2% de palmítico, 1% de estérico trazas de dihidrosistérico.

El aceite tiene un color amarillo pálido, se disuelve en un 95% (v/v) en alcohol, pero no en aceites minerales, sí en aceites vegetales. Al calentarse a 300 °C. por varias horas, este se polimeriza y empieza a ser miscible en aceites minerales.

ii. Aceite sintético: Se utilizan aceites no derivados del petróleo. Puesto que cada fabricante utiliza diferentes aceites sintéticos y en diferentes proporciones dentro de la mezcla con el aceite de castor, es muy difícil poder decir algo concreto sobre este componente del combustible.

iii. Función dentro del combustible: lubrica el motor, evitando en lo posible el desgaste de las piezas metálicas móviles por el rozamiento de éstas dentro del motor, de tal forma que la mezcla o el aceite forme una película en medio de las piezas evitando de esta forma el contacto entre ellas. Además, por medio de esta película entre las paredes del cilindro y el pistón, se da un sellado evitando así fugas de compresión. En el lubricante también se desea una gran capacidad de arrastre para poder sacar partículas sólidas del motor, produciendo así una limpieza de este (Círculo Aéreo, 1992).

### 3. Componentes alternos en formulación para motores desde .15 hasta .90

Hasta ahora, en Guatemala se ha trabajado con los mismos componentes que se utilizan en el combustible que se vende comercialmente a excepción del nitrometano, debido a su alto precio. El aceite que se utiliza para realizar una formulación casera de combustible es conocido con el nombre comercial de GK-1, el cual se encuentra en el mercado, ya que se utiliza en motores de motocicletas y está preparado para utilizarse como lubricante en motores pequeños de dos tiempos.

El metanol anhidro se compra sin ningún problema. Una solución para la falta de nitrometano en el combustible es comprar un galón con un alto contenido de nitrometano (75% (v/v)) y diluirlo con la preparación casera hasta obtener el porcentaje de nitrometano deseado.

En realidad el nitrometano no es un componente importante en la composición del combustible, e incluso es prohibido su uso en algunos países de Europa, puesto que es muy peligroso. El efecto producido en el combustible tiene como único objetivo el incrementar la potencia del motor, lo cual no es muy importante, ya que ésta depende del tamaño del motor, por lo que si se necesita más potencia para un modelo simplemente se cambia el motor por uno más grande.

#### D. Metanol y etanol como fuente de energía

El contenido energético del etanol es de  $2.2 \times 10^4$  a la  $4 \times 10^4$  kilojulios por litro, el del metanol es algo menor. Partiendo de la base de que una destilería corriente produce 200,000 litros de alcohol por día, o 73 millones de litros anuales, cada una de esas destilerías producirá cada año combustible con un contenido de 1.6 petajulios. Así pues, si nuestros objetivos respecto de los combustibles líquidos debieran cumplirse por entero mediante el alcohol elaborado en esas plantas, la meta de 1995 exigirá 31250, y la construcción de 12500 destilerías, la de 2010 exigirá 31250, y la de 2025 exigirá 50000.

Para el año 2025 tendría que ser posible obtener cosechas que rindan más de 3000 litros de etanol por hectárea. La caña de azúcar, en las regiones en la que se la puede cultivar con máximo provecho, produce hoy entre 3000 y 3400 litros por hectárea, cifra que podría

aumentar si se mejoraran las especies o se introdujeran otras nuevas, multiplicando los cultivos o perfeccionando la destilación.

Pero si partimos de un rendimiento de 3000 litros por hectárea, cumplir con la meta fijada para 2025 exclusivamente con etanol requeriría el cultivo de 1200 millones de hectáreas, cifra que, nuevamente, si se compara con los 1500 millones de tierras dedicadas en todo el mundo a la agricultura, nos da una clara idea de la enorme magnitud de la tarea.

Por supuesto, no todos los combustibles líquidos provendrán de las "cosechas de etanol". El metanol puede obtenerse de una variedad de fuentes, el propio etanol puede ser elaborado a partir de diversos residuos orgánicos. Varias especies de plantas tienen una savia rica en hidrocarburos complejos, y algunas de ellas pueden crecer en medios inhóspitos, de clima seco. Empero, queda en pie el hecho cardinal de que la producción de combustibles líquidos que sustituyan al petróleo será una de las misiones más arduas de la etapa de transición hacia la era solar. Si resulta excesivamente ardua, los combustibles líquidos simplemente dejarán de tener el importante papel que hoy desempeñan en los asuntos humanos.

(Hayes, 1981)

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Materiales

#### 1. Reactivos

Metanol (Merck)

aceite de castor

nitrometano

hidróxido de sodio (Merck)

cloruro de cobre (Merck)

ácido clorhídrico (Merck)

pirogalol (Merck)

#### 2. Equipo

Motor de dos tiempos H & B de 0.61 pulgadas cúbicas

Burrell gas análisis orsat modelo no. 39-54 0

### B. Metodología

Se trabajó con una mezcla de metanol, aceite de castor y nitrometano como combustible para un motor de dos tiempos.

Se utilizaron tres distintos porcentajes de nitrometano.

El primero con cero por ciento, el cual se preparó a partir de una mezcla de 75% metanol y 25% aceite de castor, el segundo fue el combustible que se vende comercialmente de 15 % y el tercero que también se vende comercialmente de 45 % de nitrometano.

A estas muestras con distinto porcentaje de nitrometano se les realizaron las siguientes pruebas:

1. Análisis de gases:

El motor se llevó a una velocidad constante de entre 7500 y 8000 revoluciones por minuto, a la cual se tomaron las muestras de gases de combustión, las cuales se sometieron al orsat para análisis de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ .

2. Consumo:

El motor se llevó a una velocidad constante de 8000 a 9000 r.p.m. y se midió el consumo de combustible por minuto.

3. Velocidad de combustión:

Ya que el motor da una revolución por detonación, se midió la cantidad de estas con base en las revoluciones por minuto.

4. Temperatura de los gases de salida:

Se midió la temperatura en la salida del escape con un termómetro de mercurio.

5. Con base en estos resultados experimentales y datos de la literatura, se construyó un modelo termodinámico a partir de gases ideales, el cual muestra gráficas de temperaturas durante la combustión dentro de el motor. También se calcularon las  $C_v$  y  $C_p$  para cada etapa.

## MODELO TERMODINAMICO

- Se asume un comportamiento de gas ideal en todo el modelo.
- Se asume un comportamiento adiabático. Ya que el sistema utilizado en todas las etapas del modelo es el mismo, el error será similar en todas las etapas.
- Para todo el modelo se tomó  $T_2 =$  temperatura al final de la compresión, como  $470^\circ\text{C}$ , temperatura de ignición del metanol.

Para un proceso reversible (sucesión de estados de equilibrio) se tiene que:

$$dU = q + w$$

pero en un proceso adiabático  $q = 0$  por lo que:

$$dU = w$$

También se sabe que :

$$w = - F \cdot dr$$

$$= - F/\text{área} \cdot \text{área} \cdot dr$$

$$= - P \cdot dV$$

de donde:

$$dU = - P \cdot dV$$

De los gases ideales:

$$PV = nRT$$

de donde :

$$P = nRT/V$$

Entonces  $dU$ :

$$dU = -nRT/V$$

También se sabe que:

$$nC_v = dU/dT \text{ a Vol. cte.}$$

de donde:

$$dU = nC_v \cdot dT = -nRT/V$$

Integrando:

$$C_v \int 1/T dT = -R \int 1/V dV$$

se tiene:

$$C_v \ln(T_2 - \ln T_1) = -R (\ln V_2 - \ln V_1)$$

por reglas de logaritmos:

$$(T_2/T_1)^{C_v} = (V_2/V_1)^{-R}$$

de donde:

$$T_2 = T_1 (V_2/V_1)^{-R/C_v}$$

También de gases ideales se sabe que:

$$C_v = C_p - R$$

Y para cada gas:

$$C_p = aT + bT^2 + c/T^2$$

\* Estas ecuaciones se utilizaron para calcular:

$T_1$  = temperatura de entrada al cilindro,

$T_4$  = temperatura después de la expansión adiabática,

$T_5$  = temperatura de salida del escape con  $V_f = nRT/P_f$  en donde  $P_f$  = presión atmosférica.

Para  $T_3$  = temperatura al final de la combustión:

Se sabe que:

$$nC_p = dH/dT$$

de donde:

$$dH - nC_p dT = 0$$

por ser un proceso adiabático.

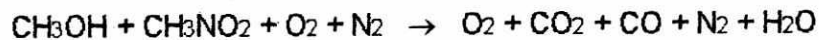
La sumatoria de las entalpías va a ser igual a cero, pero también será igual a la sumatoria de las fracciones molares de cada gas por el  $C_p dT$ , Integrando:

$$\Delta H = \sum x_i \cdot C_p \int dT$$

$$\Delta H = \sum x_i \cdot C_p (T_2 - T_1)$$

En donde  $T_2$  se encontró por medio de iteraciones.

Reacción general:



## VII. RESULTADOS

Tabla # 1: Porcentaje de nitrometano.

%de nitrometano en la mezcla metanol-nitrometano.	%de nitrometano en combustible (con aceite)
0	0
18.75	15
56.25	45

Tabla # 2: Temperatura ( °C) con datos del análisis Orsat:

% de nitrometano	Temp. de entrada	Temp. antes de la combustión	Temp. después de la combustión	Temp. después de la expansión	Temp. de salida en el escape
100	32.83	470	1372	542	127
56.25	36.25	470	1719	795	258
18.75	39.37	470	2077	994	324
0	49.17	470	2594	1226	377

Tabla # 3: Consumo a revoluciones constantes (8000-9000)

% de nitrometano	Consumo (ml/min)
0	21
18.75	15
56.25	12

Tabla # 4: Velocidad.

% de nitrometano	R.p.m.
0	10300
18.75	10500
56.25	10800

Tabla # 5: Volumen de combustible gaseoso inicial

% de nitrometano	Vol. inicial de combustible gaseoso (l/min)	Vol. inicial de mezcla aire-combustible (l/min)
0	12.354	107.17047
18.75	10.786	109.25145
56.25	6.69	112.37292

Tabla # 6: Motor

	centímetros
Diámetro del cilindro	2.4
Altura de la cámara de combustión	0.7
Altura en la carrera del cilindro	3
Volumen de cámara de combustión	1.35717
Volumen en la carrera del cilindro	10.40495
Índice de compresión	9.40495
Capacidad volumétrica o cilindrada	10.40495

Tabla # 7: Análisis Orsat:

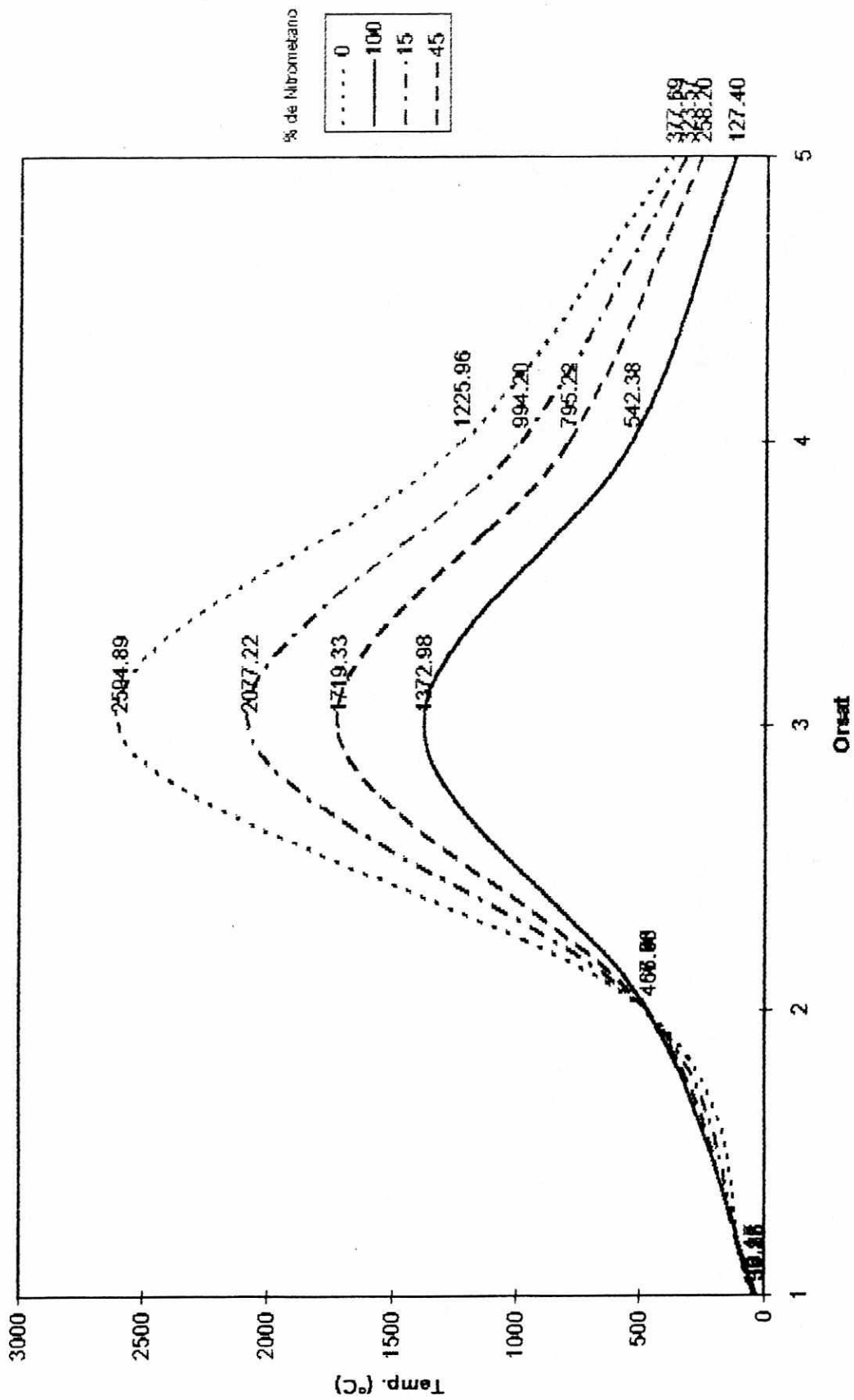
% nitrometano	monóxido de carbono	dióxido de carbono	oxígeno	nitrógeno	revoluciones por minuto
0	1.2	0.9	18	79.9	6600-7000
0	1.2	1	18.7	79.1	8600-8800
0	1.3	1.2	17.6	79.9	7700-8000
3.75	1.2	1.1	17.8	79.9	9200-9400
3.75	1.2	1.6	19	78.2	9500-9600
3.75	0.9	1.5	17.4	80.2	9300-9500
7.5	0.8	1.9	17.5	79.8	9200-9400
7.5	0.8	1.7	19.6	77.9	9100-9200
7.5	1	1.9	19.4	77.7	8900-9100
11.25	0.7	2.3	18.8	78.2	9000-9500
11.25	0.6	2.4	18.9	78.1	9600-9800
11.25	0.5	2.1	18.8	78.6	9000-10000
15	0.4	2.7	18	78.9	9800-9000
15	0.3	2.6	19.3	77.8	7500-8000
15	0.4	2.3	19.5	77.8	9000-9600
45	0.2	3	18.1	78.7	7800-8000
45	0	3.2	19.6	77.2	7600-7900
45	0.1	3.1	19.6	77.2	7500-8000

### Gráficas:

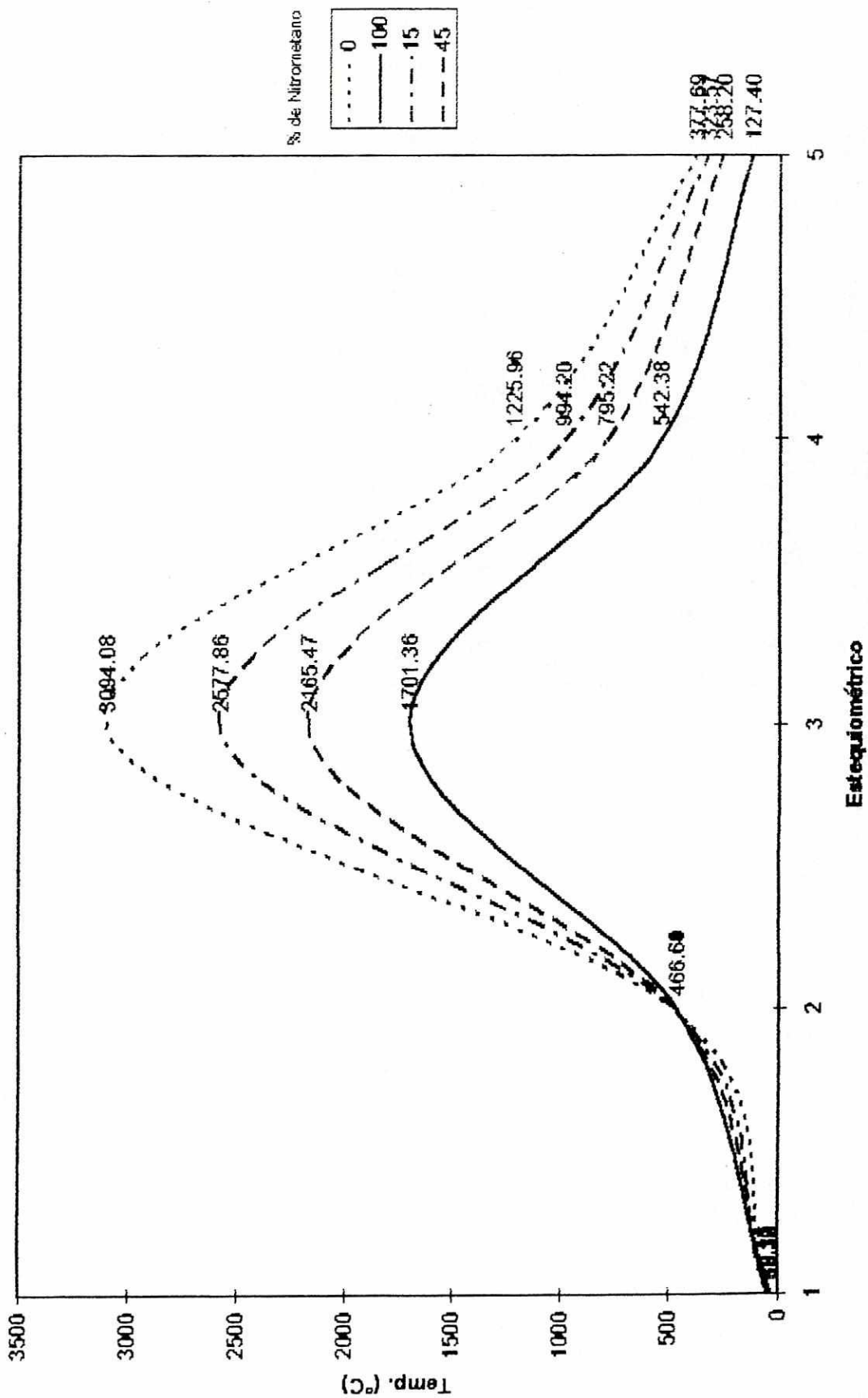
Eje X:

1. Temperatura de entrada al cilindro
2. Temperatura al final de la compresión adiabática
3. Temperatura al final de la combustión adiabática
4. Temperatura después de la expansión adiabática
5. Temperatura de salida del escape

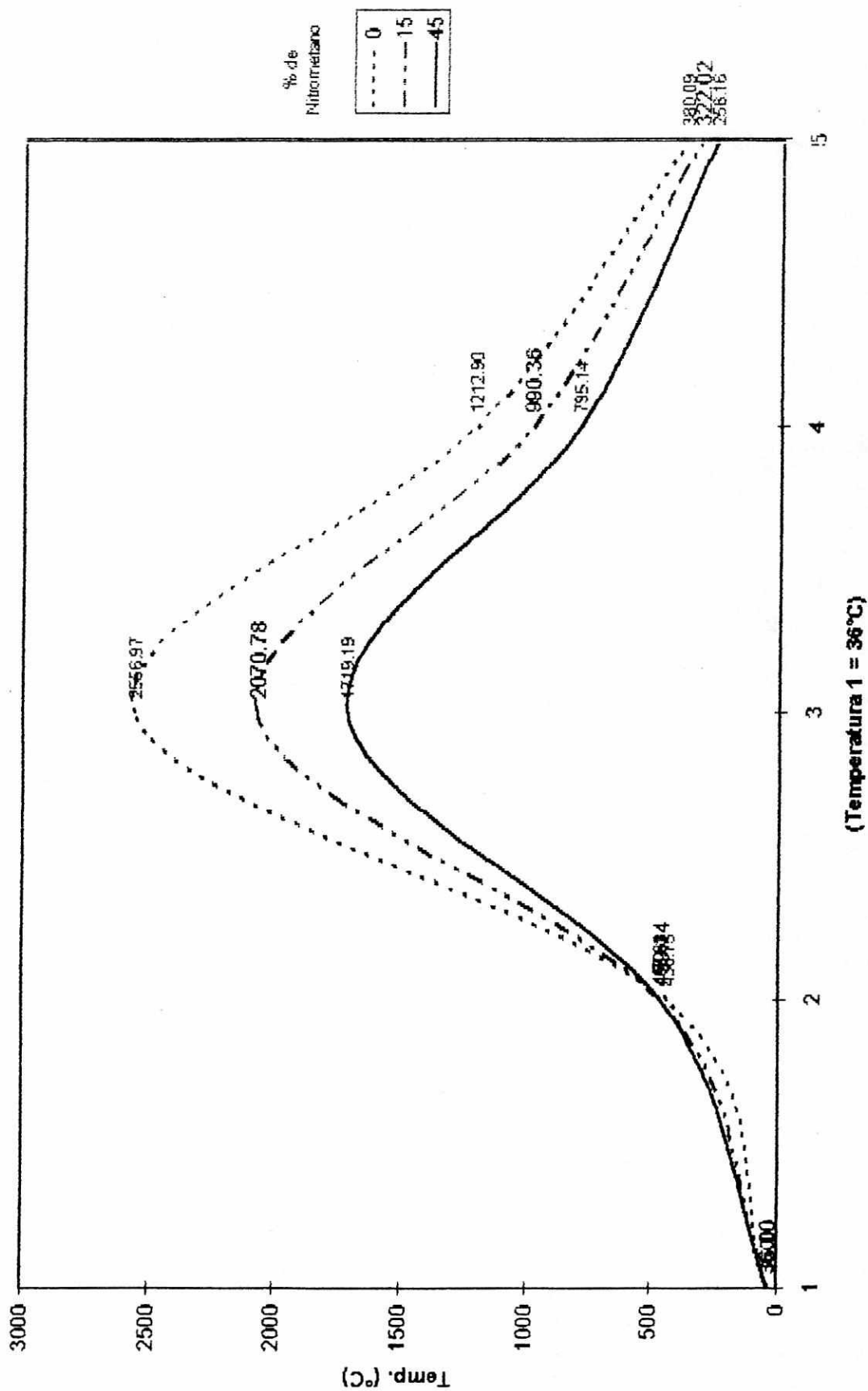
# Temperaturas en las etapas del ciclo decombustion



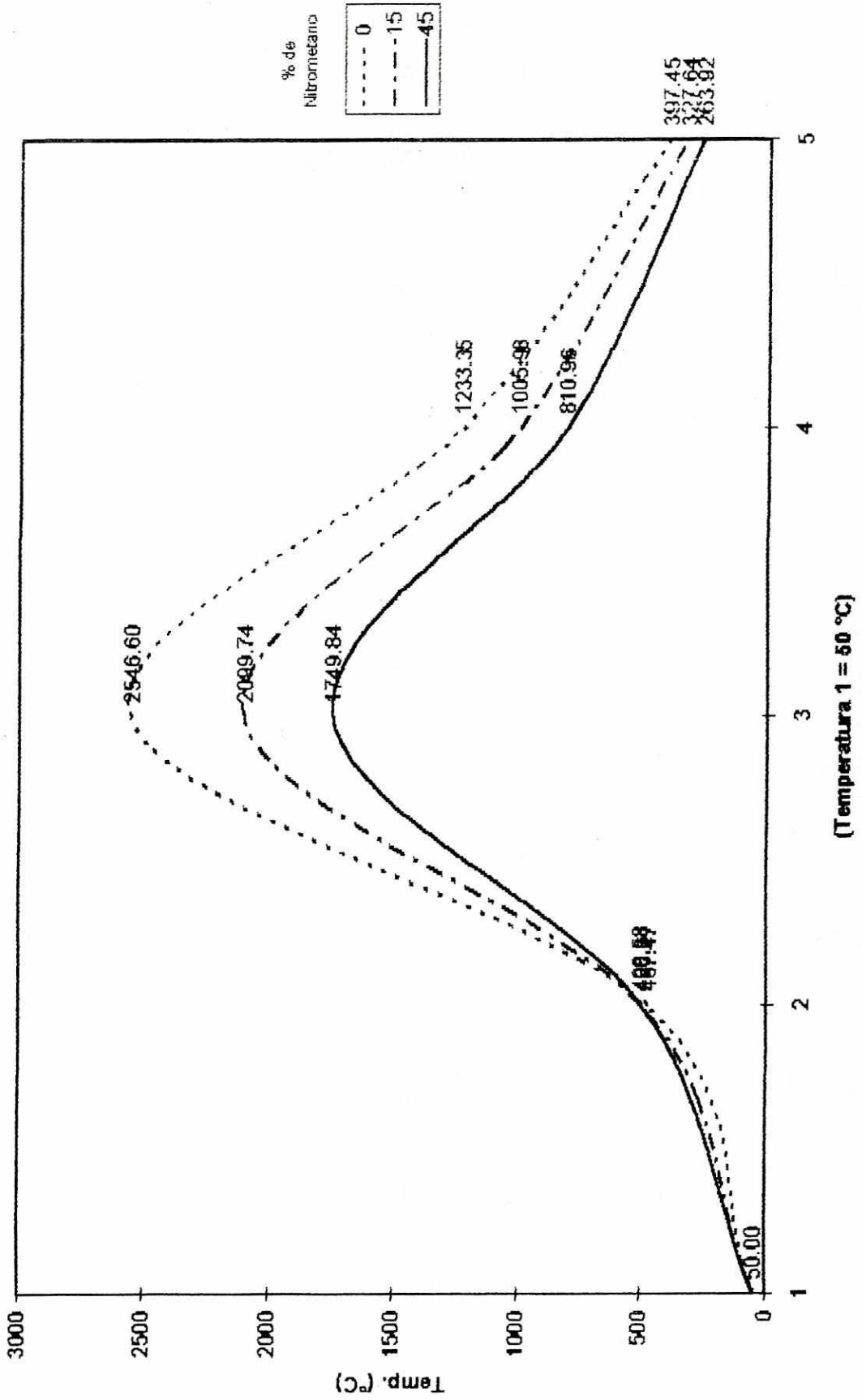
# Temperaturas en las etapas del ciclo de combustion



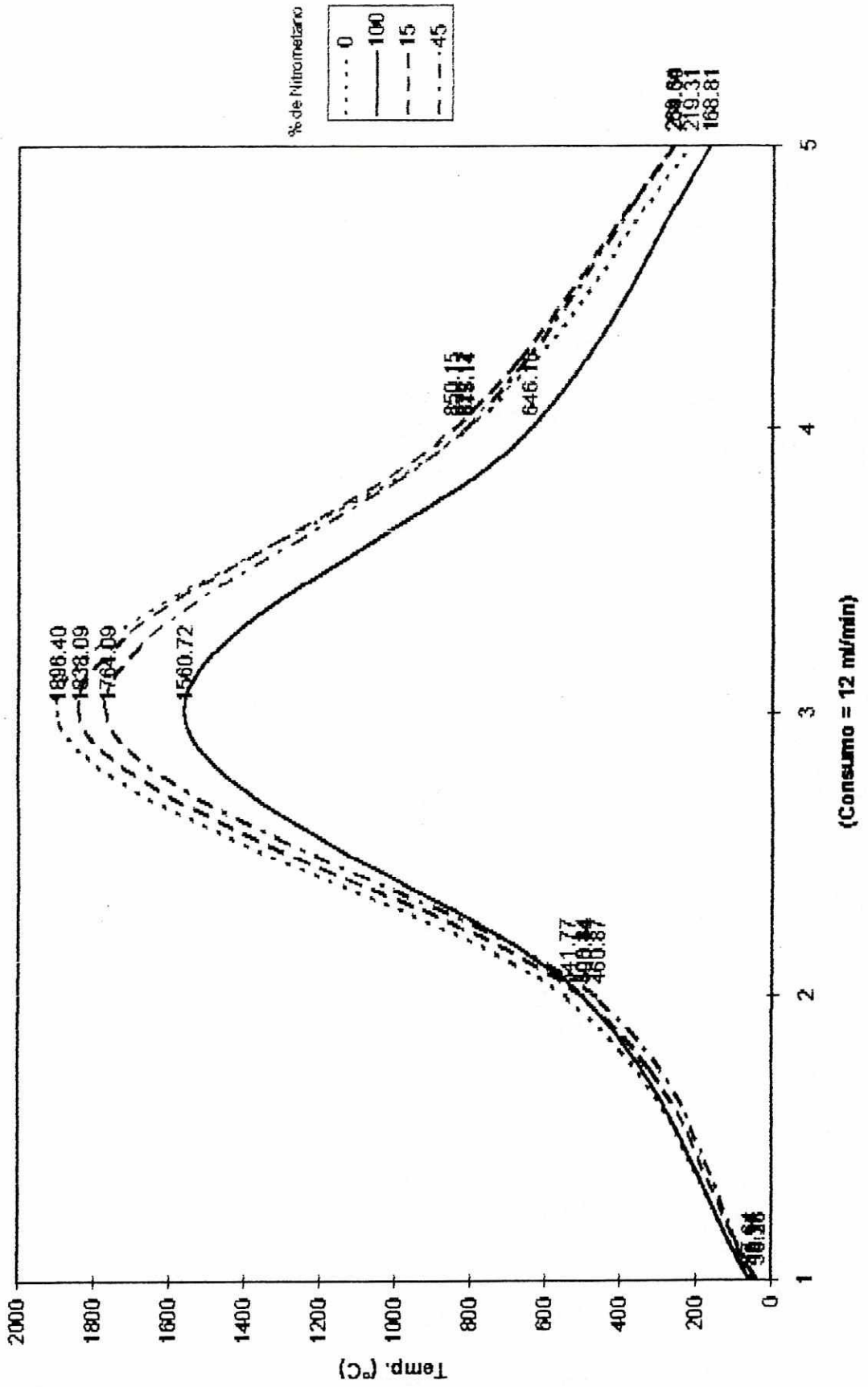
# Temperaturas en las etapas del ciclo de combustion



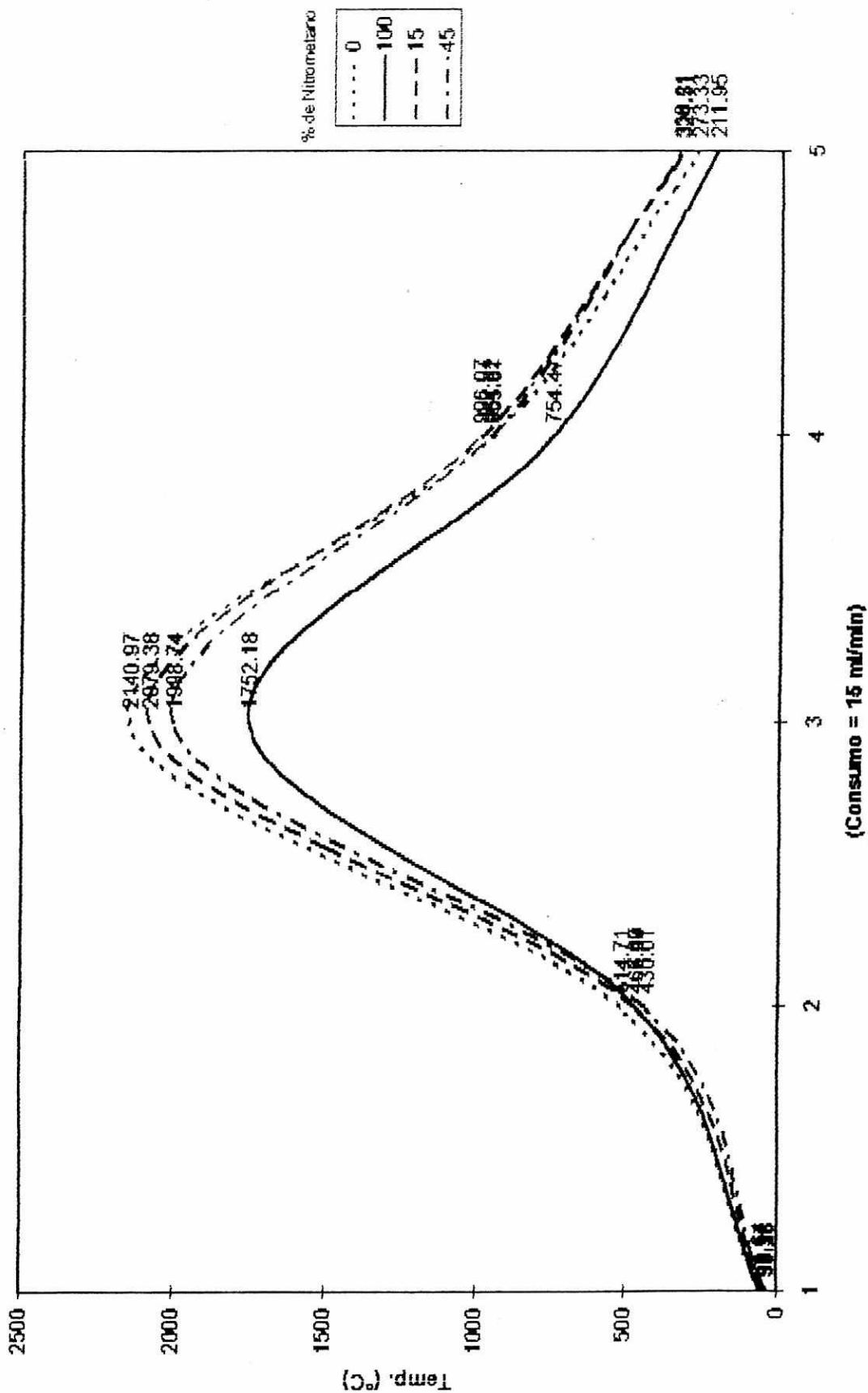
# Temperaturas en las etapas del ciclo de combustion



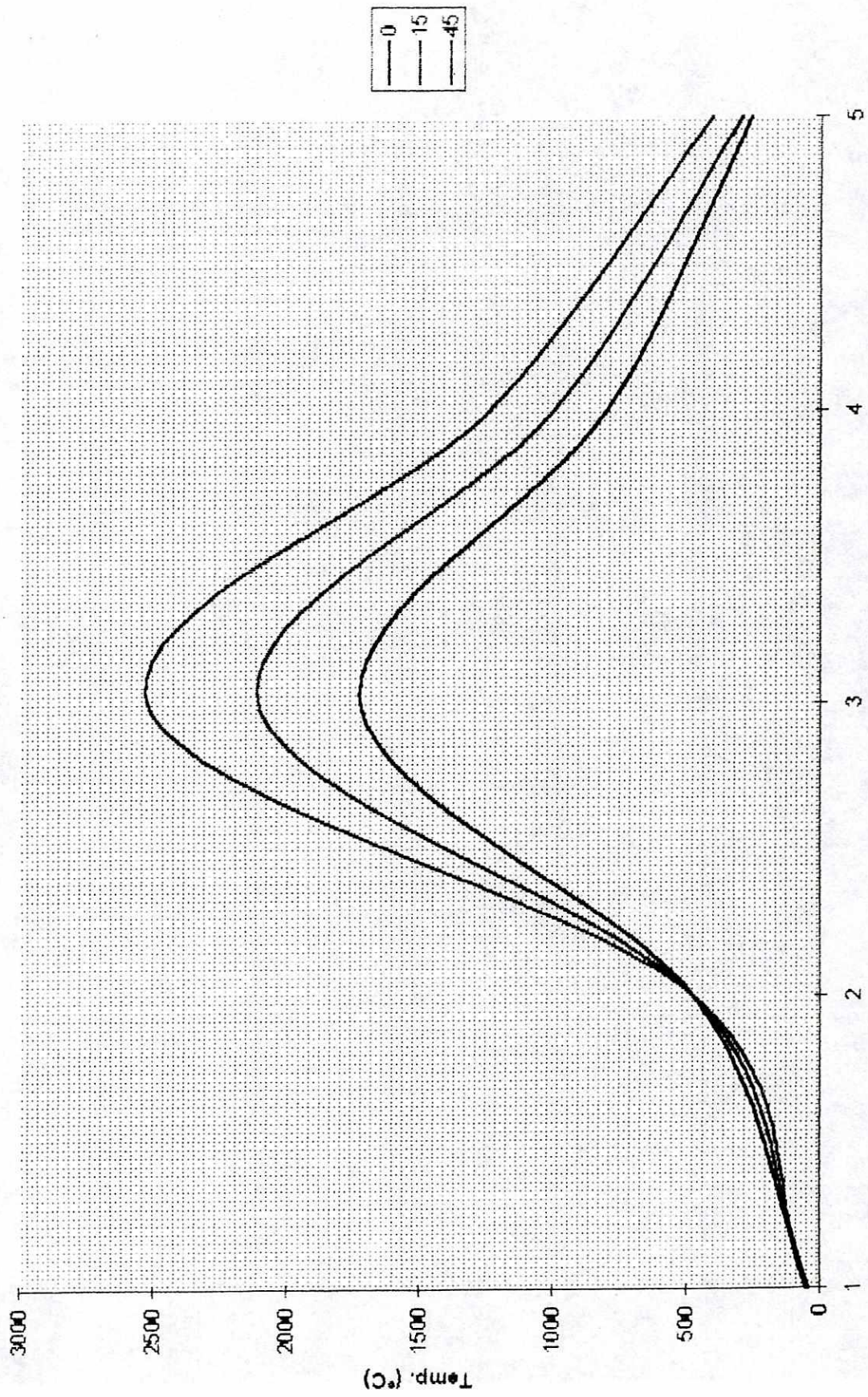
# Temperaturas en las etapas del ciclo de combustion



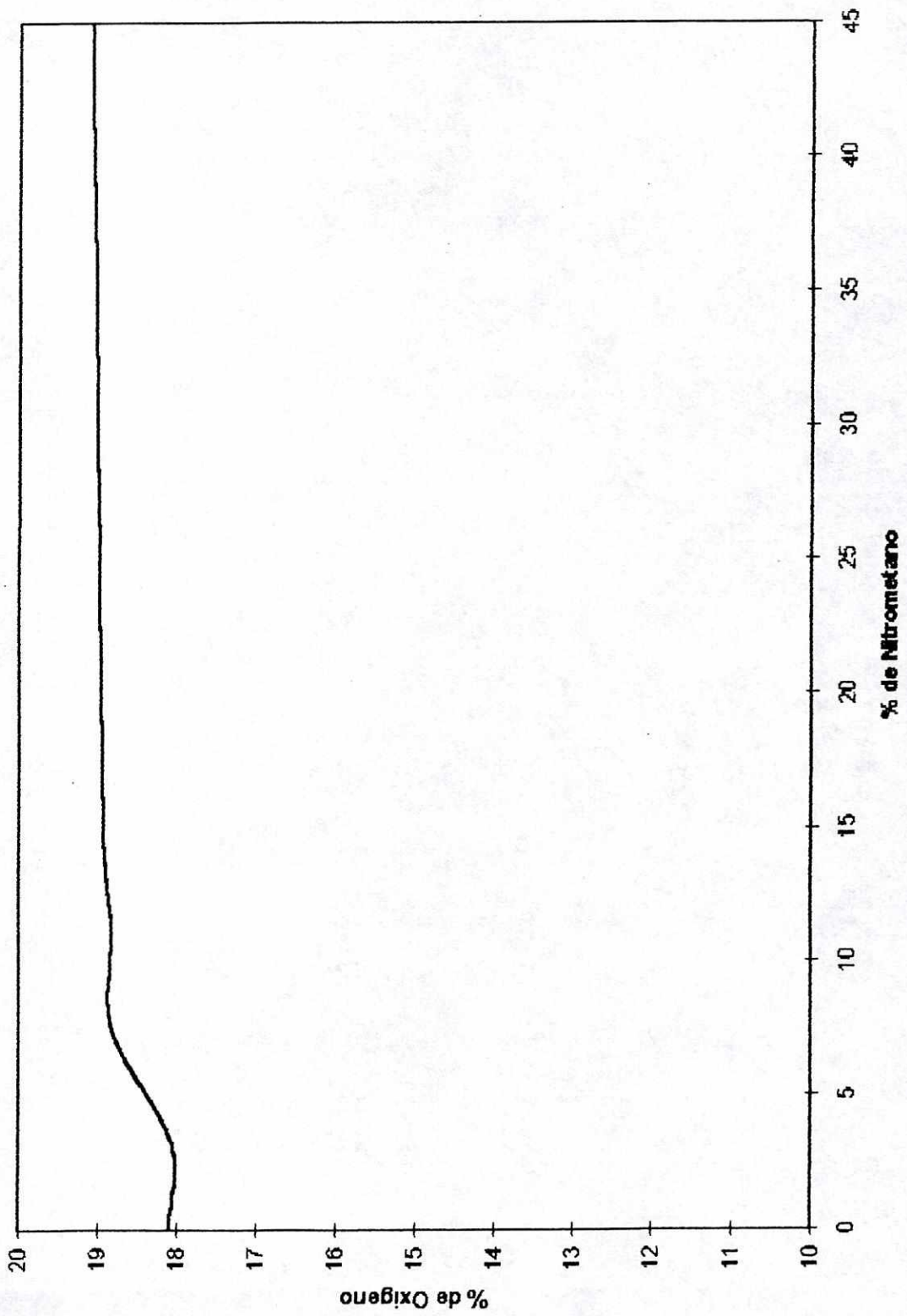
# Temperaturas en la combustion vs porcentaje de nitrometano



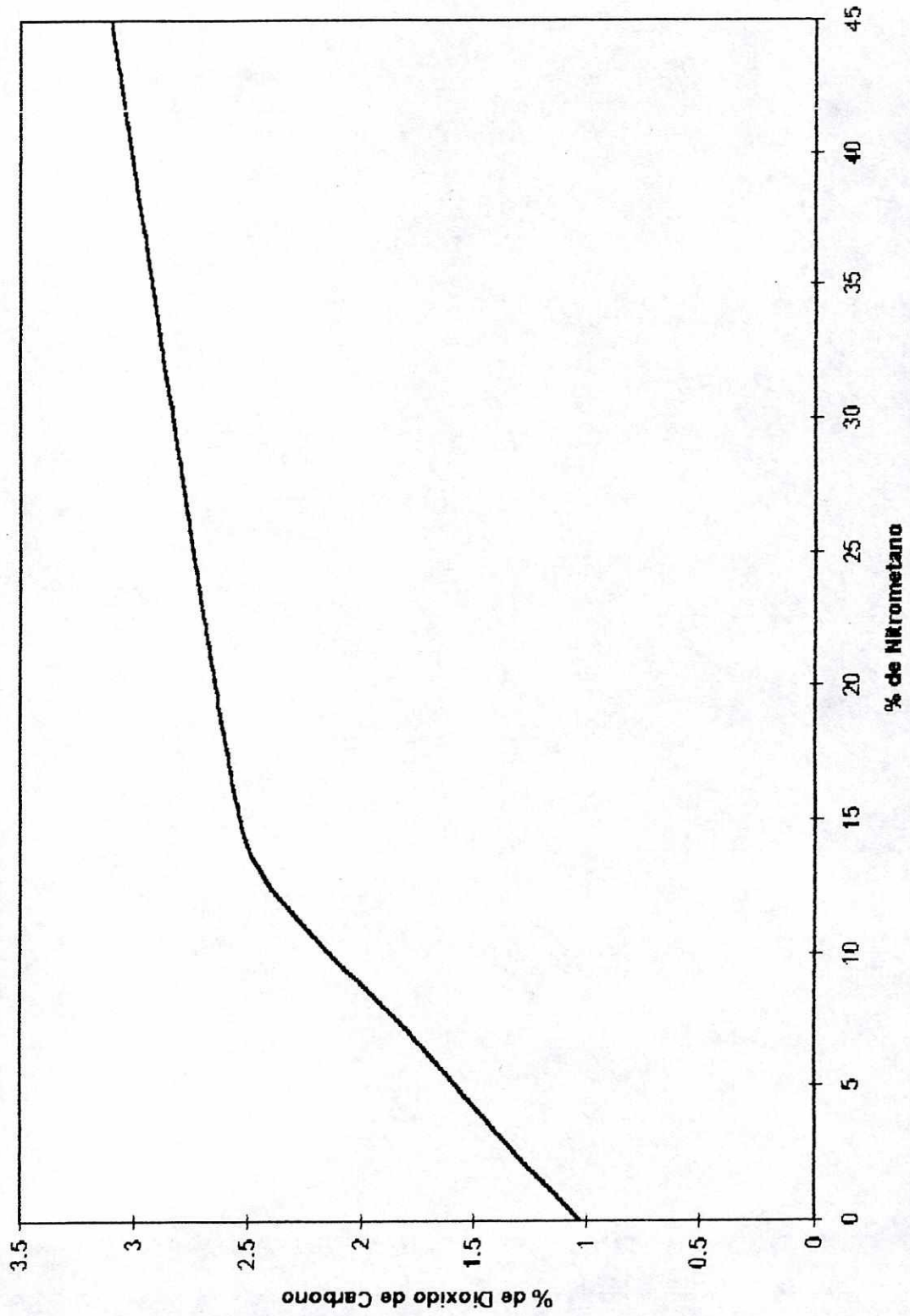
# Temperaturas en la combustion vrs porcentajes de nitrometano



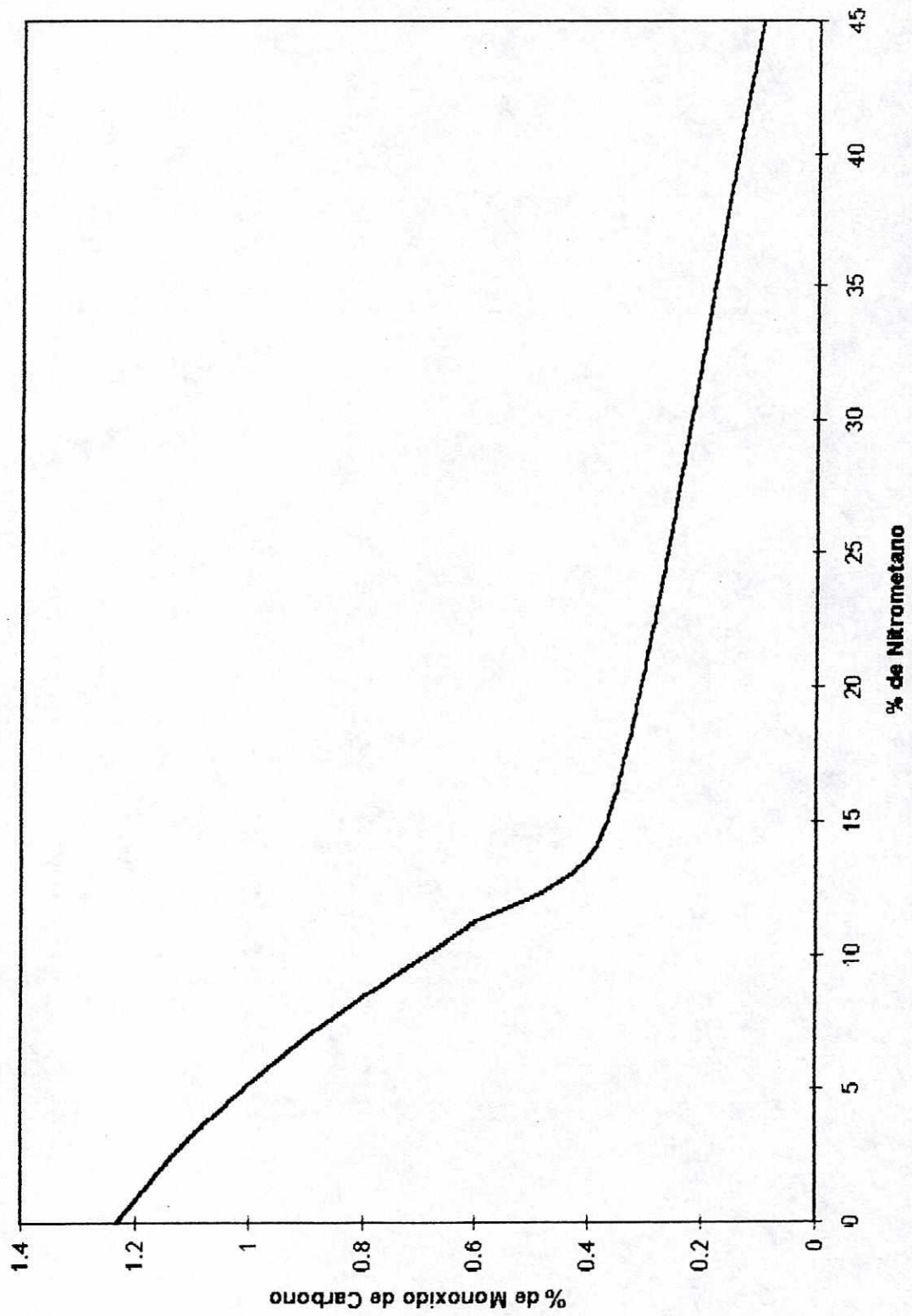
Porcentaje de oxígeno vrs porcentaje de nitrometano



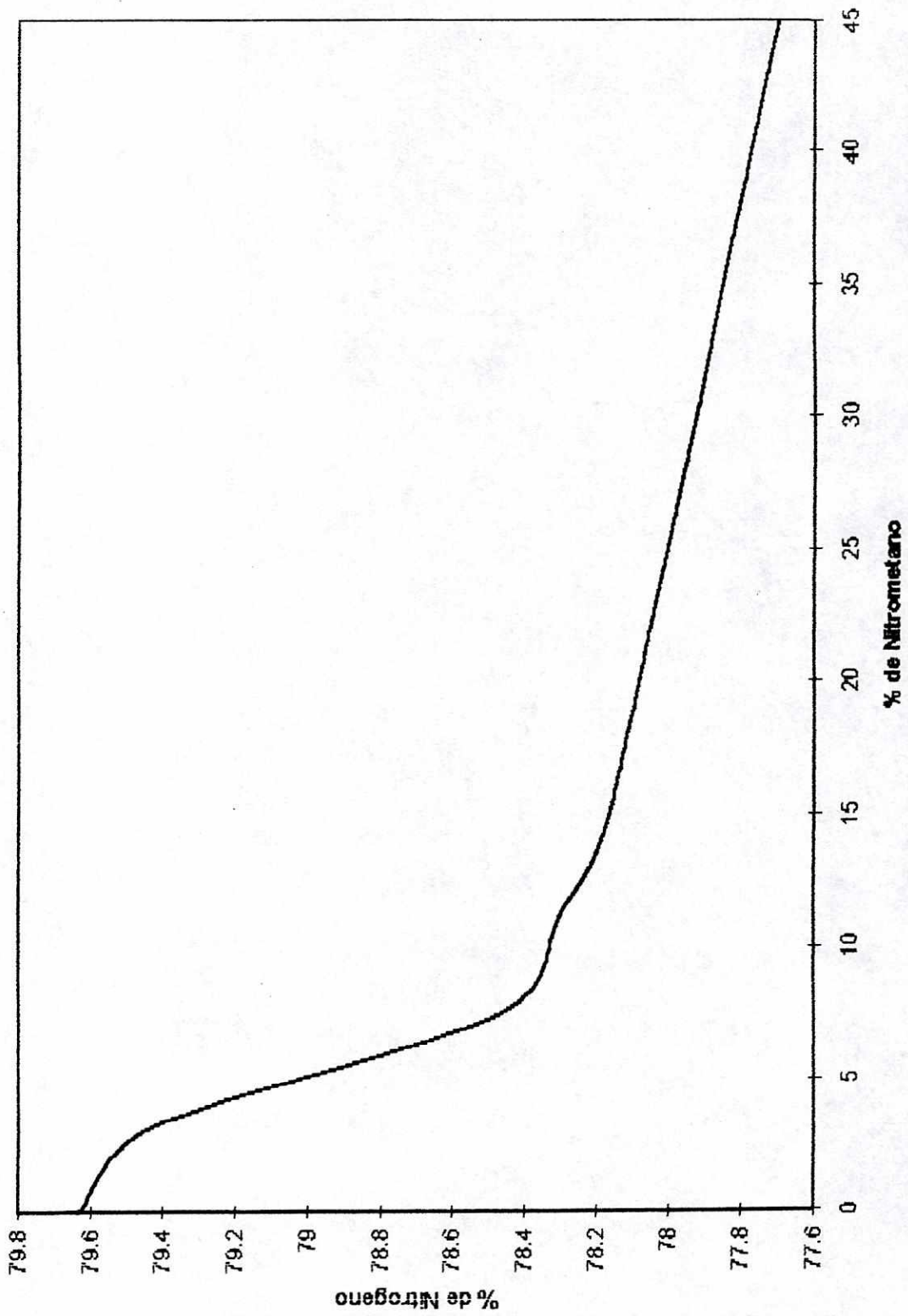
Porcentaje de dióxido de carbono vrs porcentaje de nitrometano



Porcentaje de monóxido de carbono vrs porcentaje de nitrometano



Porcentaje de nitrógeno vrs porcentaje de nitrometano



## VIII. DISCUSIÓN

Los primeros análisis con el Orsat, realizados entre el cero y quince por ciento de nitrometano, muestran resultados de muy poca variación, por lo que no es posible plantear un modelo en ese rango, pero dentro del rango de cero a cuarenta y cinco por ciento de nitrometano, las variaciones permiten plantear un modelo simple. Para las composiciones cero, quince y cuarenta y cinco por ciento de nitrometano, se utilizó productos ya comercializados. La preparación de las mezclas fue realizada de la siguiente manera: cero por ciento, metanol grado analítico con un veinticinco por ciento, en volumen, de aceite de castor.

Con base en los resultados obtenidos experimentalmente (ver tablas 1 a 9) y los valores obtenidos en la literatura (ver tabla 1 en sección de apéndice) se construyó un modelo simplificado a partir de las ecuaciones de gases ideales. Dada la consistencia termodinámica de los valores calculados y de la concordancia con los valores experimentales, es que este modelo es utilizado para interpolación de valores y para predicción de valores no obtenidos experimentalmente.

Para la elaboración del modelo se procedió de dos maneras:

1. A partir del análisis Orsat de los gases de combustión es posible conocer la composición al final del proceso, además conociendo los valores de consumo de combustible y las características mecánicas del motor, se plantea el modelo semi empírico y.
2. a partir de la estequiometría de la reacción y del conocimiento de las condiciones iniciales se plantea el modelo empírico.

La bibliografía reporta el valor de 740 K como el valor de la temperatura a la cual el metanol explota en presencia de aire, es por ello que éste es el valor que se utiliza como referencia para el inicio de la combustión, es decir que es una temperatura obligada para todas las composiciones y mezclas. En éste, el aceite de castor inicia la ignición antes que el metanol ( ver tabla 1 en sección de apéndice), lo cual indica que cuando el cilindro del motor baja, el aceite ya inició su combustión.

El modelo fue validado inicialmente por la estequiometría de la reacción mostrando la tendencia de los valores de temperatura en cada etapa de la combustión.

El mecanismo de la combustión se desconoce parcialmente, pero los datos del análisis Orsat muestran los valores finales para el proceso de combustión, lo cual permite calcular, con base en el modelo, los valores de temperatura esperados en cada una de las etapas (Gráfica 1). Los valores de temperatura esperados con las relaciones estequiométricas son superiores, puesto que en estos cálculos se admite una combustión total (Gráfica 2).

Con el modelo construido se varió la temperatura de entrada de la mezcla aire-combustible al motor desde el valor más bajo (Gráfica 3) hasta el valor más alto (Gráfica 4) permisible determinando que en este rango no influye significativamente en la combustión.

De igual forma se hizo variar el consumo en donde, al comparar las temperaturas máximas (Gráficas 5 y 6), al aumentar el trabajo del eje del motor el consumo se incrementa y la temperatura máxima en el cilindro, aumenta independientemente del porcentaje de nitrometano.

Por otro lado, al ver el consumo de combustible en función del porcentaje de nitrometano en la mezcla (Gráfica 7), se puede observar que existe una relación logarítmica (coeficiente de correlación 0.988) entre ambos, la cual, como en el análisis Orsat, tiende a un valor asintótico al aumentar el porcentaje de nitrometano.

Las gráficas del análisis Orsat para el oxígeno, dióxido de carbono y nitrógeno (ver gráficas 8, 9 y 10), dadas para los promedios, en los porcentajes de volumen de los gases de emisión del motor después de la combustión, muestran un comportamiento similar para todos los gases con una fuerte variación entre cero y quince por ciento de nitrometano en el combustible y variaciones menos significativas en los valores subsiguientes.

Los valores de  $C_p$  se comportan logarítmicamente con la composición (ver hoja de cálculo) al aumentar el porcentaje de nitrometano, por lo que baja la temperatura de combustión, esta comparación es muy simple en este caso porque los calores de combustión del metanol y el nitrometano son muy similares.

## IX. CONCLUSIONES

- A. El aceite se comienza a quemar antes de que terminen de comprimirse los gases, antes de que combustione el nitrometano y en metanol (ver tabla 1 en apéndice).
- B. El aumento de nitrometano baja la temperatura de combustión en una mezcla nitrometano-metanol (ver gráfica 1), manteniendo el trabajo de eje constante.
- C. El aumento de nitrometano en la mezcla nitrometano-metanol disminuye el consumo de combustible (ver gráfica 2), manteniendo el trabajo de eje constante.
- D. El aumento del nitrometano en la mezcla nitrometano-metanol hace que se estabilice más rápido el motor bajo las mismas condiciones de trabajo iniciales.

## X. RECOMENDACIONES

- A. El modelo presentado en este trabajo es lo suficientemente real como para poder calcular eficiencias mecánicas de motores que funcionen con mezclas de nitrometano-metanol, como también para calcular mezclas nitrometano-metanol en motores específicos para necesidades específicas, por lo que se recomienda emplearlo en la práctica, únicamente ingresando las condiciones deseadas.
  
- B. Tratar de proponer un mecanismo por radicales libres para la combustión de la mezcla nitrometano-metanol, y ver cómo actúa en este del nitrometano.

## XI. FUENTES CITADAS

Emerging Energy and Chemical Applications of Methanol: Opportunities and Developing Countries. The World Bank. 1982 Washington D.C.

Federation Aeronautique International Bouletine. F.A.I Paris France 1994.

Francis, W. Los combustibles y su tecnología. Ediciones Urmo. España 1969

Future Automotive Fuels. Joseph M. Colucci and Nicholas E. Gallopoulos. General Motors Research Laboratories New York U.S.A. 1977

Motores de combustión interna. Jaime Gilardi. Editorial Interamericano de Ciencias, San José, Costa Rica 1978

Engine Performance and Exhaust emission Characteristics of a Methanol-Fueled Automobile. W.E. Bernhardt and W. Lee  
Volkswagen werk A.G. Wolfsburg, Germany 1974

Combustibles. Círculo Aéreo. Editorial Círculo Aéreo. Guatemala. Guatemala. 1994

E.C. Robertson, Roy Herbert. Fuel, The Conquest of Man's Environment. Science Today. Harper and Row Publisher N.Y. U.S.A. 1963 89pp.

Nelson Wilburg Lundine Petroleum Refinery Engineering. 4 ed. Mc. Graw Hill Book Company. International Student Edition N.Y. U.S.A. 1958 126pp.

E. J. Crosby Experimentos Sobre Fenómenos de Transporte en las Operaciones Unitarias de la Industria Química. Editorial Hispanoamericana S.A. Buenos Aires. Argentina. 1968. 191 pp.

Denis Hayes Perspectivas Energéticas Mundiales. Ediciones Tres Tiempos S.R.L. Buenos Aires. Argentina. 1981. 187pp

The Merck Index. 10 ed. Merck Co. Inc. Rahway N.Y. U.S.A. 1983, 4pp.

The Sigma Aldrich Library Chemical Safety Data. 2 ed. Vol. 1 Edit by Robert E. Lenga. Sigma-Aldrich Corp. U.S.A. 1988, 3pp

E. Richard Booser C.R.C. Handbook of Lubrication. Vol. 1  
C.R.C. Press Boca Raton Florida. U.S.A. 1983 190 pp.

Tecnología Química 1 ed. español, Vol. 8, Uthea Mexico 1962 939 pp.

Comunicaciones personales:

- Dr. Julio Quevédo.- Javier Sánchez. Freedom hobbies.

## APÉNDICE

Tabla # 1: Flash Point y Temperaturas de ignición:

	Flash point ( C)	Temp. de Ignición ( C)
Metanol	12	470
Aceite de castor	230	449
Nítrometano	94	xxx

### Empleo del Aparato de Orsat:

1. A los niveles de líquidos en las ampollas absorbedoras se los ajusta en la forma siguiente: Abra la válvula para toma de muestra, y haga entrar unos 50 ml de aire en el aparato. Cierre la válvula. Comprima ligeramente al aire, sosteniendo el frasco de aspiración a una altura ligeramente mayor que el nivel de agua en la ampolla. Abra la válvula ubicada entre el colector y la primera ampolla, y haga descender el frasco de aspiración hasta que, lentamente, comience a subir reactivo por el interior de la pipeta. Se hace ascender el reactivo hasta el aforo en el extremo capilar de la pipeta, y se cierra la válvula. La pipeta tendría que estar completamente libre de burbujas de gas, que pudieran hallarse atrapadas. En la misma forma se ajustan los niveles de los otros reactivos, hasta los aforos de los respectivos capilares.

2. Se buscan las eventuales pérdidas en el aparato, procediendo en la siguiente forma: Cierre todas las válvulas y comprima ligeramente el aire en la ampolla, colocando el frasco de aspiración encima del aparato. De inmediato se procede a leer en la bureta y luego se repite la lectura una vez transcurridos dos minutos. Cualquier cambio que se produzca en la lectura indicada la existencia de una pérdida.
3. Al agua del frasco de aspiración se le reemplaza por agua saturada con el gas por analizar.
4. Se analiza una muestra de productos gaseosos de combustión, procediendo en la forma siguiente.. Enjuague la bureta con aire, aspirando unos 100 ml de gas, haciéndolos ingresar en ella y luego expúselos a la atmósfera.
5. Ahora haga entrar 100 ml de gas a la bureta. A la muestra se le empieza por hacer pasar por la pipeta que contiene la solución de hidróxido de sodio; para ello se abre la válvula correspondiente y se levanta el frasco de aspiración (será necesario prever que la muestra de gas resulte obligada a ingresar a la ampolla posterior de la pipeta). Una vez que la muestra ha sido totalmente transferida a la pipeta, se le deja permanecer en ella durante unos 30 segundos, y luego se le aspira nuevamente hacia la bureta. Entonces se hace pasar unas tres veces de uno a otro recipiente, y por último, procediendo con cuidado, se lo aspira a la bureta, haciendo que el nivel del líquido de la pipeta vuelva al aforo del capilar. Se procede entonces a leer el volumen del gas contenido en la bureta. Se repite entonces el procedimiento, primero con la bureta que contiene solución de pirogalato de sodio, y luego con la que contiene solución de cloruro cuproso. Al trabajar con cada uno de los reactivos, se

repite el contacto del gas en la respectiva ampolla, hasta que las lecturas de la bureta (antes y después del pasaje) sean coincidentes.

Observaciones: En todas las observaciones será necesario tener la precaución de que el respectivo reactivo no llegue hasta el capilar colector. Para ello, siempre que mueva el frasco de aspiración observe el nivel ascendente del reactivo. Por otra parte, los gases de combustión serán analizados buscando los componentes en el siguiente orden: dióxido de carbono, oxígeno y monóxido de carbono.

A los reactivos se les prepara tal como se indica:

1. Para dosar dióxido de carbono: se disuelve 315 g de hidróxido de sodio puro, en unos 500 ml de agua, y diluyendo luego hasta un litro.
2. Para dosar oxígeno: a la solución respectiva se le prepara en el acto mezclando 150 ml de solución (A) (de hidróxido de sodio) con 60 ml de solución (B), (de pirogalol). Las soluciones (A) y (B) se mantienen por separado sin mezclar, hasta el momento de su uso. A la solución (A) se la prepara disolviendo 500 g de hidróxido de sodio puro en 500 ml de agua; a la (B), se la prepara disolviendo 300 g de pirogalol (1,2,3-trihidroxibenceno) en unos 800 ml de agua, y diluyendo hasta 1 litro. Esta solución de pirogalato de sodio debe ser preparada poco tiempo antes de su empleo.
3. Para dosar monóxido de carbono: a la solución respectiva se la prepara disolviendo 75 g de cloruro cuproso puro, y 600 ml de ácido clorhídrico concentrado, en agua, hasta un volumen total de 1 litro de solución.

(Crosby, 1968)

Índice de compresión:

$$I_c = \frac{\text{Vol. carrera} - \text{Vol. cámara Comb}}{\text{Vol. cámara Comb}}$$

Capacidad Volumétrica o Cilindrada:

$$C.V. = \pi r^2 C N$$

C = carrera del pistón

N = numero de cilindros

Calor de Combustión iterativo para orsat:

$$D33 = ((169.4 * M8 * G8 / 100 + 170.9 * M8 * (1 - G8 / 100) / 32) * 1000 * 4.1875 - K33 * (H33 - F33)) * ((1 / N8^{0.2}) - 9/8 + 1 / N8^{0.8} + 3)$$

Calor de Combustion iterativo estequiometrico:

$$E33 = ((169.4 * M8 * G8 / 100 / 61 + 170.9 * M8 * (1 - G8 / 100) / 32) * 1000 * 4.1875 - J33 * (I33 - F33)) * ((1 / N8^{0.2}) - 9/8 + 1 / N8^{0.8} + 3)$$

Temperatura final de Compresion:

$$F33 = (B33 * (G\$24 / F\$24)^{-H\$29 / G33})$$

Cv para Compresion:

$$G33 = (((C33 - B\$41) + C\$23 / 2 * (C33^2 - B\$41^2) - D\$23 * (1 / C33 - 1 / B\$41))^{0.2} * (1 - N8) + (B\$24 * (C33 - B\$41) + C\$24 / 2 * (C33^2 - B\$41^2) - D\$24 * (1 / C33 - 1 / B\$41))^{0.8} * (1 - N8) + (B\$28 * (C33 - B\$41)) * N8 * (1 - G8 / 100) + (B\$29 * C33 - B\$41) * N8 * G8 / 100) / (C33 - B\$41) * 4.1875 - H\$29)$$

Cp para la Combustion estequiometrico:

$$J33 = (((B\$23 * (I33 - F33) + C\$23 / 2 * (I33^2 - F33^2) - D\$23 * (1 / I33 - 1 / F33))^{1 / N8^{0.2} - 9/8} + (B\$24 * (I33 - F33) + C\$24 / 2 * (I33^2 - F33^2) - D\$24 * (1 / I33 - 1 / F33))^{1 / N8^{0.8} + 1/4} + (B\$25 * (I33 - F33) + C\$25 / 2 * (I33^2 - F33^2) - D\$25 * (1 / I33 - 1 / F33))^{7/4}) / ((1 / N8 - 9/8 + 3)) / (I33 - F33) * 4.1875)$$

Cp para la Combustion orsat:

$$K33 = (((B\$23 * (H33 - F33) + C\$23 / 2 * (H33^2 - F33^2) - D\$23 * (1 / H33 - 1 / F33)) * D8 / 100 + (B\$24 * H33 - F33) + C\$24 * (H33^2 - F33^2) - D\$24 * (1 / H33 - 1 / F33)) * A8 / 100 + (B\$25 * (H33 - F33) + C\$25 / 2 * (H33^2 - F33^2) - D\$25 * (1 / H33 - 1 / F33))^{7/4} * C8 / 100 + (B\$27 * (H33 - F33) + C\$27 / 2 * (H33^2 - F33^2) - D\$27 * (1 / H33 - 1 / F33)) * C8 / 100) / (H33 - F33) * 4.1875)$$

Cv para la Expansion:

$$L33 = (((\$B\$23*(M33-I33) + \$C\$23*(M33^2-I33^2) - \$D\$23*(1/M33 - 1/I33)) * D8/100 + (\$B\$24*(M33-I33) + \$C\$24/2*(M33^2-I33^2) - \$D\$24*(1/M33 - 1/I33)) * A8/100 + (\$B\$25*(M33-I33) + \$C\$25/2*(M33^2-I33^2) - \$D\$25*(1/M33 - 1/I33)) * 7/4 * C8/100 + (\$B\$27*(M33-I33) + \$C\$27/2*(M33^2-I33^2) - \$D\$27*(1/M33 - 1/I33)) * C8/100) / (M33-I33) * 4.1875) - 8.3145$$

Temperatura del escape estequiometrica:

$$M33 = L8 = 273$$

temperatura del escape orsat:

$$N33 = ((H33 * ((0.8 * H8 * K8 / M8 / N8 / D8 * 100 / E8) * 82.058 / \$L\$29 / 0.8421)) ^ (-8.3145 / L33)) ^ (L33 + 8.3145))$$

Temperatura final orsat:

$$O33 = ((H33 * (\$L30 / \$L\$29)) ^ (-8.3145 / L33))$$

Composicion de nitrometano (g/g):

$$G8 = (\$F\$3 / \$F\$2 * (100 - F8 - O8) + \$F\$3 * F8 + \$F\$4 * O8) * 100 * F8$$

Densidad (g/ml):

$$H8 = (\$F\$2 * (100 - G8 - O8) + \$F\$3 * G8 + \$F\$4 * O8) / 100$$

Consumo (ml/min):

$$K8 = (\$K\$18 * E8 / 8500)$$

Masa molar:

$$M8 = (G8 * 61 + (100 - G8) * 32) / 100$$

Composicion aire/combustible:

$$N8 = ((H8 * (1 - O8 / 100) * K8 / M8 * 288 * 0.0821 / (340 / 760)) / (10.4049 / 1000 * E8 - H8 * (1 - O8 / 100) * K8 / M8 * 288 * 0.0821 / 640 / 760))$$

Temperatura en la compresion:

$$P15 = 12 * 0.9594 / 48.3125$$

Temperatura en la compresion:

$$P16 = ((0.9594 * \$K\$16 / \$M\$16 * 288 * 0.0821 / (640 / 760)))$$

Coefficiente A:

$$Q16 = (10.4049 / 1000 * \$E\$16)$$

Coefficiente A:

$$Q17 = P16 / (Q16 + P16)$$

Coefficiente B:

$$R16 = Q16 - P16$$

Coefficiente C:

$$S16 = P16 * 100 / (Q16)G$$





Gráfica de Orsal		CO <sub>2</sub>	nitro%	O <sub>2</sub>	nitro%	CO	%dillo	Nitrogeno	
0	0.9	0	18	0	0	0	1.2	79.9	
0	0	0	18.7	0	0	0	1.2	79.1	
0	1.2	0	17.6	0	0	0	1.3	79.9	
3.25	1.1	3.25	17.8	3.25	3.25	3.25	1.2	79.9	
3.25	1.6	3.25	19	3.25	3.25	3.25	1.2	78.2	
3.25	1.5	3.25	17.4	3.25	3.25	3.25	0.9	80.2	
7.5	1.9	7.5	17.5	7.5	7.5	7.5	0.8	79.8	
7.5	1.7	7.5	19.6	7.5	7.5	7.5	0.8	77.9	
7.5	1.9	7.5	19.4	7.5	7.5	7.5	1	77.7	
11.25	2.3	11.25	18.8	11.25	11.25	11.25	0.7	78.2	
11.25	2.4	11.25	18.9	11.25	11.25	11.25	0.8	78.1	
11.25	2.1	11.25	18.8	11.25	11.25	11.25	0.5	78.8	
15	2.7	15	18	15	15	15	0.4	78.9	
15	2.6	15	19.3	15	15	15	0.3	77.8	
15	2.3	15	19.5	15	15	15	0.4	77.8	
45	3	45	18.1	45	45	45	0.2	78.7	
45	3.2	45	19.6	45	45	45	0	77.2	
45	3.1	45	19.6	45	45	45	0.1	77.2	
Promedios para graficas:									
0	1.03333333	0	18.1	0	0	0	1.23333333	0	
3.25	1.4	3.25	18.0666667	3.25	3.25	3.25	1.1	79.6333333	
7.5	1.83333333	7.5	18.8333333	7.5	7.5	7.5	0.86666667	78.4666667	
11.25	2.26666667	11.25	18.8333333	11.25	11.25	11.25	0.6	79.3	
15	2.53333333	15	18.9333333	15	15	15	0.36666667	78.6333333	
45	3.1	45	19.1	45	45	45	0.1	77.7	
Gráfica:									
36	437	2529	48649	1215	35213	395	727437		
36	437	2652	36742	1187	19142	346	904397		
36	437	2489	08957	1226	15237	397	54748		
36	450	2343	41876	1110	00286	346	294009		
36	453	2260	01341	1060	23036	325	62119		
36	461	2164	22916	990	18985	258	004957		
36	459	2042	96784	981	568798	341	618351		
36	459	2076	7632	966	433564	333	843114		
36	459	2092	71266	963	086603	290	60475		
36	467	1716	51732	783	3846586	257	357001		
36	467	1721	85702	786	891332	258	968994		
36	436	748796	2556	97449	1212	868654	300	093105	c
36	459	13782	2070	78117	980	362322	322	021405	15
36	466	832673	1719	18717	795	137944	258	161988	45

(c)

4 5

DATOS ORIGINALES		DENSIDAD G/ML		VELOCIDAD		COMPO		DENSIDAD		COMPO		CONSUMO		TEMP		MASA			
ANÁLISIS ORSAT		METANOL		RPM		%NITRO		G/G		COMPO		C/MLMIN		C		MOLAR			
N2	CO	CO2	O2	CO2	O2	%NITRO	%NITRO	G/G	G/ML	COMPO	%NITRO	C/MLMIN	C	MASA	MOLAR				
80.46	0	0.69	16.85	0	0	0	0	0	0.83045	100	0	0	16.8	32					
81	0.6	0.6	17.8	0	0	0	0	0	0.83045	100	0	0	21.494118	32					
81.4	0	1.6	17	0	0	0	0	0	0.83045	100	0	0	21	32					
80.6	0.6	1.2	17.6	0	0	3.25	4.3717817	0.8455589	100	6.24	20.241176	0	67.5	33	267817				
80	1	1	16	0	0	7.5	9.9156906	0.8647186	100	12.486	19.558824	0		34	87555				
84.8	0.8	1	13.4	0	0	11.25	14.651801	0.8810866	100	25	18.447059	0		36	249022				
78.2	0	3	18.8	0	0	15	19.442028	0.8888716	100	18.75	13.676471	0		37	638188				
77	1	2.6	19.4	0	0	15	19.442028	0.8888716	100	16.75	16.411765	0		37	638188				
84	0	2	14	0	0	45	52.13774	1.001868	100	56.25	10.941176	0		47	119945				
78.2	0	3	18.8	0	0	45	52.13774	1.001868	100	56.25	10.941176	0		47	119945				
78.2	0	3	18.8	0	0	45	52.13774	1.001868	100	56.25	10.941176	0		47	119945				
PARAMETROS DE ENTALPIA																			
PARAMETROS DEL MOTOR																			
VOLUMENES																			
ARRIBA																			
ABAJA																			
CM <sup>3</sup>																			
10.40495																			
1.35717																			
CONDICIONES INICIALES PARA EL PROCESO																			
TEMPERATURA																			
288 K																			
PRESION																			
0.8421053 ATM																			
CONSTANTE DE GASES																			
8.3145 LJK/MOL																			
0.0821 LT-ATM/KMOL																			
TEMPERATURAS																			
%NITRO		INICIAL		t iteras compr		CALOR ITE		CALOR ITE		TI COMPRES		TI COMB		Cp COMBUS		Cv Expan.		T escape	
0	323	740	0	740	0	740	0	740	0	31.72609	35.789459	26.80634	273						
0	323	740	0	740	0	740	0	740	0	31.72609	35.502943	26.509078	273						
0	323	740	0	740	0	740	0	740	0	31.72609	36.495849	27.761839	340.5						
3.25	323	740	0	740	0	755	19.95826	2642.2162	2870.402	31.856229	35.707219	26.612635	273						
7.5	323	740	0	740	0	758	19.867187	2579.08	2770.9035	31.932583	35.296378	26.117384	273						
11.25	323	740	0	740	0	766	19.609727	2463.5957	2624.1077	32.004091	35.030304	25.820063	273						
15	323	740	0	740	0	764	19.682455	2349.4154	2597.9191	32.030551	37.049991	27.87781	273						
15	323	740	0	740	0	764	19.682455	2376.5996	2597.9191	32.030551	36.425567	27.207774	273						
15	323	740	0	740	0	764	19.682455	2392.214	2597.9191	32.030551	36.076327	27.143741	365.5						
45	323	740	0	740	0	772	19.44873	2022.8412	2192.9597	32.116994	36.483533	27.052397	273						
45	323	740	0	740	0	772	19.44873	2022.8412	2192.9597	32.116994	36.483533	27.239563	340.5						
ORSAT																			
ESTECHO																			
ESTECHO																			
ORSAT																			
experimenta																			
Datos para las Graficas:																			

50°C

COMPO	COMPO	% DE ACEITE	T Entrada	Artes comb	despues corr	despues exp	salida escape	% nitro	Consumo
COMWAIRE	0.1297647	25	39.95	470	1721.91	796.86	258.86	0	21
	0.1297647	25	39.35	470	2099.53	997.075	292.04	15	15
	0.1297647	25	49.05	470	2513.57	1240.94	403.348	45	12
	0.1119606	25							
	0.1033155	25							
	0.0926011	25							
	0.0899713	20							
	0.0899713	20							
	0.0648022	20							
	0.0648022	20							
Datos graficas									
% Nitro	T Entrada	Artes comb	despues corr	despues exp	salida escape	% nitro	Consumo		
0	39.95	470	1721.91	796.86	258.86	0	21		
15	39.35	470	2099.53	997.075	292.04	15	15		
45	49.05	470	2513.57	1240.94	403.348	45	12		
T escape									
674.55461	1503.2744	50	467	2554.4519	1230.2744	401.55461			
660.2205	1501.4827	50	467	2571.2942	1228.4827	387.2205			
676.57843	1514.3001	50	467	2514.0575	1241.3001	403.57843			
625.1986	1398.2857	50	482	2369.2162	1125.2857	352.1986			
604.50598	1348.4956	50	485	2306.08	1075.4956	331.50598			
536.592	1278.5311	50	493	2190.5967	1005.5311	263.592			
618.90694	1279.7583	50	491	2076.4154	1006.7583	345.90694			
613.36362	1275.3426	50	491	2103.5996	1002.3426	340.36362			
569.65539	1281.838	50	491	2119.214	1008.838	296.65539			
535.04099	1081.6332	50	499	1749.8412	808.63317	262.04099			
538.79996	1086.2958	50	499	1749.8412	813.29586	265.79996			
calculada	calculada								
orsat	orsat								
		0	467	2546.6012	1233.3524	397.45118			
		15	490.63945	2099.743	1005.9796	327.64198			
		45	498.57673	1749.8412	810.96451	263.92047			

1 2 3 4 5







% NITRO	grafica	crssat	estabiliza	mas rapido	estabilizmet
100	32.8336489	467.1372.98483	542.376364	127.403945	1701.36058
0	49.1703244	467.2676.40619	1211.03318	351.959838	3094.07708
0	49.1703244	467.2513.38065	1240.88924	403.417553	3094.07708
3.25	43.0892838	467.2356.81321	1117.9344	349.353616	2958.11211
7.5	41.8497002	467.2291.12978	1066.73671	328.129514	2756.07303
11.25	38.3200953	467.2168.48547	992.647531	258.905842	2601.92898
15	39.3182464	467.2049.22384	995.386674	343.202504	2577.74435
15	39.3182464	467.2083.1099	990.193336	335.384308	2577.74435
15	39.4917844	467.2099.32508	997.014008	292.113441	2578.08898
45	36.2507558	467.1716.66487	793.471035	257.393082	2165.46623
45	36.2507558	467.1722.00451	796.977705	259.002986	2165.46623
al arranque el mayor % de nitro se estabiliza mas rapido					
0	49.1703244	466.634608	2594.89352	1225.96121	377.688695
100	32.8336489	466.54791	1372.98483	542.376364	127.403945
15	39.3760924	466.725841	2077.21961	994.197673	323.566751
45	36.2507558	467.1719.33469	785.22437	258.198034	
0	39.3182464	466.588858	3094.07708	1225.96121	377.688695
100	38.3200953	466.586999	1701.36058	542.376364	127.403945
15	49.1703244	466.634608	2577.95923	994.197673	323.566751
45	36.1048707	466.636876	2165.46623	785.22437	258.198034







COMPO	% DE ACEITE	T fin expan	% NITRO	gráfica	501	1560 72275	646 160075	168 805346
	25	0	57 6434791	543	1937 92088	790 01525	195 794237	
	25	0	49 1703244	540	1854 87172	840 289598	242 829864	
	25	0	49 1703244	532	1769 05913	769 890615	211 797607	
	25	3 25	43 0892836	527	1749 88057	750 182658	203 865853	
	20	7 5	41 8497002	519	1710 91503	726 556173	160 436091	
	20	11 25	38 3200953	484	1906 05324	907 57785	305 818982	
	20	15	39 3182484	506	1752 78221	792 540798	252 540357	
	20	15	39 4917844	496	1855 42907	850 346261	234 542737	
	20	45	36 2507558	455	1806 17027	847 267212	280 269555	
	20	45	36 2507558	467	1722 00451	796 977706	259 002986	
Calculada								
Orsat			al arranque el mayor % de nitró se estabiliza más rapido					
		0	49 1703244	541	770068	1896 3963	815 142424	219 3101
		100	57 6434791	500	839885	1560 72275	646 160075	168 805346
		15	39 3760924	495	138105	1838 08817	850 154903	264 300692
		45	36 2507558	460	869767	1764 08739	822 122459	269 636271

1 2 3 4 5