

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Mecánica



**"Estudio Experimental sobre el Empleo
del Alcohol Etilico como Combustible
Complementario en los Motores Diesel
con Cámara de Inyección Directa"**

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

Percy Javier Lizarraga Goytendia

PROMOCION 1990-II

LIMA-PERU

1993

INDICE

PROLOGO

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1	El problema energético Peruano.....	1
1.2	Efecto de los MCI en la contaminación del medio ambiente.....	5
1.3	Empleo de alcohol etílico en los motores diesel.....	6

CAPITULO II

EL ALCOHOL ETILICO COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO EN LOS MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

2.1	El alcohol industrial.....	8
2.1.1	Fuentes de alcohol.....	8
2.1.2	Costo de la producción de alcohol.....	13
2.1.3	Propiedades físico - químicas del alcohol etílico anhidro.....	13
2.2	El alcohol etílico como alternativa energética en los MCI en el Perú.....	14
2.3	Empleo del alcohol etílico en los motores diesel.....	14
2.3.1	Motor híbrido diesel + alcohol.....	15
2.3.2	Alcohol con aditivos para el motor diesel.....	17
2.3.3	Modificación del sistema de lubricación.....	19
2.3.4	Desventajas técnicas de la sustitución del petróleo diesel por el alcohol con aditivo....	20
2.3.5	Ventajas técnicas de sustituir el petróleo	

diesel por alcohol aditivado.....	21
2.3.6 Mezcla de diesel + alcohol etílico.....	23

CAPITULO III

EMPLEO DEL ALCOHOL ETILICO COMO COMBUSTIBLE COMPLEMENTARIO Y LA FORMACION INTERNA DE LA MEZCLA EN LOS MOTORES DIESEL CON CAMARA DE INYECCION DIRECTA Y REGULACION DE LA PRESION INICIAL DE INYECCION

3.1 Variación de las principales propiedades físico - químicas del combustible al mezclar diesel + alcohol.....	24
3.1.1 Variación de la densidad del combustible.....	26
3.1.2 Variación de la relación estequiométrica aire-combustible.....	27
3.1.3 Variación del poder calorífico.....	29
3.1.4 Variación del número de cetano.....	30
3.1.5 Variación de la viscosidad cinemática.....	32
3.2 Características de la formación del dardo en el motor Perkins C4.236v.....	34
3.3 Formación de la mezcla en el motor Perkins C4.236v con cámara de inyección directa.....	38
3.4 Descripción general del sistema de regulación de la presión inicial de inyección.....	40
3.5 Influencia del tipo de bomba de inyección en la regulación de la presión inicial de inyección..	45
3.6 Influencia de las revoluciones del motor en la regulación de la presión inicial de inyección..	47

3.7	Influencia de la carga en la regulación de la presión inicial de inyección.....	49
-----	---	----

CAPITULO IV

METODOLOGIA EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DEL EMPLEO DEL ALCOHOL ETILICO COMO COMBUSTIBLE COMPLEMENTARIO

4.1	Descripción del banco experimental y de los sistemas complementarios para el suministro de alcohol etílico.....	51
4.1.1	Descripción del motor.....	53
4.1.2	Descripción del freno hidráulico.....	55
4.1.3	Sistema de suministro de combustible.....	58
4.1.4	Sistema de suministro de combustible complementario.....	60
4.1.4.1	Suministro de combustible complementario por gravedad a través del RND.....	60
4.1.4.2	Suministro de combustible complementario presurizado a través del RND.....	61
4.1.5	Sistema de suministro de aire.....	63
4.1.6	Sistema de medición de la carbonilla en los gases de escape.....	65
4.1.7	Accesorios adicionales.....	67
4.2	Metodología experimental de las pruebas.....	67
4.2.1	Características de carga.....	67
4.2.2	Característica de velocidad.....	73
4.2.3	Característica de regulación.....	73
4.3	Obtención de los datos y resultados.....	77

4.3.1	Magnitudes medidas durante las pruebas.....	77
4.3.2	Magnitudes y parámetros calculados del motor..	78

CAPITULO V

ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	111
CONCLUSIONES.....	117
RECOMENDACIONES.....	120
BIBLIOGRAFIA.....	122
APENDICE.	

PROLOGO

El presente trabajo forma parte del esfuerzo que se viene desempeñando en el Instituto de Motores de Combustión Interna (IMCI), donde actualmente se están desarrollando una serie de trabajos de investigación acerca de los diferentes problemas que se suscitan en los motores, prestando especial atención a la contaminación ambiental y ahorro de energía mediante el empleo de combustibles alternativos. El desarrollo de las diferentes pruebas de investigación se dan dentro del marco de cooperación científico tecnológica entre la Universidad Nacional de Ingeniería y la Universidad de la Amistad de Los Pueblos de Moscú. Los temas tratados en este trabajo se refieren al empleo del alcohol en los motores diesel y su contenido se describe en cinco capítulos detallados brevemente a continuación.

En el primer capítulo se hace una introducción acerca del problema de la energía obtenida de las reservas de petróleo del país, así como de los efectos contaminantes causados por los motores de combustión interna, planteando como una alternativa de solución el empleo del alcohol en los motores diesel.

En el segundo capítulo se verá las diferentes formas en las que se emplea el alcohol en los motores de ciclo diesel, así como las propiedades y formas de obtención de éste.

El tercer capítulo trata de explicar la influencia que ejerce la mezcla diesel + alcohol en el proceso de inyección, pulverización, formación interna de la mezcla y la forma como se realiza la absorción de combustible a través del RND.

En el cuarto capítulo se trata de dar una metodología general de trabajo en el banco de pruebas Newage, describiendo las diferentes partes que lo forman y los equipos utilizados en los ensayos.

En el quinto capítulo se hace un análisis comparativo de los resultados del motor al funcionar tanto con RND como sin RND a partir de los datos procesados.

Quiero aprovechar la oportunidad para agradecer a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo en especial a los ingenieros Guillermo Lira Cacho, Luis Lastra Espinoza, Andrés Valderrama Romero, así como a los miembros integrantes del IMCI.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1.- EL PROBLEMA ENERGETICO PERUANO

El Perú posee una tasa de crecimiento demográfico del 2.4% anual siendo ésta una de las más altas de América Latina, lo que se traduce en 600,000 nuevos peruanos a los cuáles hay que garantizarles un futuro, para que después se sumen a la fuerza de trabajo produciendo bienes y servicios que en forma creciente demandará nuestra población.

En un país en vías de desarrollo como el nuestro, se requiere un proyecto de plan nacional de desarrollo a largo plazo, se requiere aumentar la producción de bienes y servicios en proporción mayor a la del crecimiento de la población, es decir el PBI deberá crecer sostenidamente por encima del 2.4% anual.

Para dejar atrás la recesión, para lograr el sostenido crecimiento del PBI se requiere fuerza de trabajo adecuada, recursos financieros, materias primas, tecnología y energía. Todo esto tiene como fin resaltar la íntima relación entre desarrollo económico y la energía.

Se sabe pues, que para realizar cualquier actividad económica se requiere el empleo de energía tanto en la industria como en la actividad cotidiana del hombre.

Si se compara la serie histórica del crecimiento anual del PBI y del consumo de energía comercial, se aprecia la estrecha dependencia que hay, es decir cuando creció el PBI creció el consumo de energía, en una relación de casi 0.9% de energía por cada 1% de PBI. De ésto se desprende que si el PBI creciera anualmente en 4.5%, nivel considerado como razonable sería necesario que el consumo de energía creciera aproximadamente en 4%, y si el país no produjera suficiente energía, se tendría que importar el déficit.

Hasta ahora, la principal fuente de energía primaria en el Perú ha sido el petróleo tal como se muestra en la Fig. 1.1

Si no se realizan cambios profundos en la estructura de nuestro suministro energético se puede llegar al punto en que probablemente, el petróleo llegue a tener un peso de más del 57% en el año 2000.

Así como en el Perú en la mayoría de países del mundo, el petróleo es desde varias décadas la fuente de energía primaria, gracias a la gran abundancia de petróleo que apareció después de concluida la Segunda Guerra Mundial, producto del descubrimiento de inmensos yacimientos en Medio Oriente, causando la reducción del precio internacional del petróleo crudo, así en los años sesenta el crudo se cotizaba entre \$1.5 a \$2.0 el barril.

PRINCIPALES FUENTES DE ENERGIA EN EL PERU

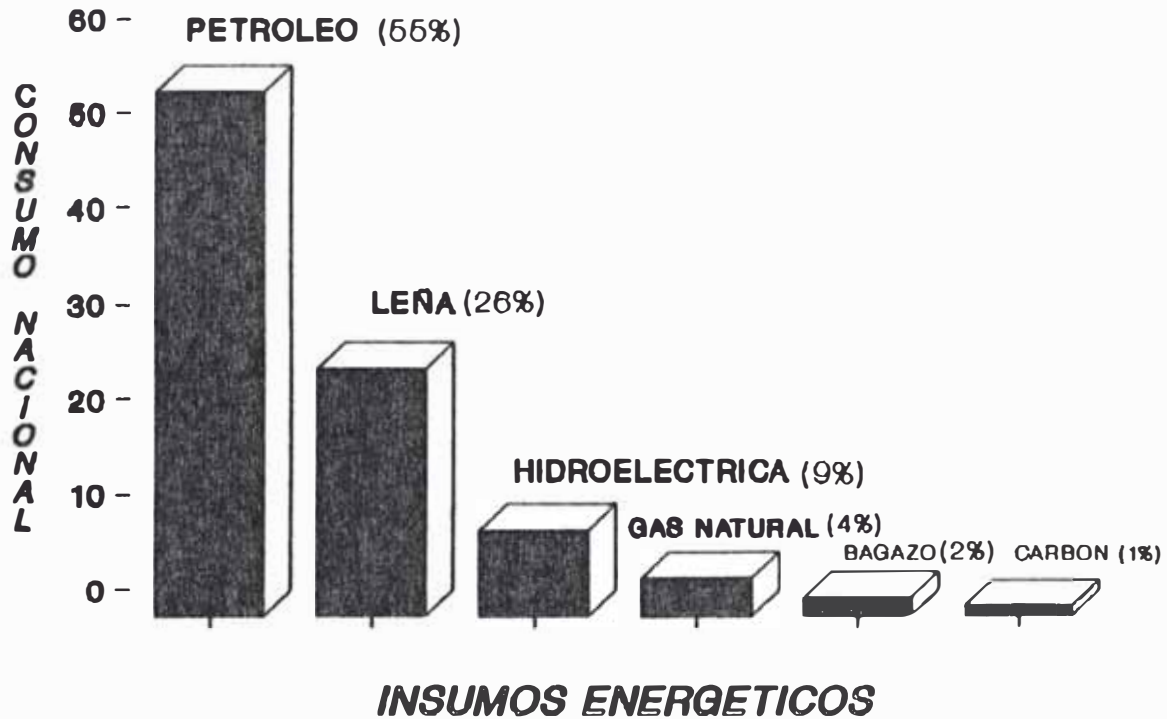


Fig. 1.1 Insumos energéticos más empleados en el país

Desde comienzos de siglo el Perú tuvo petróleo en volúmenes que superaban cómodamente la demanda nacional, gracias a al cual fue tradicional exportador. El abastecimiento del mercado nacional de derivados del petróleo fue satisfactorio hasta 1963, año en que al superar la demanda del país, la producción de crudo de los viejos campos de la costa norte, el país se convirtió en neto importador de petróleo.

En 1978 al ponerse en funcionamiento el oleoducto Nor-Peruano se pudo iniciar la explotación de los nuevos campos de petróleo de la selva norte, descubiertos a partir de 1971 con lo cual se recuperó la condición de exportador, sin embargo ya a fines de la década del 70, se observó la disminución de la actividad exploratoria, reduciendo las reservas desde un máximo de 835 millones de barriles alcanzada en 1981, hasta la crítica situación de 400 millones de barriles. En la actualidad la producción de petróleo ha descendido tanto, que el Perú es uno más de los países tradicionales que importa esta materia prima.

Los bajos precios de los derivados del petróleo de algún modo han impedido el empleo masivo de combustibles alternativos, que de usarse en nuestro país resolvería sino totalmente, por lo menos parcialmente el problema energético.

Los bajos precios internacionales de petróleo que se han mantenido en los últimos años han impedido que Petroperú pueda financiar un programa sostenido de exploración y explotación de nuevos yacimientos, por lo que nos encontramos con un bajísimo nivel de reservas probadas de petróleo, expresión dramática de nuestra crisis energética.

En resumen si no se descubren nuevos yacimientos de petróleo y no se ponen en explotación yacimientos con reservas probadas antes del final de la presente década, el

país gastará casi 5000 millones de dólares por importación de petróleo durante 10 años.

Una buena alternativa para dejar de depender en el largo plazo de crecientes y costosas importaciones de petróleo es el empleo de combustibles alternativos como el gas, alcohol, etc.

1.2.- EFECTO DE LOS MCI EN LA CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE

En las últimas décadas muchos países se han visto en la necesidad de hacer frente a un problema muy grave como es la contaminación del medio ambiente, originada por todos aquellos desperdicios que son arrojados indiscriminadamente por el hombre ocasionando el deterioro de la capa de ozono, de los mares, de los campos agrícolas y aumentando las enfermedades en las poblaciones.

De la contaminación total que sufre el medio ambiente un porcentaje sustantivo es producido por los gases de escape de los M.C.I. En 1936 en los Angeles se agravó el problema de la contaminación del medio ambiente cuando se detecto el llamado "smog", lo cual produjo programas de control y búsqueda de medios para disminuirla.

En los países industrializados y con gran número de automóviles, el problema de la protección del aire atmosférico se considera un problema social por lo que la solución tiene carácter de impostergable.

Estudios realizados en diversos países han establecido los efectos negativos de las emisiones tóxicas de los M.C.I. sobre el ser humano. Por ejemplo el monóxido de carbono (CO), provoca la disminución de las funciones de los centros activos de formación de la hemoglobina, motivo por el cual se quebrantan los procesos de oxigenación en el organismo. El bióxido de nitrógeno (NO₂) irrita el tejido mucoso, los ojos los pulmones, así como provoca el estado patológico de intranquilidad. Los hidrocarburos (CH) tienen olor desagradable y son los causantes de muchas enfermedades crónicas; de estos, la benzopirena es la más peligrosa de los hidrocarburos atribuyéndose a ésta propiedades cancerígenas. El bióxido de azufre (SO₂), ocasiona problemas en los órganos de circulación y además conduce a una disfunción en el intercambio de carbohidratos.

La contaminación por los gases de escape ocasiona desmedro en la crianza de animales y bajas en las cosechas especialmente en terrenos ubicados junto a grandes ciudades.

1.3.- EMPLEO DE ALCOHOL ETILICO EN LOS MOTORES DIESEL

En el presente trabajo se vera la posibilidad de sustituir un porcentaje de diesel 2 por alcohol etílico haciendo uso de un dispositivo llamado RND, mediante el cual es factible realizar la mezcla de ambos combustibles en la línea de alta presión, para luego ser introducido a

través del inyector a la cámara de combustión.

La justificación del presente estudio esta basada en el hecho que se puede sustituir parcialmente el diesel, que es un combustible no renovable, por alcohol etílico sin realizar mayores modificaciones en el motor, únicamente realizando la instalación del RND.

También al introducir la mezcla alcohol-diesel en la cámara de combustión se busca disminuir los índices de toxicidad evitando de esta manera la consecuente contaminación ambiental.

CAPITULO II

EL EMPLEO DEL ALCOHOL ETILICO COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO EN LOS MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

2.1.- EL ALCOHOL INDUSTRIAL.

El término alcohol, en el sentido con que aquí se emplea, denota exclusivamente al alcohol etílico C_2H_5OH . Este alcohol es un líquido incoloro, limpio y volátil, de olor etéreo y sabor picante, que tiene aplicaciones en la industria como disolvente, para la fabricación de acetaldehído y para muchos otros fines. Se usa mucho la mezcla de 95% de alcohol y 5% de agua; en ciertos casos se usa alcohol de 100% (alcohol absoluto).

2.1.1.- FUENTES DE ALCOHOL.

Se puede derivar el alcohol etílico de cuatro clases de materias primas:

- 1) Sustancias sacarinas que contienen azúcar, como la melaza, el sorgo, la remolacha y la caña de azúcar.
- 2) Sustancias feculentas, como granos de cereales, patatas, etc.
- 3) Sustancias celulósicas como la madera, resinas agrícolas y la solución de sulfito que sale de las fábricas de pulpa de papel, que contiene azúcares como resultado de la

hidrólisis de celulosa y hemicelulosa.

4) Hidrocarburos gaseosos que al realizarse la hidratación del etileno, o conversión de los gases en una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno, que luego se pasa sobre un catalizador de hidrogenación (procedimiento Fisher-Tropsch).

Con las tres primeras clases de materias primas se produce el alcohol por fermentación de azúcares con levadura. Las materias primas de la primera clase fermentan directamente. La segunda clase consta de hidratos de carbono complejo, como el almidón, que primero debe ser convertido en azúcares fermentables, mediante la acción de enzimas, empleando la malta, o por medio de mohos o de ácidos minerales. Las sustancias celulósicas de la tercera clase son convertidas en azúcares fermentables por hidrólisis con ácidos inorgánicos.

Con la cuarta clase de materias primas los procedimientos son del todo diferentes y no se utilizan micro-organismos, siendo consideradas las refinerías de petróleo como la mejor fuente de materia prima para la fabricación del alcohol etílico en base a la hidratación del etileno, ya que éstas emplean mezclas de etileno con otros subproductos gaseosos como combustibles para calderas.

Para poder obtener el etileno en gran escala se requiere llevar a cabo ciertas adaptaciones prácticas en la

refinería, siendo esto de suma importancia para la producción de alcohol, ya que si no se produjera la suficiente cantidad de etileno conforme a un planeamiento establecido, no podría funcionar con regularidad la fábrica de alcohol. Los datos sobre operaciones de craking catalítico de líquido en un paso único, indican que aproximadamente el 9% de la fracción de compuestos C₃ y fracciones más ligeras consta de etileno, estando el rendimiento de esta fracción entre el 6 y 14.5% de la carga. El craking en fase vapor puede producir un gas que contenga 20 a 25% de etileno y es posible obtener mayores porcentajes de éste con el craking de mezclas de etano y propano, o de fracción propano-butano del gas de los estabilizadores.

Si es suficientemente alto el contenido de etileno, no es necesario separar los hidrocarburos saturados, principalmente el metano y etano; pero sin embargo es preciso extraer la mayor parte de las olefinas superiores para evitar la polimerización excesiva.

Por razones de orden termodinámico, la hidratación directa del etileno para convertirlo en alcohol etílico produce conversiones bastante bajas, sin embargo, se puede efectuar indirectamente la reacción si primero se trata el etileno con ácido sulfúrico para formar ácido etilsulfúrico (sulfato de ácido de etilo) y sulfato dietílico.



Los ésteres tratados con agua se desdoblan en alcohol etílico y ácido sulfúrico.



Por regla general, se forma algo de éter por reacción entre alcohol etílico y el ácido etilsulfúrico no hidrolizado:



El proceso de explotación comercial se observa en la Fig. 2.1 en la que se presenta un esquema de fabricación del alcohol. Los gases que contienen etileno se ponen en contacto con ácido sulfúrico aproximadamente de un 97.5% de pureza, en la torre de absorción. Los gases de escape de la torre, después de ser lavados con sosa cáustica, pueden servir para combustible. El producto líquido de la torre de absorción, que contiene sulfato ácido de etilo y sulfato dietílico, pasa por un compartimiento de hidrólisis y luego a una columna donde se hidroliza más y se extraen todos los vapores de alcohol, éter y agua, después de lavado con sosa cáustica, se condensa y se envía a un tanque de almacenamiento de alcohol impuro. En el compartimiento de purificación de alcohol, una columna absorbe el éter, que se lava y vende como subproducto, luego se rectifica el

alcohol en una columna, de la que se recoge un producto muy puro. El ácido sulfúrico sale del sistema en forma de líquido negro y diluido procedente de la columna de despojo de alcohol.

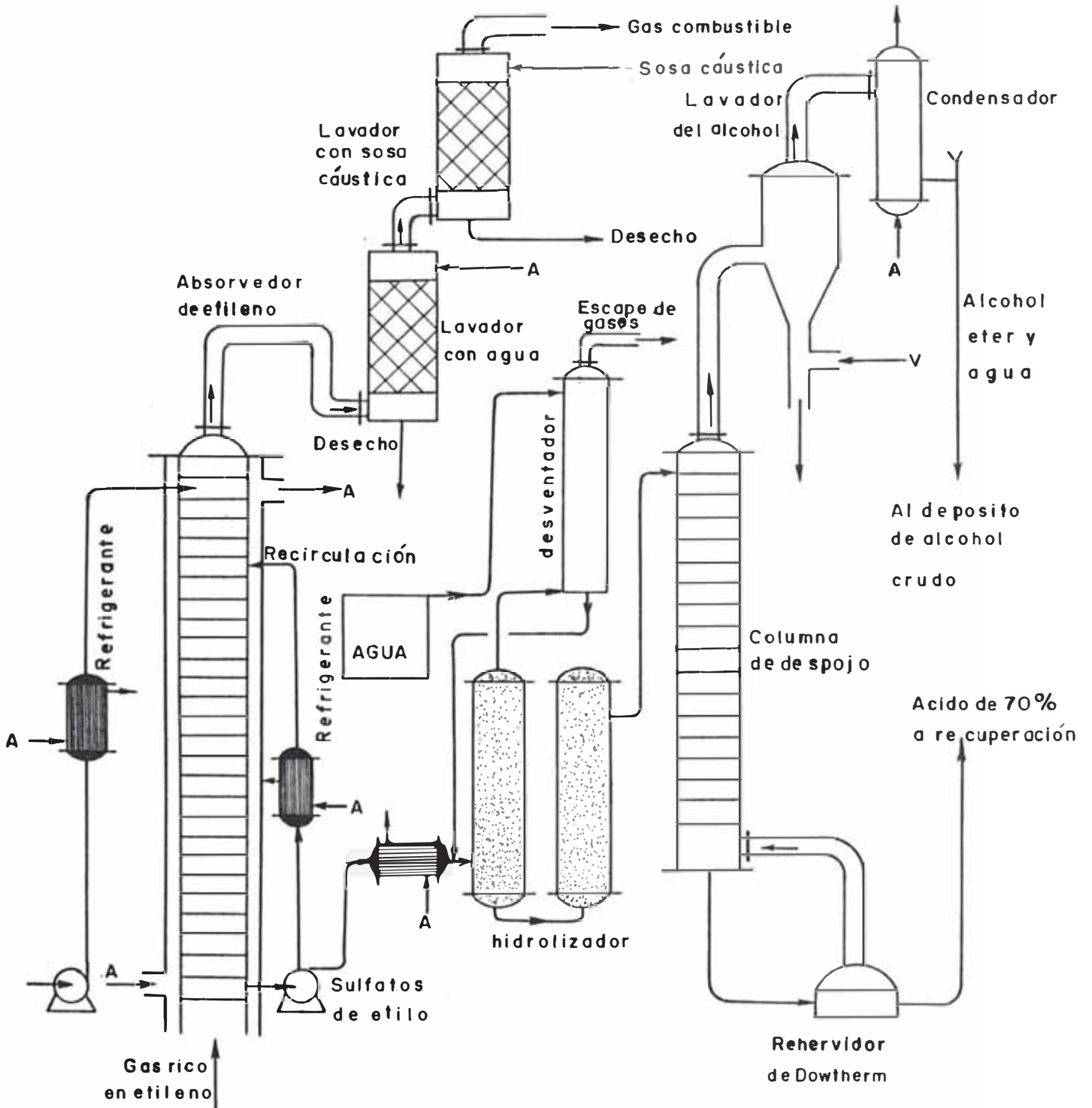


Fig. 2.1 Alcohol de etileno

2.2.- EL ALCOHOL ETILICO COMO ALTERNATIVA ENERGETICA EN LOS MOTORES DE COMBUSTION INTERNA EN EL PERU

En nuestro país así como en otras partes del mundo se ha visto la posibilidad de reemplazar, ya sea parcial o totalmente el petróleo y sus derivados por los llamados combustibles alternativos (no tradicionales) como el gas natural, el gas licuado de petróleo, la gasolina de bajo octanaje, el alcohol, etc.

En el país existen algunos proyectos no terminados acerca de la posibilidad de aumentar la producción de alcohol etílico en base a la fermentación de celulosa hidrolizada.

Petroperú ha realizado algunos proyectos de factibilidad del empleo de alcohol etílico anhidro en mezclas con gasolina para motores de encendido por chispa, sin embargo por primera vez en el Instituto de Motores de Combustión Interna de la UNI se ha iniciado el programa de investigación entre cuyos objetivos principales está el uso del alcohol como combustible alternativo en los motores diesel.

2.3.- EMPLEO DEL ALCOHOL ETILICO EN LOS MOTORES DIESEL.

De por sí el alcohol (etílico o metílico) no son muy apropiados para ser utilizados en motores encendidos por compresión ya que el combustible para alimentar un motor diesel deber de poseer un bajo número de octano y un alto

número de cetano.

Las características del alcohol son justamente contrarias a esto ya que posee un alto número de octano y un bajo número de cetano.

La Fig. 2.2 representa los índices de octano y cetano del alcohol comparados con la gasolina y el petróleo diesel.

El número mínimo de cetano que debe poseer un combustible para poder alimentar un motor de ciclo diesel es (40 a 46); como se puede ver en la Fig. 2.2 el alcohol tiene un número de cetano no mayor de 9. Sin embargo con algunos artificios tecnológicos el alcohol etílico o metílico puede utilizarse en estos motores.

2.3.1.- MOTOR HIBRIDO DIESEL + ALCOHOL

Un motor híbrido es aquel que funciona con el ciclo diesel y un carburador adicional ubicado en el colector de admisión.

Este motor es alimentado con una mezcla de alcohol + diesel, el petróleo diesel es suministrado normalmente a través de la bomba de inyección, el alcohol sera suministrado paralelamente a través del carburador adicional, este motor funciona en mayor parte como ciclo otto que como ciclo diesel propiamente dicho.

Un motor híbrido puede funcionar con una mezcla de

petróleo diesel contenido en un 80% de alcohol (80% alcohol + 20% diesel), el dosaje más conveniente desde el punto de vista económico es de 60% de alcohol y 40% de petróleo diesel.

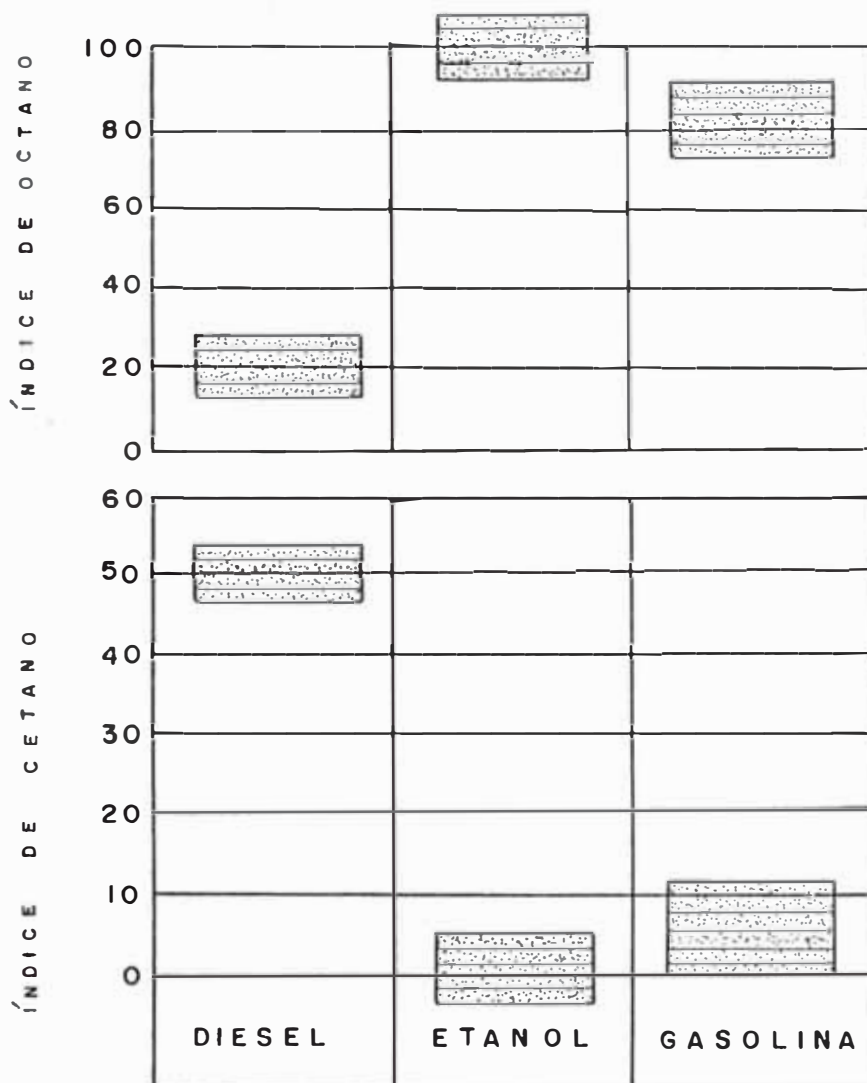


Fig. 2.2

La desventaja de este motor híbrido es que tiene un mayor consumo en relación al motor diesel, esto se debe a que el poder calorífico del alcohol es menor al del petróleo diesel tal como se observa en la Fig. 2.3

2.3.2.- ALCOHOL CON ADITIVOS PARA EL MOTOR DIESEL.

Otra solución para que el motor diesel sea alimentado con alcohol es mediante la aplicación de aditivos al combustible con la finalidad de aumentar su número de cetano.

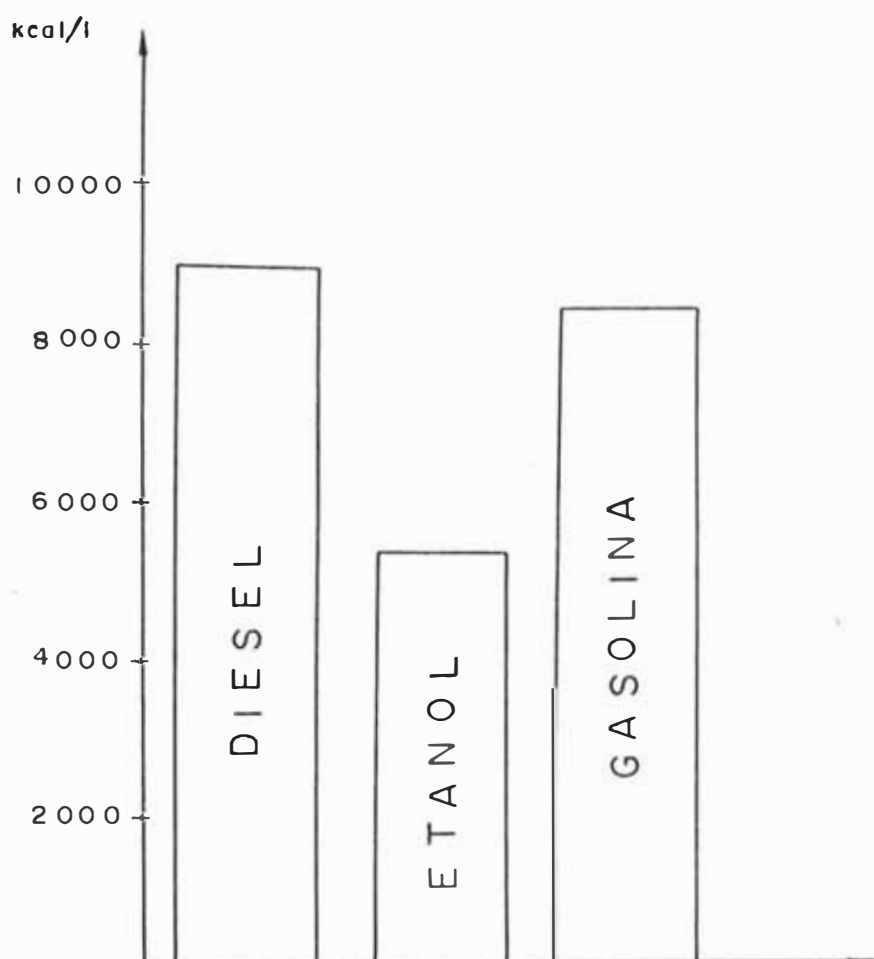


Fig. 2.3

Los aditivos más utilizados para incrementar el número de cetano son el nitrato de ciclo-hexila ($C_6H_{11}NO_3$) o el nitrato de amila $C_5H_{11}NO_3$. Estos aditivos presentan el inconveniente de tener un costo muy elevado.

El porcentaje mínimo de este aditivo que debe ser adicionado para que tenga un mínimo número de cetano indispensable para que el motor diesel pueda funcionar es de 8.5%

La Fig. 2.4 representa el porcentaje de aditivo adicionado al alcohol en función del número de cetano.

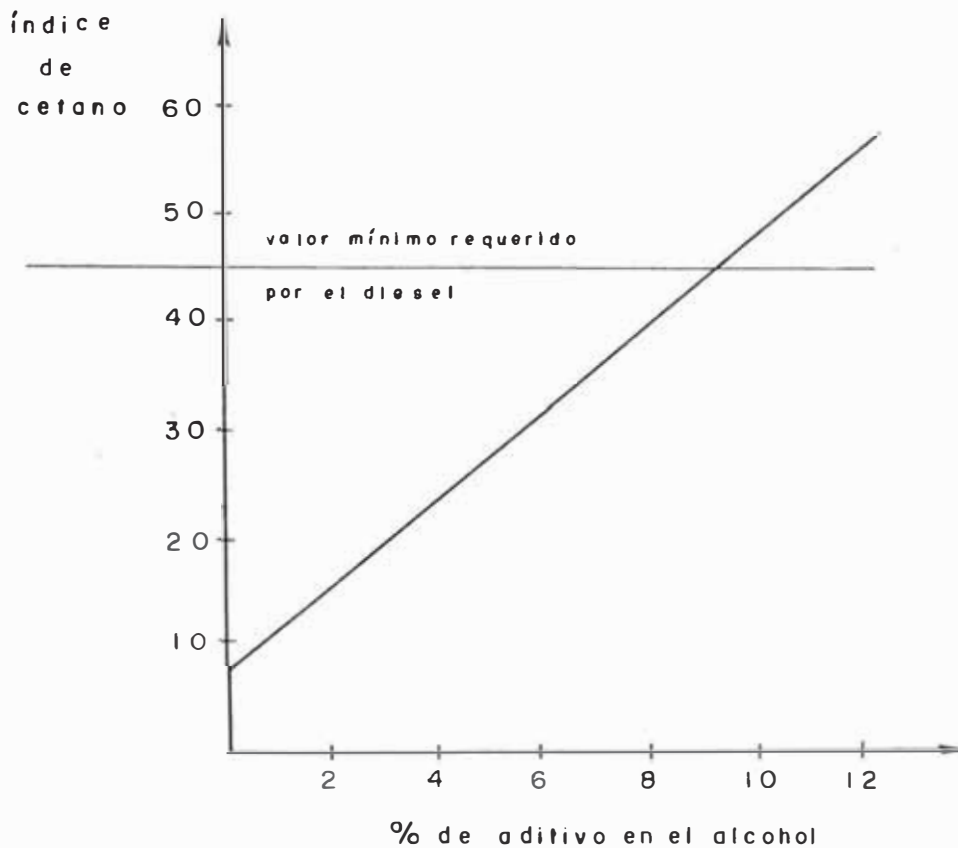


Fig. 2.4

Para que la bomba pueda funcionar con alcohol y aditivos es necesario que tenga las siguientes modificaciones.

- modificar el sistema de lubricación.
- nuevo dosaje de combustible.

El nuevo dosaje de combustible es necesario a causa de la diferencia del poder calorífico y las relaciones estequiométricas existentes entre la mezcla aire + diesel y aire + alcohol.

2.3.3.- MODIFICACION DEL SISTEMA DE LUBRICACION.

El sistema de lubricación de la bomba de inyección debe ser modificada ya que aquellas que utilizan petróleo diesel este mismo se utiliza para la lubricación del émbolo buzo debido a sus características lubricantes.

Para el caso del alcohol este no posee propiedades lubricantes es por esto que las bombas requieren recibir lubricación adicional.

Esta lubricación adicional es conseguida a través de un canal de lubricación por el cual se introduce una pequeña cantidad de lubricante no combustible.

La Fig. 2.5 representa la modificación de una bomba de inyección de un motor de alcohol.

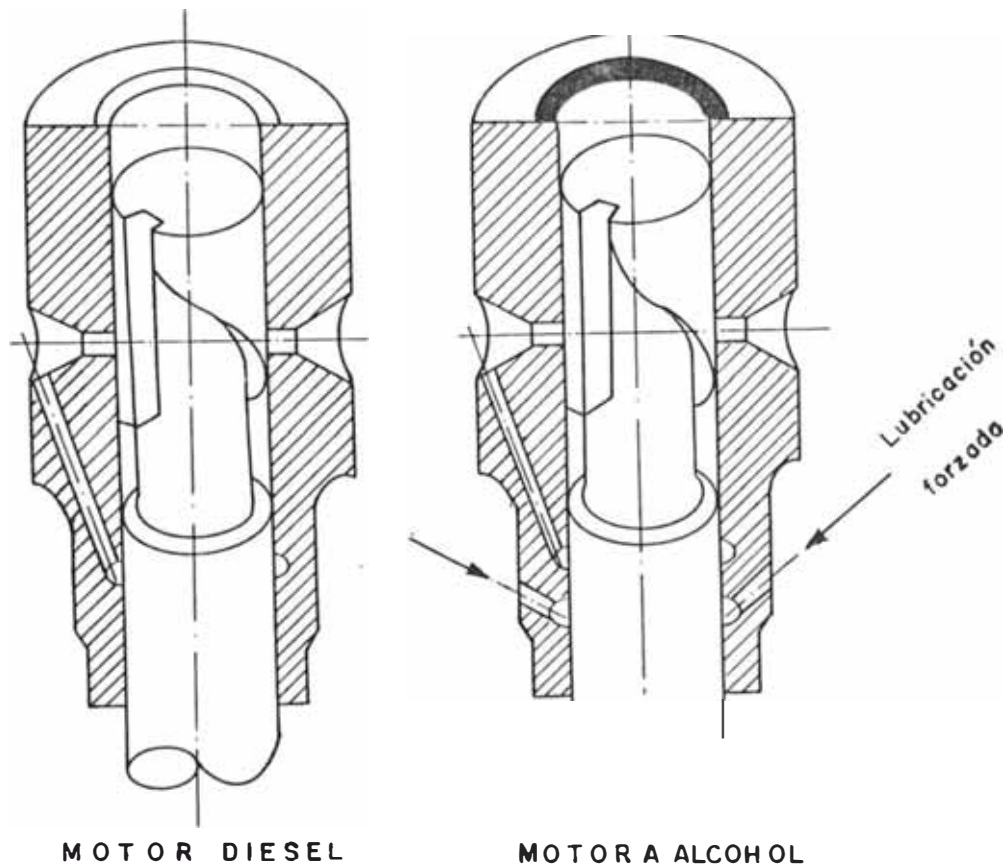


Fig. 2.5 Sistema de lubricación del embolo buzo

2.3.4.- DESVENTAJAS TECNICAS DE LA SUSTITUCION DEL PETROLEO DIESEL POR ALCOHOL CON ADITIVO

Un motor de ciclo diesel, al contrario del de ciclo otto, no puede tener su relación de compresión optimizada para funcionar con alcohol, porque en el ciclo otto cuando el motor es alimentado con alcohol en lugar de gasolina la relación de compresión puede pasar de 7.5/1 hasta 12/1, en cuanto que en el ciclo diesel se trabaja con relaciones de

compresión altas (de 16 a 22/1) y que no permite elevarla.

Esta imposibilidad de optimizar el motor presenta las siguientes desventajas.

- Menor potencia.
- Menor torque.
- Mayor consumo.

2.3.5.- VENTAJAS TECNICAS DE SUSTITUIR EL PETROLEO DIESEL POR ALCOHOL CON ADITIVOS

La sustitución del petróleo diesel por alcohol presenta las siguientes ventajas.

2.3.5.1.- Menor formación de residuos carbónicos en la cámara de combustión y válvulas.-

Durante la combustión de aire + alcohol debido a las características de su cadena carbonada la cantidad de residuos formados es menor que los residuos formados de la combustión aire + diesel.

Estos residuos debido a su abrasividad al depositarse en las paredes del cilindro crean ciertos inconvenientes al motor.

2.3.5.2.- Menor índice de humos.

El alcohol por poseer un átomo de oxígeno en la molécula, permite una combustión libre de carbonilla.

La Fig. 2.6 representa el nivel de humos (Bosch), en función de la frecuencia de rotación del motor alimentado con alcohol y con petróleo diesel, para un mismo régimen de trabajo.

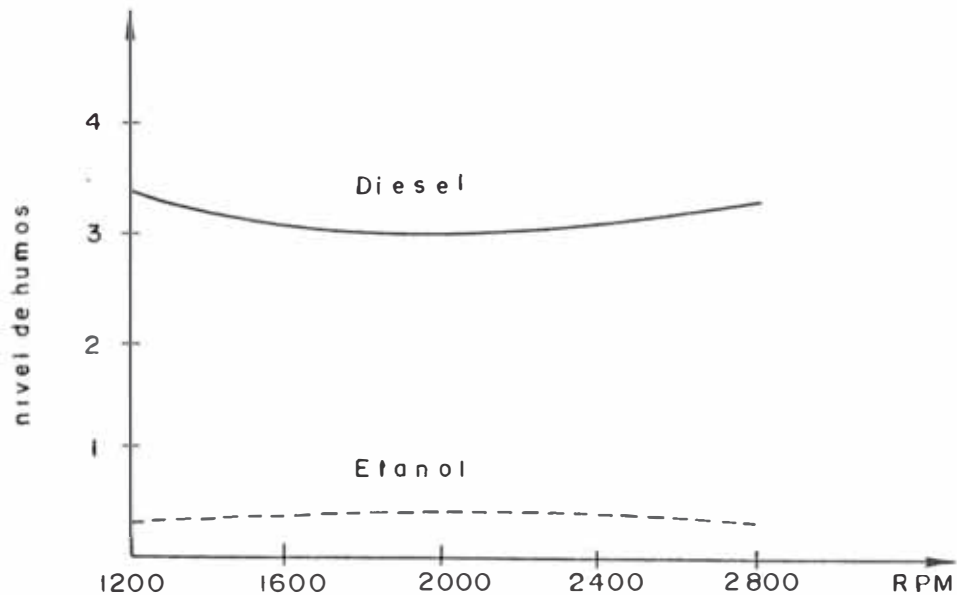


Fig. 2.6

La ventaja de los motores de ciclo diesel alimentados con alcohol, en relación al ciclo otto también alimentado con alcohol es que los motores de ciclo otto una vez convertidos para funcionar con alcohol, no puede volver a ser alimentado con gasolina a causa de las modificaciones realizadas, en cuanto que en los de ciclo diesel, para que opere nuevamente con diesel, basta que se modifique el

dosaje de la bomba.

2.3.6.- MEZCLA DE DIESEL + ALCOHOL ETILICO.

En principio el alcohol etílico no es misible con el petróleo diesel, pero sin embargo en pequeñas cantidades (max 4%) esto seria posible dependiendo siempre de la temperatura ambiental.

Para conseguir una mezcla estable de diesel + alcohol etílico seria necesario utilizar un emulsificador mecánico

CAPITULO III

EMPLEO DEL ALCOHOL ETILICO COMO COMBUSTIBLE COMPLEMENTARIO Y LA FORMACION INTERNA DE LA MEZCLA EN LOS MOTORES DIESEL CON CAMARA DE INYECCION DIRECTA Y REGULACION DE LA PRESION INICIAL DE INYECCION

Los motores diesel tienen la particularidad de que la mezcla aire-combustible se forma dentro del cilindro del motor, para luego reaccionar químicamente produciendo desprendimiento de calor, transformándose esta energía térmica en trabajo mecánico.

De lo anterior se aprecia la importancia que tiene la formación de la mezcla en el cilindro del motor ya que de ella dependerá la posterior combustión y un desarrollo pleno de esta.

La formación interna de la mezcla debe cumplir determinados requisitos dependiendo de las propiedades del combustible así como de los parámetros constructivos del motor.

En el presente trabajo se analiza la formación interna de la mezcla diesel + alcohol.

3.1.- VARIACION DE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL COMBUSTIBLE AL MEZCLAR DIESEL + ALCOHOL

Los combustibles tienen propiedades físico-químicas que caracterizan sus cualidades al ser usados en los MCI; así la composición química representada básicamente por el número de cetano influye en el período de retraso de la inflamación; en cuanto a las propiedades físicas se tiene la viscosidad y tensión superficial que intervienen en la calidad de pulverización del combustible, como también la volatilidad que interviene en la rapidez con que se evaporan las gotas de combustible para así mezclarse con el aire presente en la cámara de combustión.

Las propiedades físico-químicas del combustible nos garantizan un buen funcionamiento del motor, manifestándose en un arranque suave y rápido, con una emisión en los gases de escape libre de sustancias tóxicas y cancerígenas para el ser humano.

El combustible debe contribuir con la durabilidad del motor al disminuir el desgaste y corrosión de las piezas, se debe garantizar un mínimo consumo específico de combustible.

Es por esto que el diesel 2. tiene propiedades que se adecuan a los motores de encendido por compresión, luego al mezclar diesel + alcohol se analizarán como varían las diferentes propiedades que caracterizan a los combustibles.

En la Tabla 3.1 se muestran las principales propiedades del petróleo y del alcohol con lo cual se podrá determinar las propiedades de la mezcla para diferentes

porcentajes de alcohol.

TABLA 3.1

**PROPIEDADES PRINCIPALES DEL PETROLEO DIESEL Y DEL
ALCOHOL ETILICO**

PROPIEDADES	PETROLEO DIESEL 2	ALCOHOL ETILICO
Densidad gr/cm ³	0.862	0.785
Relación estequiométrica aire	14.45	9.073
Poder calorífico bajo MJ/Kg	42.68	26.89
Viscosidad cinemática, cst	4.62	1.55
Número de cetano	49	7 - 9

*Fuente: Petroperú refinería de la Pampilla

3.1.1.- VARIACION DE LA DENSIDAD DEL COMBUSTIBLE

La densidad del combustible influye en el proceso de inyección y formación de la mezcla, así al tener valores altos se produce una mayor penetración del dardo, pero esto no siempre es conveniente ya que el dardo puede llegar a mojar las paredes del cilindro ocasionando el lavado del aceite y el traspaso de una porción de combustible hacia el carter del motor deteriorando las propiedades lubricantes del aceite; consecuentemente empeora la formación de la mezcla aumentando la emisión de humos en los gases de escape.

Por otro lado una densidad muy baja origina una disminución en la velocidad del combustible pulverizado dando como resultado que el combustible se vaporice sin llegar a las zonas mas alejadas de la cámara, por tanto no se aprovecha totalmente el aire, además se produce un aumento del consumo específico de combustible, bajando la potencia del motor y produciendo un aumento en la emisión de humos.

La densidad de la mezcla se puede calcular a partir de la siguiente fórmula.

$$\rho_m = \rho_{a1}X + \rho_D(1-X)$$

donde:

ρ_m : Densidad de la mezcla

ρ_D : Densidad del petróleo diesel 2.

ρ_{a1} : Densidad del alcohol

X : Porcentaje de alcohol en la mezcla (EN VOLUMEN)

En el Fig. 3.1 se muestra la variación de la densidad de la mezcla en función del porcentaje de alcohol

3.1.2.- VARIACION DE LA RELACION ESTEQUIOMETRICA AIRE-COMBUSTIBLE

La relación estequiométrica aire-combustible nos representa la mínima cantidad de oxígeno presente en el aire atmosférico que se necesita suministrar al combustible para su completa oxidación.

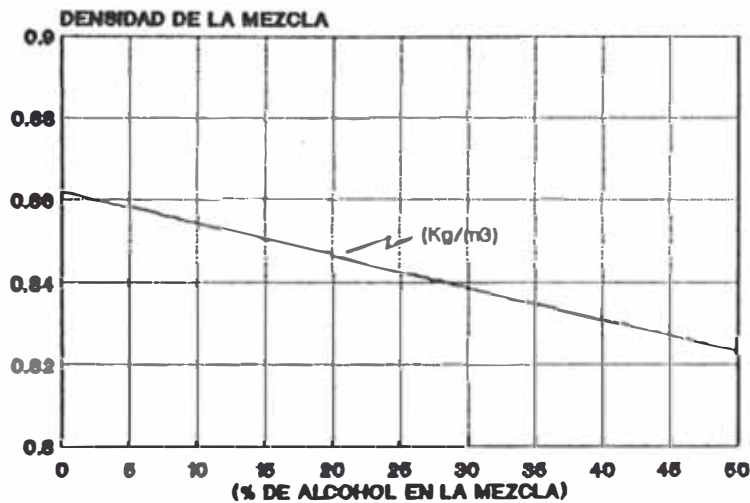


Fig. 3.1

La variación de la relación estequiométrica aire combustible al mezclar diferentes porcentajes de alcohol en petróleo diesel se puede determinar con la siguiente fórmula

$$l_{om} = \frac{l_{oa1}\rho_{a1}X + l_{op}\rho_p(1-X)}{\rho_{a1}X + \rho_p(1-X)}$$

donde:

l_{om} : relación estequiométrica de la mezcla petróleo alcohol

l_{oa1} : relación estequiométrica del alcohol

l_{op} : relación estequiométrica del petróleo

X : porcentaje de alcohol en la mezcla (EN MASA)

En la Fig. 3.2 se muestra la variación de la relación estequiométrica de la mezcla diesel + alcohol

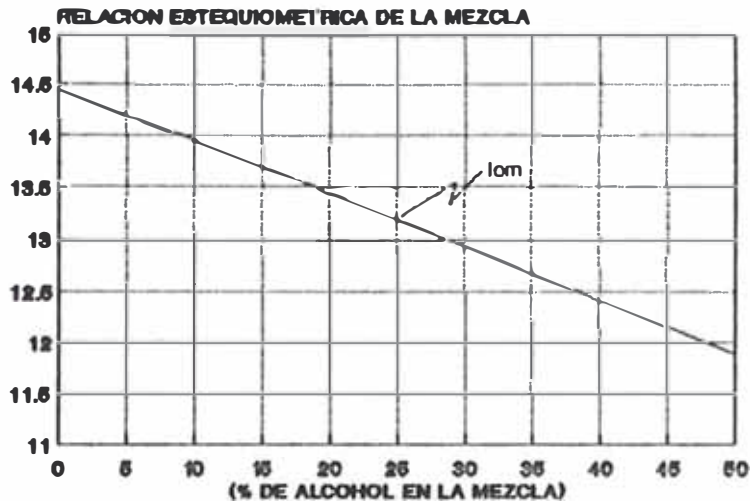


Fig. 3.2

3.1.3.- VARIACION DEL PODER CALORIFICO

Se entiende como poder calorífico bajo a la cantidad de calor que entrega un combustible al quemarse completamente, produciendo vapor de agua en los productos por cada unidad de masa. El poder calorífico también nos da la cualidad energética de un combustible, ya que mientras mayor sea el poder calorífico, mayor será el rendimiento térmico y la potencia producida por el motor.

El poder calorífico de la mezcla se puede calcular a partir de la siguiente fórmula:

donde:

$$Hu_m = \frac{Hu_{a1}\rho_{a1}X + Hu_p\rho_p(1-X)}{\rho_{a1}X + \rho_p(1-X)}$$

Hu_m : poder calorífico de la mezcla alcohol + diesel

Hu_p : poder calorífico del petróleo diesel 2.

Hu_{a1} : poder calorífico del alcohol etílico

X : porcentaje de alcohol en la mezcla (EN MASA)

En la Fig. 3.3 se muestra la variación del poder calorífico de la mezcla en función del porcentaje de alcohol

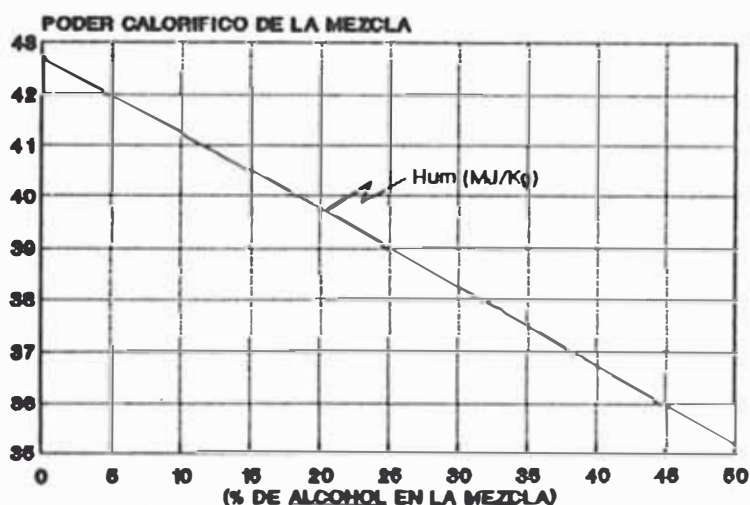


Fig. 3.3

3.1.4.- VARIACION DEL NUMERO DE CETANO

El número de cetano representa la facilidad que tiene un combustible para inflamarse al entrar en contacto con el aire caliente y comprimido del motor.

El número de cetano se determina por la duración del retardo de la inflamación, es decir cuanto mayor sea el número de cetano tanto menor será el retardo de la inflamación, esta propiedad ejerce influencia sobre los parámetros indicados del motor ya que dependiendo del NC se modificará el período de retraso de la inflamación. Actualmente la tendencia es elevar el valor del NC agregando en pequeñas cantidades aditivos como nitratos, nitritos y diferentes tipos de peróxidos.

Para determinar el número de cetano se aplica diferentes métodos probando en motores monocilíndricos estandarizados especiales; para esto se utiliza dos combustibles químicamente puros como patrón, el cetano $C_{18}H_{34}$ que se inflama fácilmente (NC=100) y el α -metilnaftaleno $C_{10}H_7CH_3$ que se inflama con dificultad (NC=0), para un buen trabajo del motor es recomendable que el número de cetano este comprendido entre 45 a 50.

En el funcionamiento del motor se observa que un bajo número de cetano se traduce en un funcionamiento rígido mientras que un número de cetano alto produce el funcionamiento más suave, aunque con una disminución de la potencia y mayor consumo de combustible.

El número de cetano de la mezcla diesel + alcohol puede calcularse a partir de la siguiente fórmula

$$NC_m = \frac{NC_{a1}\rho_{a1}X + NC_p\rho_p(1-X)}{\rho_{a1}X + \rho_p(1-X)}$$

donde:

NC_m : número de cetano de la mezcla

NC_p : número de cetano del petróleo

NC_a : número de cetano del alcohol

X : porcentaje de alcohol en la mezcla

En la Fig. 3.4 se muestra la variación del número de cetano de la mezcla en función del porcentaje de alcohol.

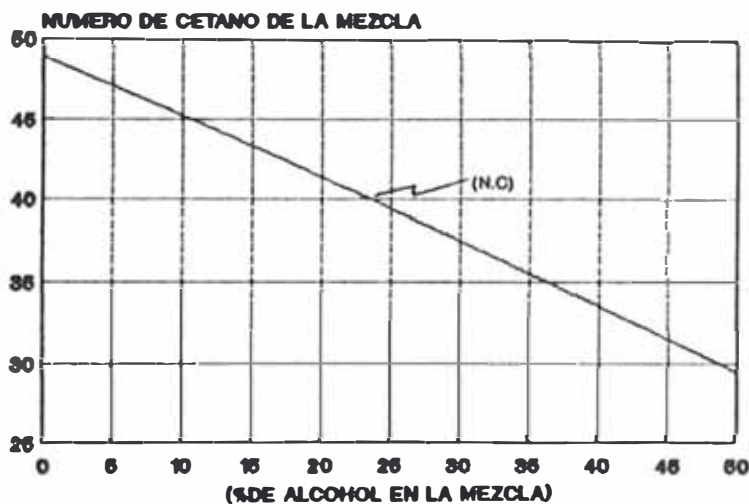


Fig. 3.4

3.1.5.- VARIACION DE LA VISCOSIDAD CINEMATICA

La viscosidad es aquella propiedad por la cual un fluido ofrece resistencia a los esfuerzos cortantes traduciéndose esto en la dificultad que ofrece el fluido a chorrear, esta propiedad es muy importante en los combustibles ya que influye sobre la calidad de pulverización, formación de la mezcla, así como también en

la lubricación de los elementos de la bomba de inyección.

La variación de la viscosidad de la mezcla diesel + alcohol se puede calcular a partir de la siguiente fórmula

APROXIMADA:

$$v_m = \left(\frac{X}{v_{al}} + \frac{1-X}{v_p} \right)^{-1}$$

donde:

v_m : viscosidad de la mezcla alcohol y diesel

v_p : viscosidad del petróleo diesel 2.

v_{al} : viscosidad del alcohol

X : porcentaje de alcohol en la mezcla

La variación de las propiedades de la mezcla alcohol + diesel se mezcla en la Fig. 3.5

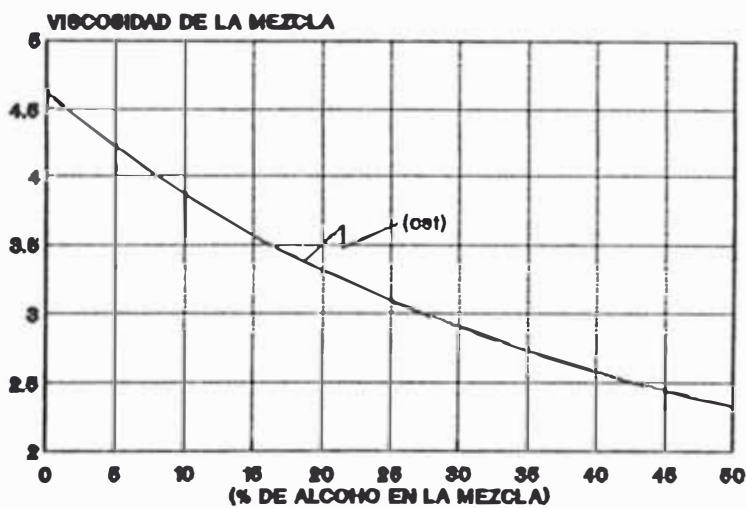


Fig. 3.5

3.2.- CARACTERISTICAS DE LA FORMACION DEL DARDO EN EL MOTOR PERKINS C4.236v

Al realizar la inyección en la cámara de combustión el conjunto de gotas que se acumulan a la salida de la tobera en este proceso se le denomina dardo el cual en su estructura básica tiene dos zonas, la central o núcleo donde se presentan las gotas más grandes y con mayor velocidad, y la externa en la que las gotas son mas pequeñas y poseen una menor velocidad.

Este tipo de dardo se presenta en los inyectores de tipo cerrado sin tetón con orificios de salida tal como el que tiene el motor Perkins C4.236v, caracterizándose la forma del dardo por su longitud y el ancho, en el que la distribución de gotas tanto en número como en tamaño es bastante desigual.

Las gotas poseen energía cinética la cual juega un papel importante en el mezclado con el aire circundante en la cámara lo que origina un flujo turbulento en el que las gotas se evaporan y son reemplazadas a su vez por nuevas gotas con la velocidad suficiente.

En la mezcla diesel + alcohol al aumentar el porcentaje de alcohol la densidad tiende a disminuir lo que conduce a que disminuyan la velocidad de las gotas y la penetración del dardo. Otro factor que se ve disminuido al aumentar el porcentaje de alcohol en la mezcla es la viscosidad originando que las dimensiones de las gotas y la

penetración del dardo también disminuyan.

Es importante considerar el hecho que el alcohol no es misible con el diesel sino que al momento de ser inyectado se encuentra mezclado en pequeñas burbujas encerrado dentro de una gota de petróleo, debido a que la tensión superficial del petróleo es mayor que la del alcohol.

Para un mejor mezclado del combustible con el aire de la cámara los dardos del inyector presentan diferentes formas y dimensiones, siendo dos de los dardos de mayor longitud permitiendo esto que se llegue a las zonas mas alejadas de la cámara y los otros dos dardos de menor longitud con lo que se garantiza una mejor distribución de los cuatro dardos en la cámara de combustión tal como se muestra en la Fig. 3.6

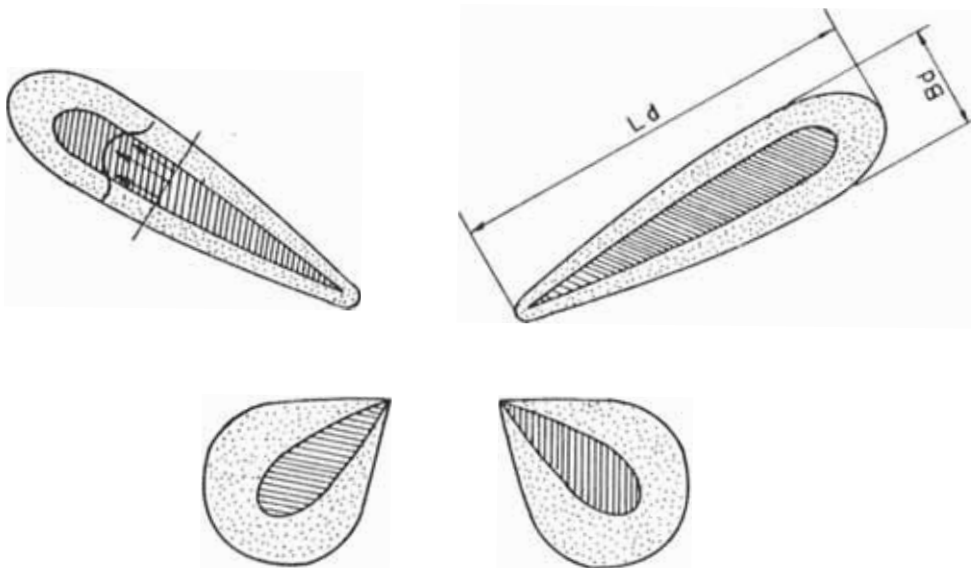


Fig. 3.6 Distribución de los dardos en la cámara

La presión a la que se produce la inyección también juega un papel importante en la formación de la mezcla, ya que ejerce influencia en la formación y penetración del dardo así como en la energía cinética de las gotas de combustible pulverizado. Al aumentar la presión se tendrá una mayor estrangulación en el combustible, la aguja del inyector tardará más en levantarse, originando una disminución en la cantidad de combustible que pasa a través de los orificios de pulverización por lo que el consumo horario de combustible será menor, sin embargo habrá una mayor penetración del dardo debido al incremento de la energía cinética de las gotas de combustible pulverizado, las gotas poseerán menor tamaño contribuyendo favorablemente a que las mismas se evaporen más fácilmente y mezclen con el aire de la cámara por consiguiente α será mayor y el número de Bosch disminuirá, lo cual no siempre es ventajoso ya que al ingresar menos combustible se tendrá una menor potencia, al contrario al disminuir la presión de inicio de la inyección el combustible ingresará antes, ya que la aguja se levanta más rápidamente, pero las gotas de combustible entrarán a una menor velocidad, el estrangulamiento será menor ingresando mayor cantidad de combustible teniendo por consiguiente un mayor consumo horario de combustible, pero al haber mayor combustible en el cilindro la potencia se verá incrementada, la mezcla se enriquecerá disminuyendo el valor de α , las gotas de combustible al tener un mayor tamaño se dificultará su correcto mezclado con el aire, aumentando el número de

bosch. Pruebas de regulación de la presión en el inyector se han realizado en el motor monocilíndrico con cámara de inyección directa Petter Lister obteniéndose resultados que se muestran en la Fig. 3.7

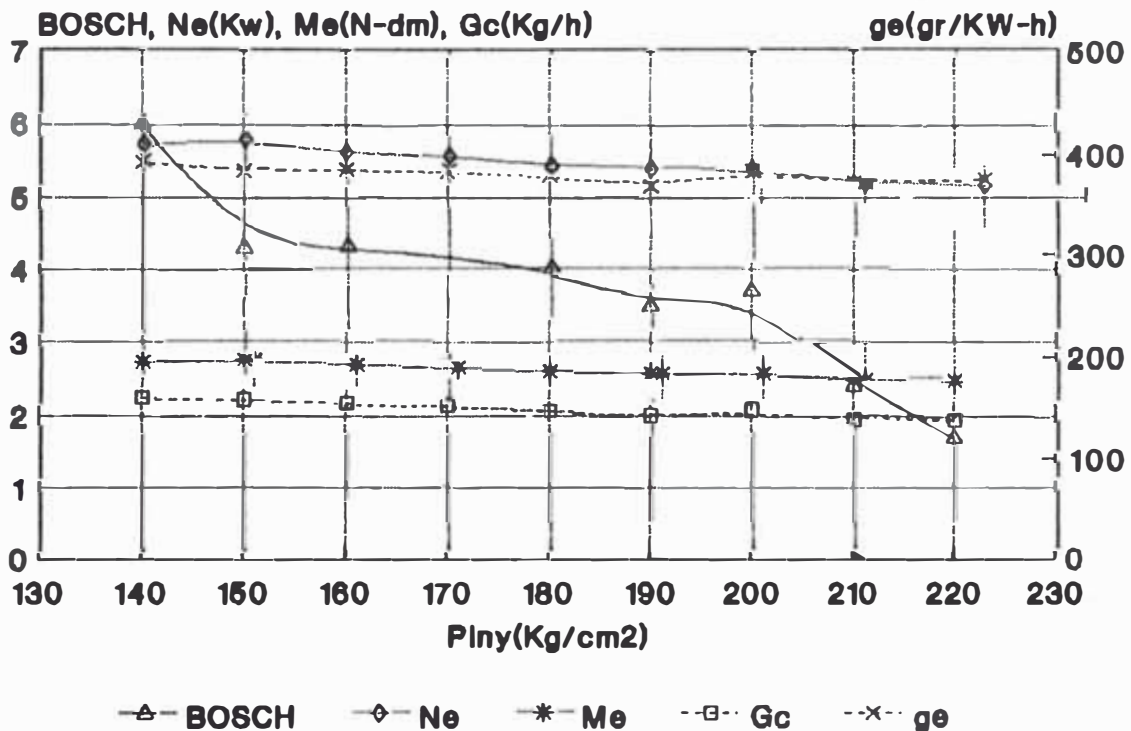


Fig. 3.7 Características de regulación del motor Petter

De este gráfico se puede apreciar que si las propiedades físicas del combustible como la densidad, viscosidad, etc. no contribuyen a una buena formación en el dardo, empeorando los índices explotacionales del motor, esto puede ser compensado con una variación en la presión del inyector, logrando mejorar sustancialmente estos índices.

3.3.- FORMACION DE LA MEZCLA EN EL MOTOR PERKINS C4.236v CON CAMARA DE INYECCION DIRECTA

El tipo de cámara del motor Perkins C4.236v es de inyección directa, formada por dos semiesferas descentradas con respecto al eje central del pistón tal como se muestra en la Fig. 3.8 en el que la formación de la mezcla es de tipo volumétrica, es decir la evaporación de las gotas de combustible y su posterior mezclado con el aire se da en todo el volumen de la cámara por la energía cinética del combustible pulverizado y la turbulencia del aire debido al tipo de cámara y la forma en que ingresa esté a través del múltiple de admisión.

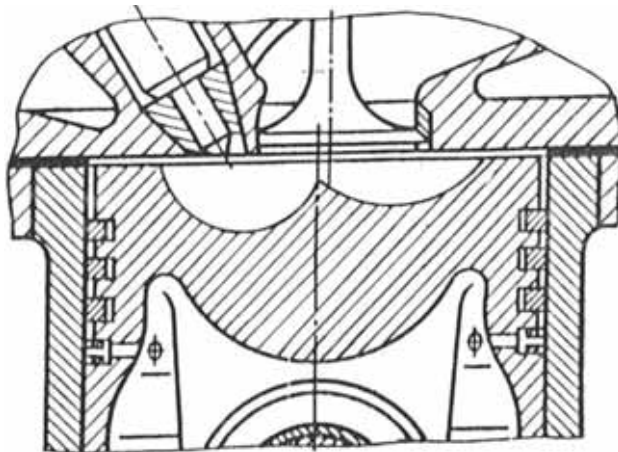


Fig. 3.8

El combustible que ingresa a la cámara al tener un mayor porcentaje de alcohol disminuye la relación estequiométrica aire-combustible lo que equivale a tener una mayor cantidad de aire por unidad de combustible, mejorando esto el proceso de combustión.

Cabe resaltar que en el proceso de formación de la mezcla se producirá una pulverización secundaria debido a la emulsión de alcohol y diesel ya que al encontrarse en la gota de diesel burbujas de alcohol como consecuencia de la diferencia existente entre la tensión superficial de ambos combustibles y sabiendo que el diesel se evapora a una temperatura comprendida entre 300 °C y 400 °C y las partículas de alcohol a 78.32 °C, entonces un calentamiento rápido de la cámara producirá microexplosiones tal como se observa en la Fig. 3.9

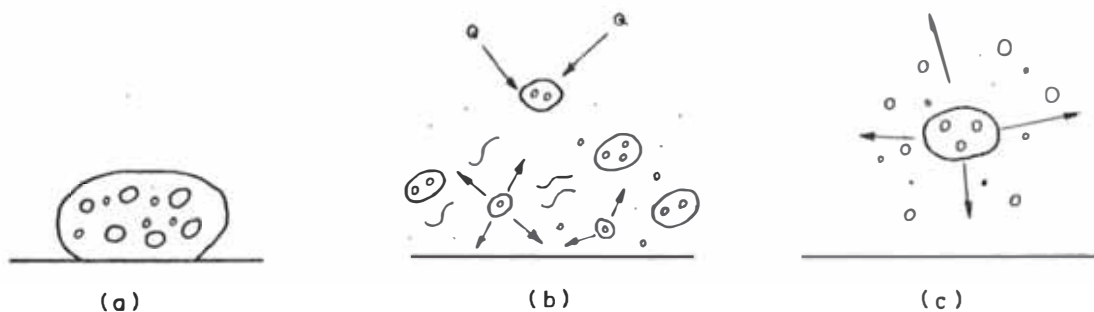


Fig. 3.9 Pulverización secundaria del combustible

Un factor importante en la formación de la mezcla es la tensión superficial ya que el combustible al entrar en la cámara de combustión se disgrega en pequeñas partículas por efecto de las fuerzas aerodinámicas siendo la tensión superficial la que equilibra estas fuerzas logrando que las partículas adquieran forma esférica, luego si se ve incrementado el valor de la tensión superficial esto ocasionará que los diámetros de las gotas sean mayores empeorando la finura de la pulverización contribuyendo desfavorablemente en el proceso de combustión.

3.4.- DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA DE REGULACION DE LA PRESION INICIAL DE INYECCION

En los motores de ciclo diesel la inyección del combustible a través de los inyectores para su posterior pulverización se realiza mediante una bomba de inyección la que se encarga de elevar la presión del combustible consiguiendo de esta manera que la aguja del inyector se levante durante todo el tiempo que dure el suministro.

Las bombas de inyección poseen un pistón o émbolo buzo el cual mediante una leva desarrollan un movimiento alternativo de tal manera que al subir este pistón empuja el combustible que pasa a través de la válvula impelente la cual es abierta al vencer la tensión del resorte debido al incremento de presión hacia la línea de alta, posteriormente al descender el pistón la válvula impelente se cierra evitando que el combustible retorne.

La variación de la presión en la línea de alta en el proceso de inyección será función del desplazamiento del émbolo, la apertura de la aguja del inyector, la compresibilidad del combustible, etc, luego pues con ayuda de un osciloscopio se podrá observar cual es la variación de la presión en función del ángulo de giro del cigüeñal tal como se muestra en la Fig. 3.10

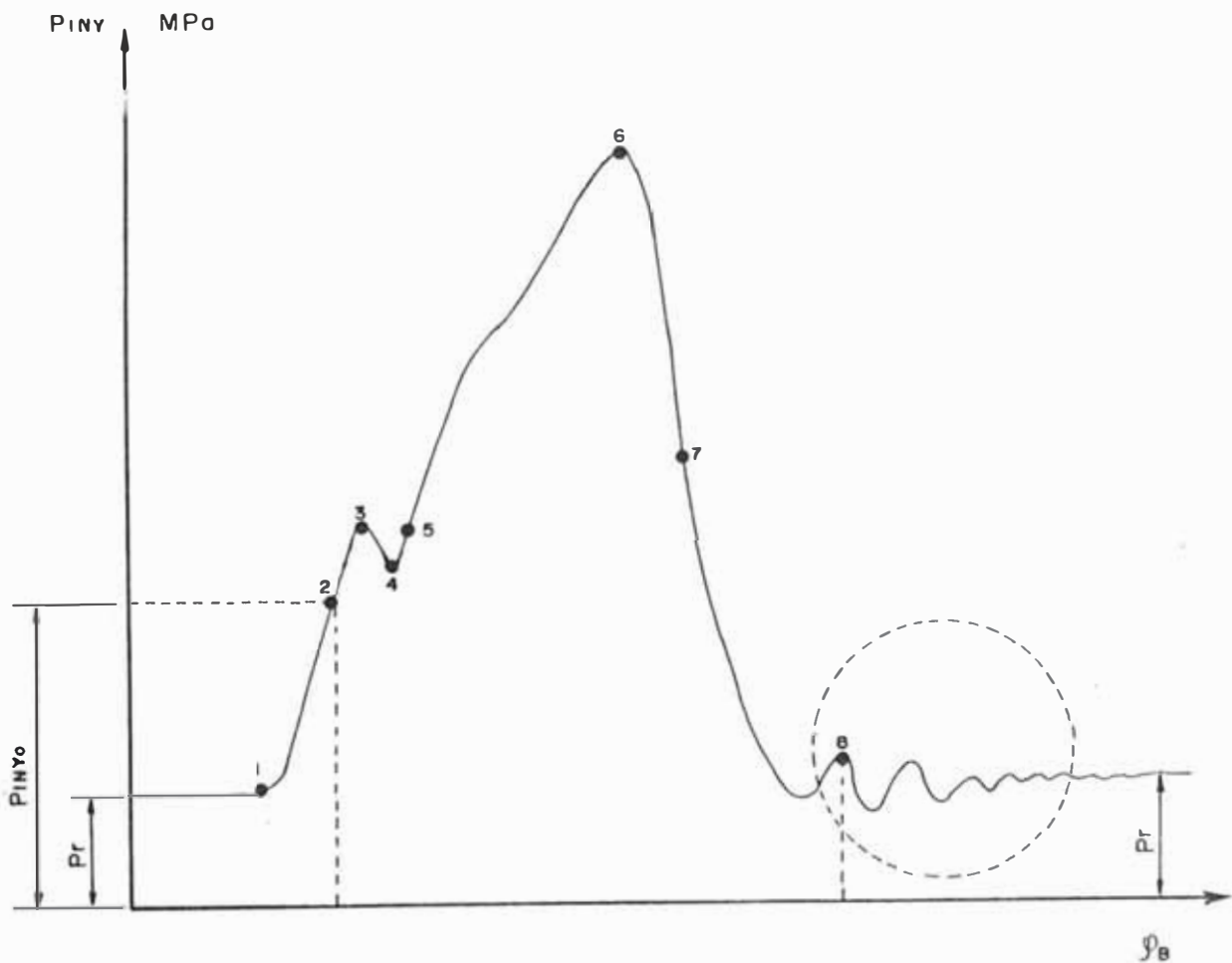


Fig. 3.10 Variación de la presión en la línea de alta

Se puede apreciar que en el punto (1) comienza a elevarse la presión del combustible por efecto del desplazamiento del embolo buzo hasta el punto (2) en el que la presión se eleva a 190 Kg/cm² y empieza la inyección debido al levantamiento de la aguja del inyector, observándose que del punto (3) al (4) hay una ligera disminución de la presión por efecto de succión durante el levantamiento de la aguja, en el punto (5) la presión corresponde al momento en el que aguja alcanza su tope en su proceso de levantamiento, en el punto (6) se tiene la presión máxima de inyección, el punto (7) corresponde al inicio del descenso de la aguja del inyector, en el punto (8) se tiene la presión bajo la cual la aguja del inyector se cierra.

Es importante analizar lo que sucede a partir del punto (8) hasta el inicio de la siguiente inyección. Se sabe que durante el proceso de transmisión de la presión en realidad lo que se esta transmitiendo es una perturbación que en forma de onda longitudinal viaja desde el racor de la bomba hasta el inyector a través de la línea de alta, cuando la onda llega al inyector surge una onda de presión inversa del inyector a la bomba. En el momento que la aguja del inyector se encuentra cerrada en el punto (8) esta onda secundaria al reflejarse del racor al inyector puede ocasionar un levantamiento de la aguja produciendo una inyección adicional de combustible de ahí la importancia que esta onda transitoria se vea atenuada antes del inicio

de la siguiente inyección.

Estas ondas de presión directas y reflejadas se atenúan gradualmente debido a las pérdidas por fricción en las paredes de la tubería de la línea de alta, por la viscosidad del combustible y otra serie de factores que ocasionan pérdidas, consiguiendo que esta onda de presión se atenúe gradualmente hasta el inicio de la siguiente inyección.

Este fenómeno ondulatorio es el que se aprovecha para suministrar combustibles complementarios debido a que la onda presenta zonas de sobre presión y zonas de depresión. En los instantes de depresión la línea se deshermetiza permitiendo que a través del dispositivo RND ingrese combustible alternativo a la línea de alta tal como se muestra en la Fig. 3.11

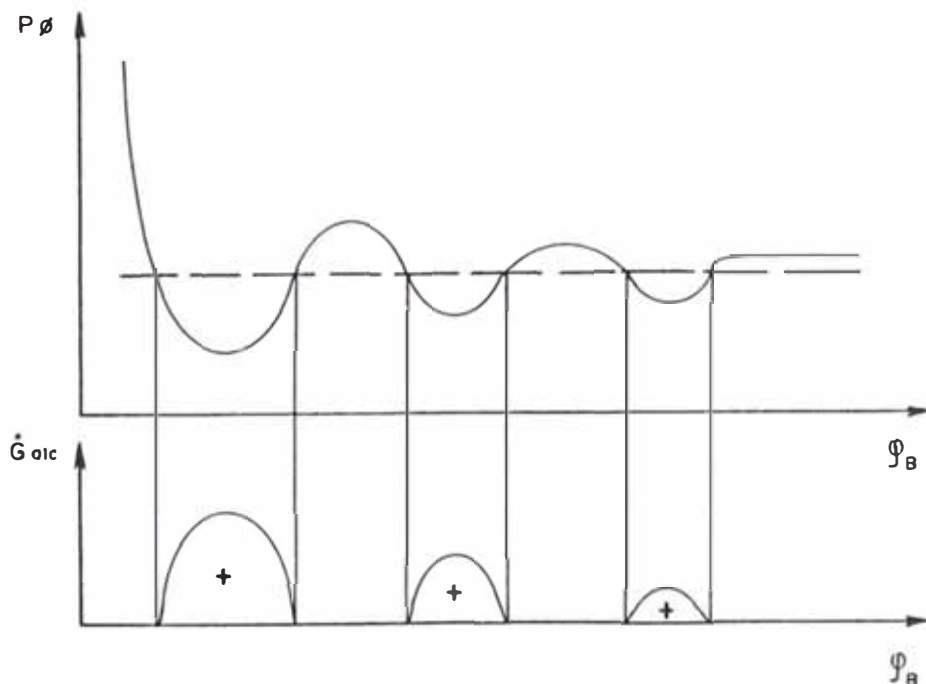


Fig. 3.11 Absorción del combustible complementario

El RND empleado en el suministro de alcohol etílico es una válvula tipo check de un solo sentido y no retorno que permite que el combustible alternativo ingrese en la línea de alta presión durante las depresiones, produciéndose la emulsión con el petróleo diesel.

La disposición de esta válvula RND se muestra en la Fig. 3.12

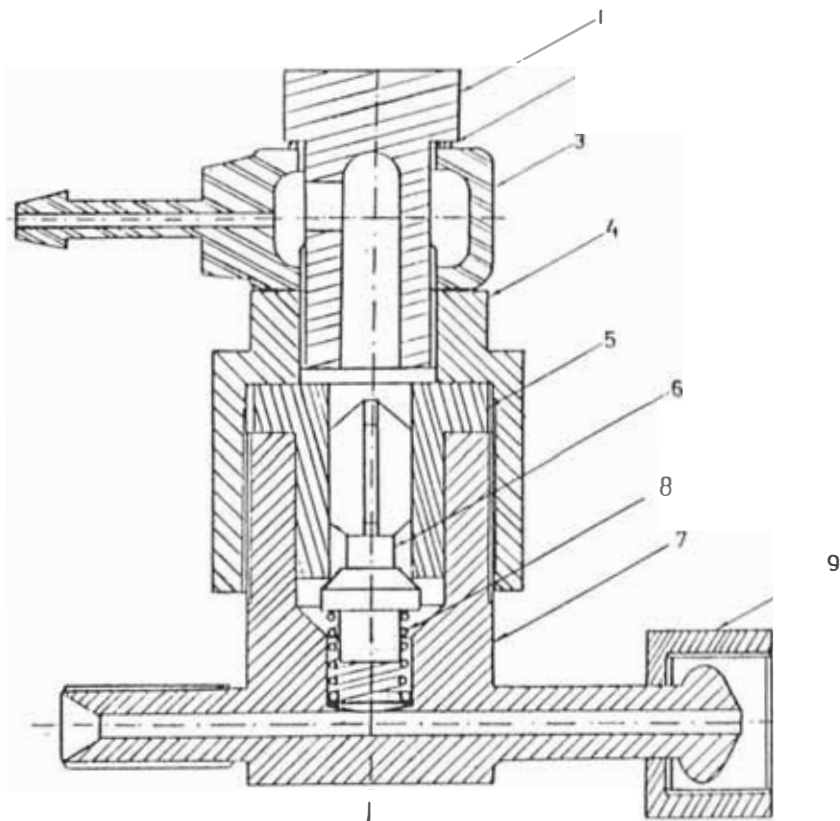


Fig. 3.12 Válvula RND
 1. Tornillo de conector 2. Empaque 3. Conector de combustible 4. Cubierta 5. Asiento de válvula 7. Cuerpo de la válvula 8. Resorte 9. Unión

3.5.- INFLUENCIA DEL TIPO DE BOMBA DE INYECCION EN LA REGULACION DE LA PRESION INICIAL DE INYECCION

La bomba empleada en el motor Perkins C4.236v es de tipo rotativa, siendo estas bombas generalmente utilizadas en motores diesel pequeños de 4 a 6 cilindros, ya que su principal característica es la de tener un tamaño reducido y un bajo costo, la disposición de los racores se encuentran ubicados en forma radial, teniendo la peculiaridad de inyectar pequeños caudales a grandes frecuencias durante tiempos muy cortos.

El proceso de bombeo del combustible se produce mediante dos pistones (análogos al embolo buzo de las bombas lineales) ubicados en la misma dirección pero en sentido opuesto sobre un mismo cilindro y que son accionados por un juego de levas dispuestas en forma radial que al girar comprimen estos pistones, los que a su vez producen la elevación de la presión del combustible atrapado entre los dos pistones para su posterior inyección. En estas bombas el número de levas será igual al número de cilindros del motor, después de producida la inyección, la expansión en los pistones es producida por la presión misma del combustible que ingresa a la bomba de inyección desde el filtro de depuración fina a una determinada presión de ingreso dada por la bomba de baja. La disposición de este sistema se muestra en la Fig. 3.13

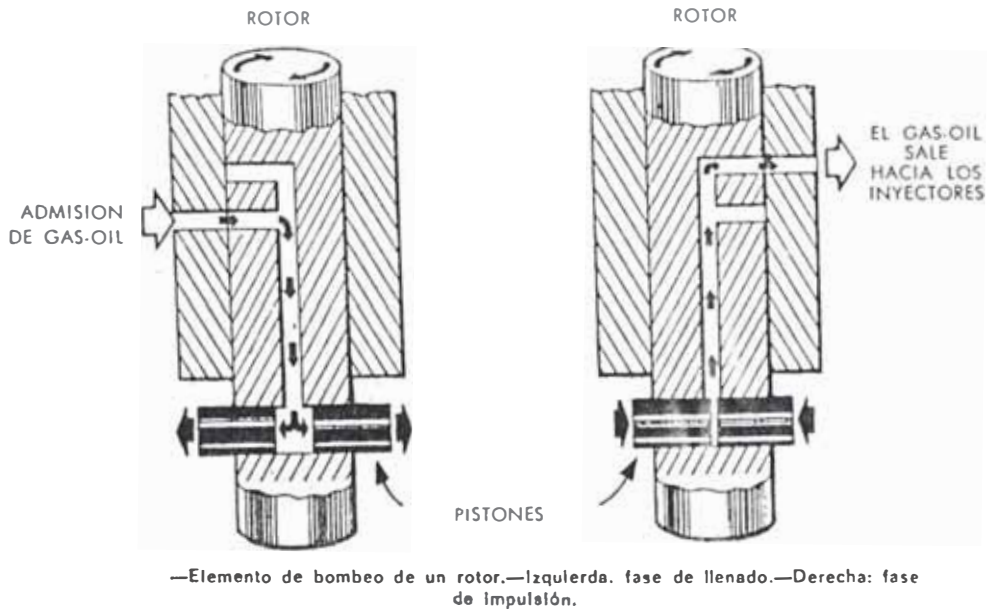


Fig. 3.13 Sistema de bombeo en las bombas rotativas

Este tipo de bomba tiene la característica que la presión transitoria al final de la inyección no es homogénea en las 4 líneas de alta y en todo régimen, siendo superior a la presión de suministro de combustible complementario en las líneas 2 y 3 ocasionando que por estas no ocurra una absorción del alcohol o lo haga en pequeños porcentajes, lo contrario sucede en las líneas 1 y 4 en las que la absorción de alcohol es mucho mayor.

3.6.- INFLUENCIA DE LAS REVOLUCIONES DEL MOTOR EN LA REGULACION DE LA PRESION INICIAL DE INYECCION

La velocidad de rotación del motor juega un papel importante en la regulación de la presión inicial de inyección, ya que el porcentaje de combustible suministrado a través del RND dependerá en parte del régimen de velocidad con el que se este trabajando, notándose que en el rango de 1250 a 1500 RPM es donde se consigue introducir mayor cantidad de combustible complementario, disminuyendo el porcentaje al aumentar las revoluciones del motor tal como se observa en la Fig. 3.14

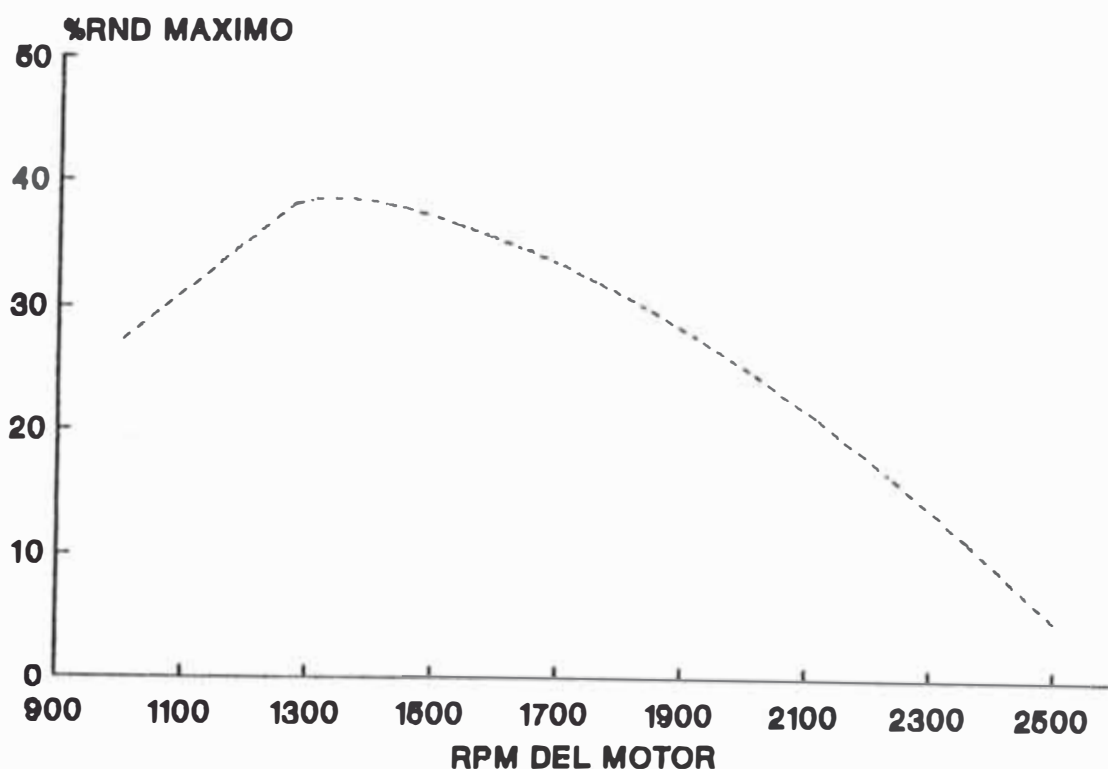


Fig. 3.14 Suministro de alcohol según las RPM del motor

Del gráfico podemos apreciar la relación existente

entre estos dos parámetros pudiendo afirmar que:

$$\%RND = f(n)$$

Es decir que la onda transitoria se ve desplazada con respecto a la presión de suministro de combustible complementario debido al incremento de la presión de velocidad en el flujo de combustible diesel que circula por la línea de alta presión.

Sin embargo este efecto de la velocidad del motor en el porcentaje de alcohol suministrado por el RND no es muy acentuado si es que mantenemos constante una determinada posición de la cremallera tal como se observa en la Fig. 3.15 en la que se tiene el %RND en función de las RPM pero en la máxima posición de la cremallera.

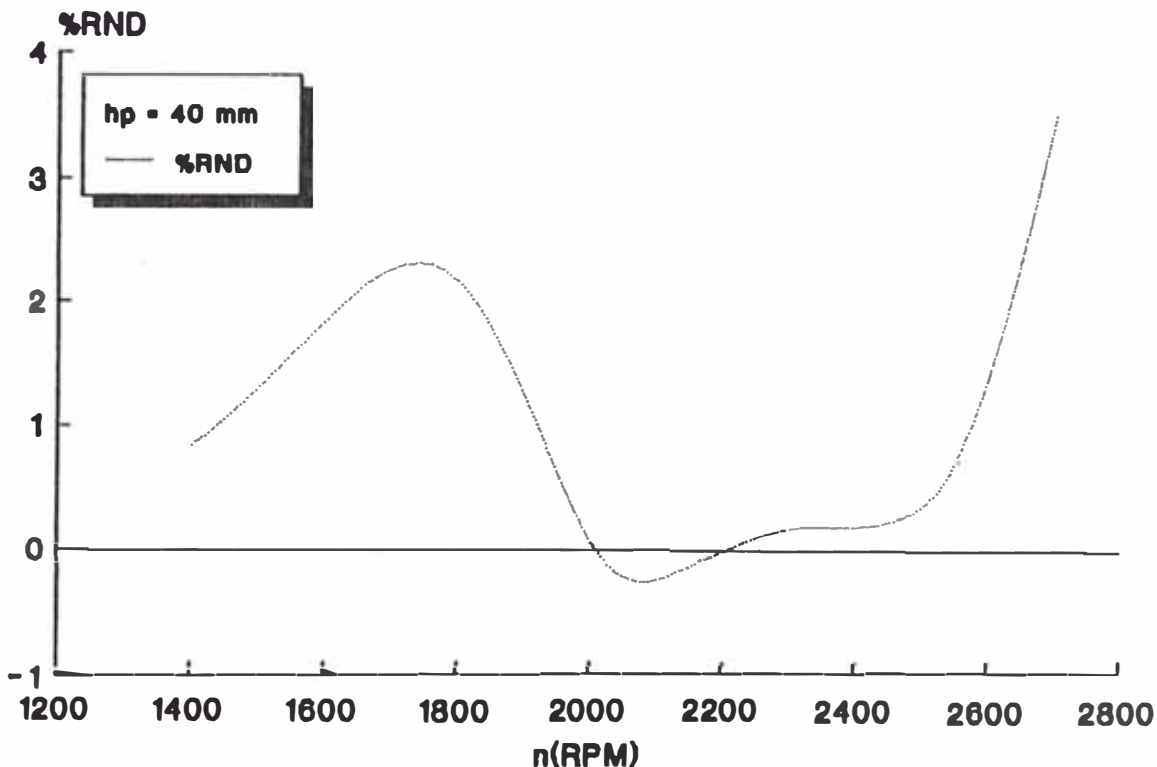


Fig. 3.15 Suministro de alcohol según las RPM a máxima carga

3.7.- INFLUENCIA DE LA CARGA EN LA REGULACION DE LA PRESION INICIAL DE INYECCION

Es importante considerar la influencia del incremento de la carga en la regulación de la presión inicial, ya que al aumentar o disminuir la carga en el motor a un determinado régimen de velocidad en realidad lo que se está haciendo es aumentar o disminuir el suministro de combustible, es decir en la línea se estará variando en caudal que circula por ésta, ocasionando que la onda de presión se vea alterada variando el porcentaje de combustible complementario que es admitido a través del RND tal como se puede apreciar en la Fig. 3.16

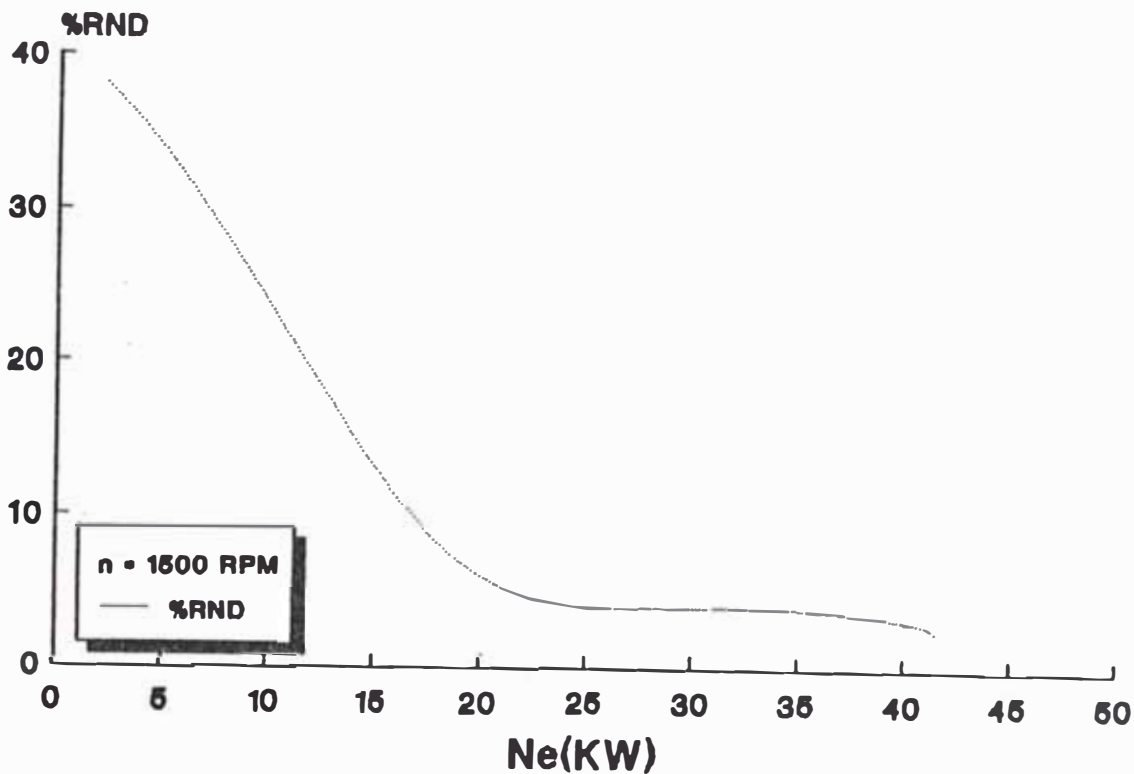


Fig. 3.16 Suministro de alcohol según la carga aplicada

De lo cual podemos afirmar que el factor que tiene más importancia en el suministro a través del RND es la carga con la que se está trabajando ya que los mayores porcentajes de alcohol se logran introducir a menores cargas, de esto se puede afirmar que existe una íntima dependencia entre la carga y el suministro de combustible complementario es decir:

$$\%RND = f(N_e)$$

Finalmente estamos en la condición de decir que el mayor o menor suministro de alcohol a través del RND estará en función de dos parámetros externos, tanto de la carga como de las revoluciones del motor es decir:

$$\%G_{alcohol} = f(N_e, n)$$

En donde el factor que más influencia ejerce es la carga que se está aplicando.

CAPITULO IV

METODOLOGIA EXPERIMENTAL PARA EL ESTUDIO DEL EMPLEO DEL ALCOHOL ETILICO COMO COMBUSTIBLE COMPLEMENTARIO

Para el desarrollo de la parte experimental de los trabajos de investigación, se cuenta con un banco de pruebas, el mismo que se encuentra instalado en el ambiente físico de la facultad de Ingeniería Mecánica dentro de los laboratorios de la Ex-ENIT, actualmente este banco ha sido equipado y modernizado por el Instituto de Motores de Combustión Interna, con el único fin de optimizar y adaptar este banco a la necesidad tecnológica de dar solución a los problemas que en la actualidad tiene vital importancia para el país como son la contaminación, ahorro energético y sustitución de las fuentes de energía convencional.

La metodología experimental para el desarrollo de las experiencias se realizará mediante un protocolo que ha sido elaborado por el IMCI dentro del marco de pruebas que viene desarrollando el instituto.

4.1.- DESCRIPCION DEL BANCO EXPERIMENTAL Y DE LOS SISTEMAS COMPLEMENTARIOS PARA EL SUMINISTRO DE ALCOHOL ETILICO.

El banco de pruebas que se muestra en la Fig. 4.1 cuenta con la instalación de todos los dispositivos necesarios para la realización de los ensayos, así como el

4.1.1.- DESCRIPCION DEL MOTOR

El motor Perkins modelo C4.236v de ciclo diesel cuyo diseño original no fue para ser usado como un motor de investigación pero que ha sido adaptado para este fin en un banco de pruebas. Este tiene la característica de ser un motor de cuatro tiempos, cuatro cilindros, con una relación de compresión de 16:1, cuenta además con un turbocompensador de altura. La bomba de inyección es de tipo rotativa, tiene un ángulo de avance de la inyección de 26° APMS y está unido a los inyectores mediante tuberías de alta presión en las cuales se instalarán los RND.

El inyector es de tipo cerrado sin tetón con cuatro orificios de salida en los que la inyección se produce a una presión 191 Kg/cm².

La cámara de combustión es directa, la cual origina que la formación interna de la mezcla sea de tipo volumétrica.

En este tipo de motor la combustión es más rígida que en los de cámara separada, sin embargo este tipo de motor son los que más comúnmente se usan en el país.

Para este motor se cuenta con las siguientes especificaciones técnicas.

Número de cilindros	4
Disposición de los cilindros	en línea

Diámetro del cilindro	98.43 mm
Carrera del pistón	127.0 mm
Relación de compresión	16:1
Cilindrada	3.86 litros
Tiempos del motor	4
Orden de encendido	1,3,4,2
Condiciones nominales:	
Frecuencia de rotación	2800 rpm
Potencia efectiva	61 KW
Par	205 Nm
Velocidad media del pistón	m/s
Par máximo (1500 rpm)	270 Nm
Pistones	
Diámetro de la cabeza	97.85 mm
Diámetro de la falda	98.02 mm
Peso del pistón	1.165Kg + 7g
Diámetro exterior	38.99 mm
Longitud	34.01 mm
Tipo	sección "H"
Cigüeñal	
Longitud total	609.85 mm
Diámetro del muñón principal	76.16 mm
Válvula de admisión	
Diámetro de la cabeza	44.25/44.36 mm
Angulo de la cara de la válvula	45°
Profundidad de la cabeza	0.89/1.55 mm
Válvula de escape	
Diámetro de la cabeza	36.54/36.64

Angulo de la cara de la válvula	45°
Profundidad de la cabeza	0.74/1.4 mm
Sistema de lubricación	
Capacidad del cárter	8 litros
Tipo de bomba	de rotor
Tipo de filtro de aceite	circulación
Sistema de refrigeración	por agua
Tipo de sistema en cilindros	termo-sifón
Capacidad de agua del motor	9.36 lt
Bomba de agua tipo	centrífuga
Sistema de combustible	
Tipo de bomba	A.C. Delco.
Serie	4P
Tipo de filtro	papel
Peso del Motor	397 Kg

4.1.2.- DESCRIPCION DEL FRENO HIDRAULICO

El banco de pruebas está provisto de un freno hidráulico el cual en su parte interior cuenta con un juego de alabes de bronce, los mismos que se encuentran sujetos a un eje que esta conectado flexiblemente al eje del motor, en dichos alabes incide un chorro de agua a una determinada presión que es entregada por una bomba de 1 HP de potencia, realizando de esta manera el frenado del motor, además de esto los alabes cuentan con una cubierta también de bronce conectada a una volante mediante dos tornillos sinfín y un

juego de engranajes, la que permite abrir o cerrar la cubierta, regulando de ésta manera el flujo de agua que pasa a través de los alabes consiguiendo así variar la potencia de frenado.

También el freno cuenta con una válvula a la entrada del agua que viene de la bomba hacia el freno permitiendo regular la presión de ingreso del agua así como el caudal, con lo que también se puede controlar, pero en forma fina la potencia de frenado del motor, a la salida del agua se encuentra instalado un termómetro el cual permite medir el calentamiento del agua al pasar a través del freno.

El freno hidráulico al realizar el frenado del motor en éste se produce un torque, el mismo que es equilibrado mediante un mecanismo de resortes y contrapesos, estos valores del torque equilibrante se medirán en una balanza la misma que posee un rango de 0 a 50 Libras y un contrapeso fijo en la parte baja de 50 libras, teniendo está balanza la peculiaridad que su escala se encuentra escrita en forma antihoraria, permitiendo que las mediciones se realicen en forma directa sin tener que restar el valor de los contrapesos que adicionalmente se le pongan encima del contrapeso fijo, solamente se le tendrá que sumar este valor a leído en la balanza, los contrapesos con los que se cuenta son de 25, 50 y 100 libras lo que nos permite mayor margen de medida.

Este freno tiene la desventaja de tener un rango de trabajo que no coincide totalmente con el rango de trabajo

del motor instalado en el banco.

Para este freno hidráulico mostrado en la Fig. 4.2 se cuenta con las siguientes especificaciones técnicas.

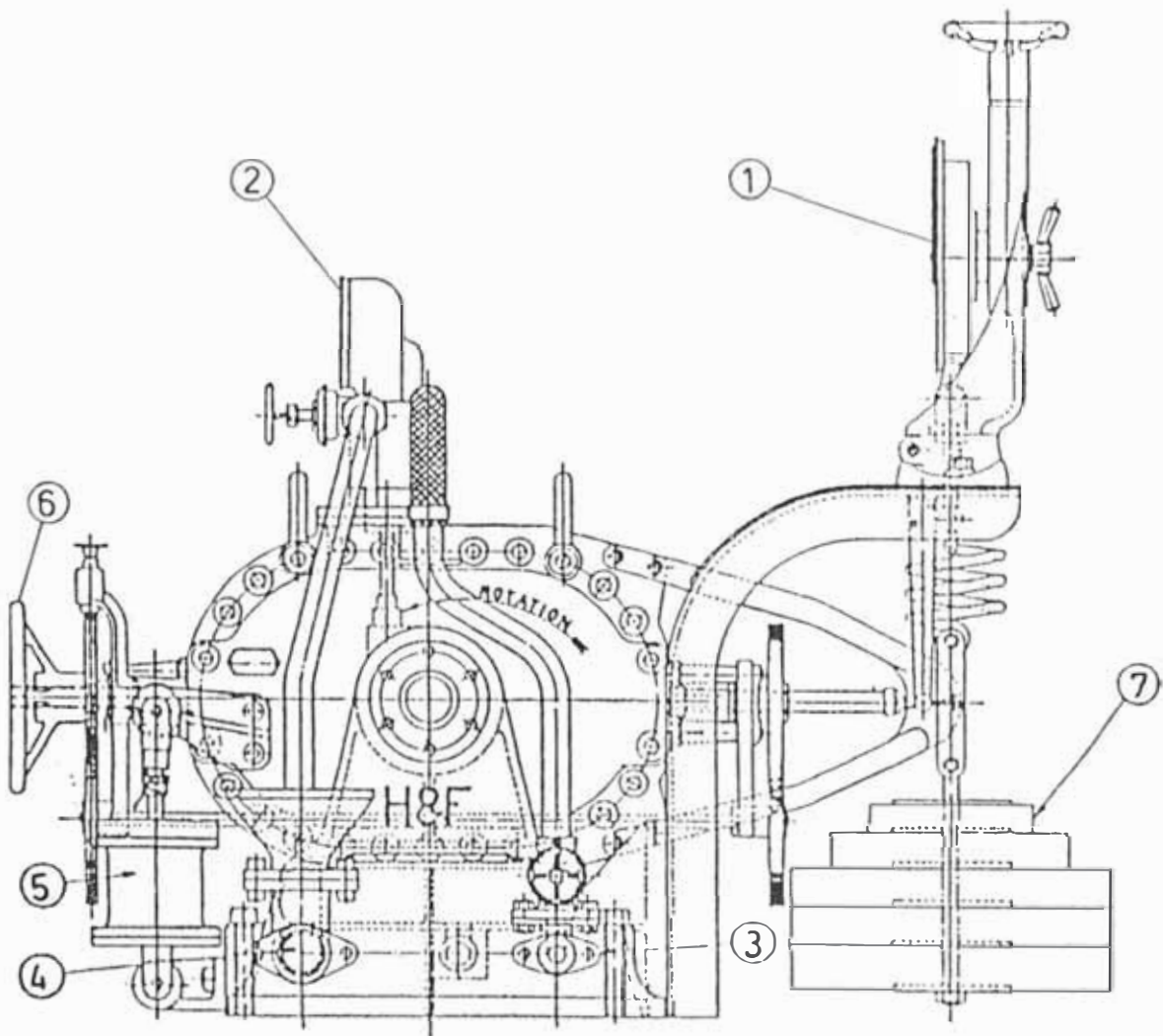


Fig. 4.2 Disposición general del freno hidráulico
 1. Balanza de resortes 2. Tacómetro 3. Entrada de agua
 4. Salida de agua 5. Amortiguador 6. Control de carga
 7. Contrapesos

MARCA: HENAN & FROU

FABRICACION: ENGINEERS WORCESTER ENGLAND

Nº DE SERIE: B30.129S

TIPO: HIDRAULICO

RPM: 4000 - 7500

MAX BHP: 150

4.1.3.- SISTEMA DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE

El combustible será depositado dentro de un tanque (1) de 10 galones de capacidad ubicado aproximadamente a 2.4 m. del nivel del piso, el mismo que posee un medidor del nivel de combustible.

Luego del tanque, el combustible pasara por una línea hacia dos buretas (2) de 25 cm³ de capacidad cada una conectadas en serie, pero antes de llegar a las buretas se tiene una válvula de cierre (3) la que permite realizar la medida del consumo horario de combustible con ayuda de un cronómetro. Posteriormente el combustible de las buretas proseguirá hacia el filtro de depuración basta (4) para luego continuar en su recorrido hacia la bomba de baja (5), pasando por el filtro de depuración fina (6), y luego llegar a la bomba de alta, la cual es de tipo rotativa en la que el combustible sale presurizado por la línea de alta presión (7), para ser pulverizado a través del inyector (8), una parte de combustible que rebosa del inyector es devuelto nuevamente a través de la línea (9), la misma que se junta con la línea (10) por donde retorna el combustible

que no es suministrado por la bomba hacia la bureta de medición, garantizando de esta manera que el flujo de combustible que se mide sea el neto.

El sistema también cuenta con una válvula (11), de doble vía la que nos permite tener la opción de suministrar directamente el combustible sin pasar por las buretas, esto para el caso que no se este midiendo el consumo horario de combustible.

En la siguiente figura se muestra el sistema de suministro de combustible.

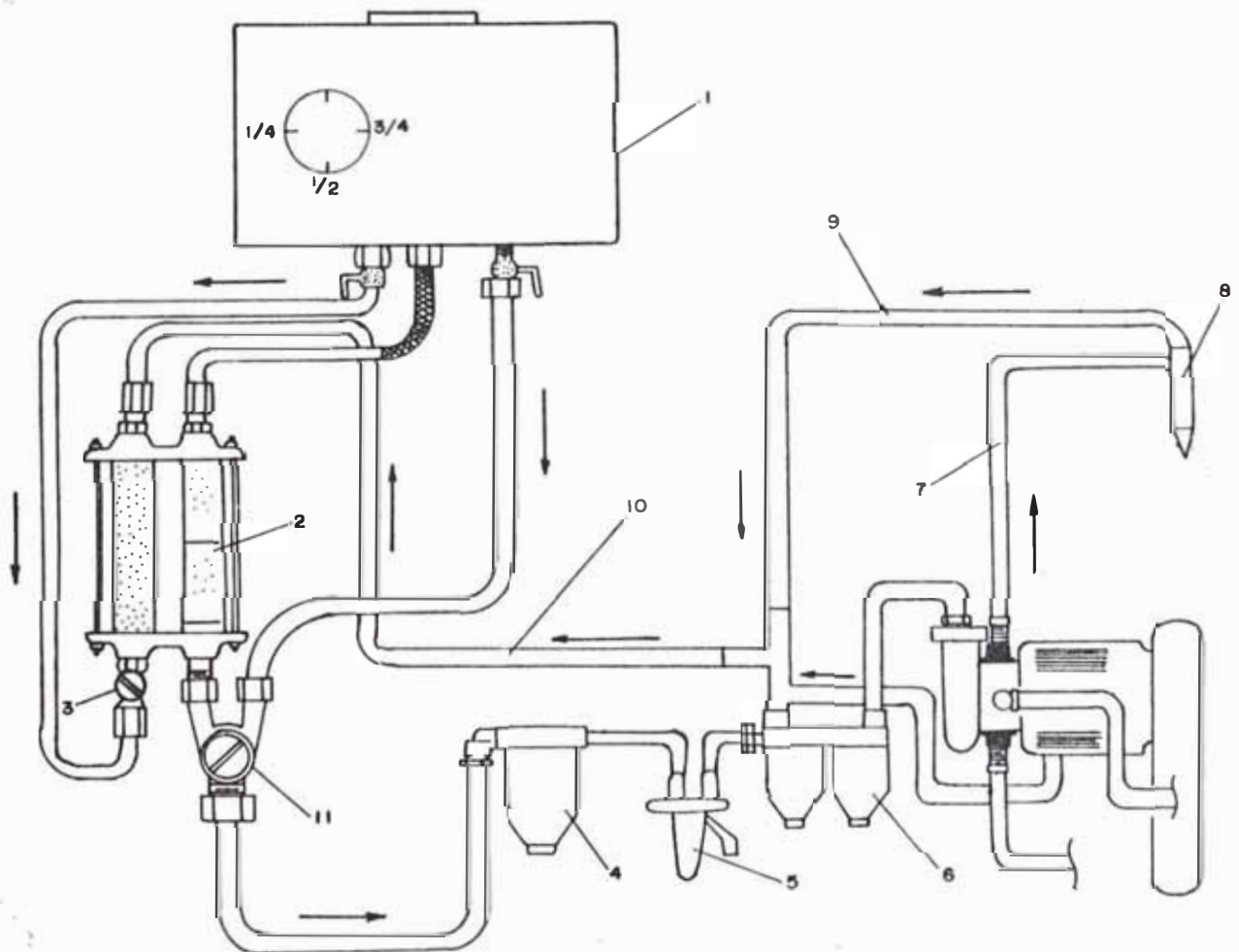


Fig. 4.3 Disposición del sistema de suministro de combustible

4.1.4.- SISTEMA DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE COMPLEMENTARIO

El suministro de combustible complementario se realiza a través del RND de dos formas, bien por gravedad o presurizando el combustible complementario antes de ser introducido por el RND.

4.1.4.1.- SUMINISTRO DEL COMBUSTIBLE ALTERNATIVO POR GRAVEDAD A TRAVES DEL RND

Para el suministro por gravedad a través del RND (4), se cuenta en el laboratorio con un tanque (1) de 1 litro de capacidad aproximadamente, provisto de una bureta graduada (2) de 0 a 60 cm³. y una llave de cierre de combustible (3), la que nos permitirá con ayuda de un cronómetro, medir el consumo horario de combustible alternativo tal como se muestra en la siguiente figura.

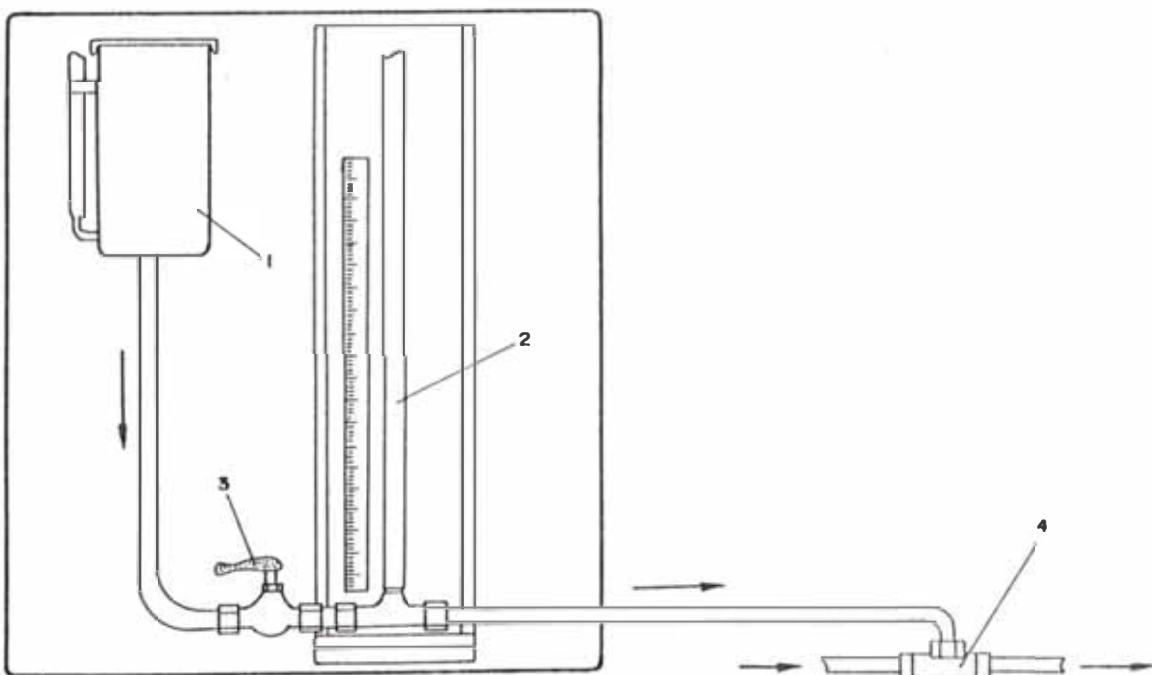


Fig. 4.4 Sistema de suministro por gravedad

4.1.4.2.- SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PRESURIZADO A TRAVES DEL RND.

El suministro de combustible alternativo presurizado a través del RND, se puede realizar haciendo uso de un flujómetro presurizador de combustible (FPC), en el que se puede introducir el combustible a través de la válvula (1) al depósito (3) en el que se almacena el combustible para su posterior uso, luego se procede a cerrar la válvula (2) de recarga y las válvulas (13) y (14) que comunican a la atmósfera, quedando el combustible herméticamente cerrado en el tanque (3), para luego ser presurizado haciendo uso del nitrógeno ubicado en el tanque (17) controlando la presión deseada con el manómetro (10) cuya escala es de 0 a 60 bar , posteriormente el combustible presurizado pasara a través de la bureta graduada (5) en la cual con ayuda de un cronómetro se podrá medir el consumo horario de combustible complementario, también se dispone de un rotámetro (6) con el cual se podrá medir en forma directa el consumo horario de combustible, la peculiaridad de este sistema es que posee un tubo capilar que comunica tanto la parte interna como externa de la bureta (5) y el rotámetro (6) en el espacio (7) igualando las presiones, evitando así que revienten tanto la bureta (5) como el rotámetro (6) debido a la sobrepresión. Este equipo cuenta con dos válvulas electromagnéticas de cierre rápido la (4) que nos permite realizar las mediciones del flujo de combustible y la (9)

que evita que el combustible complementario retorne del RND.

La disposición de este sistema se muestra en la siguiente figura.

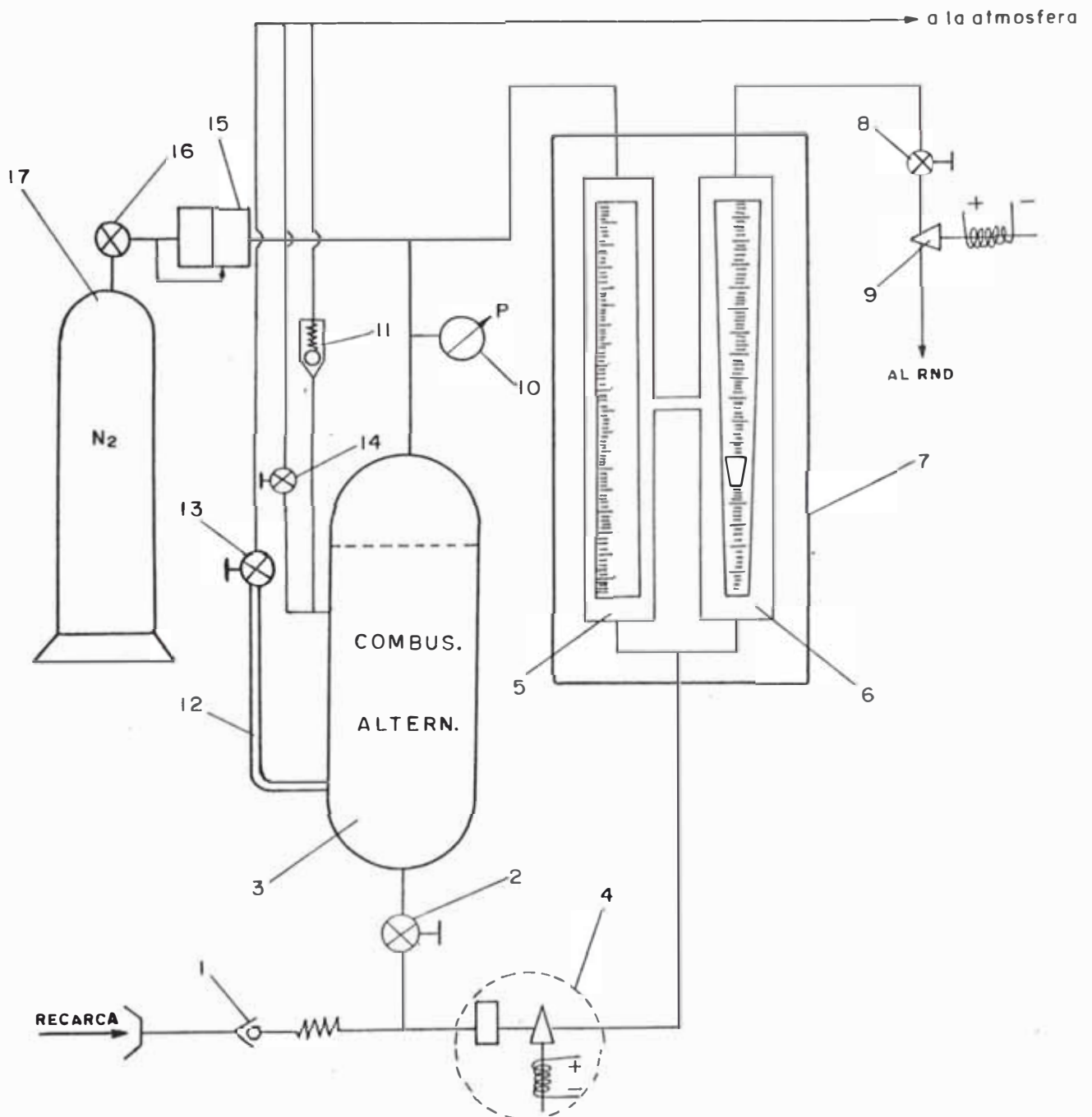


Fig. 4.5 Flujoómetro presurizador de combustible

4.1.5.- SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE

El aire empleado en la combustión del motor diesel será captado directamente de la atmósfera, el cual entrará a un tanque (1), el mismo que hará las veces de tanque de estancamiento, en el que a su vez se realizará un estrangulamiento del flujo de aire originando una caída de presión que se medirá en un manómetro de vidrio en "U" (4), conociendo el coeficiente de descarga del orificio de entrada de aire (5) y el valor de su área, se podrá determinar el consumo horario de aire, posteriormente el aire continuará por la tubería (2) hacia el filtro de aire (3) el que tiene por finalidad atrapar todas las partículas sólidas que podrían contribuir al desgaste prematuro del motor, para luego ser comprimido por el sobrealimentador y proseguir a través del múltiple de admisión hacia los cilindros del motor tal, además en el sistema de admisión se encuentra instalada una válvula (6), la que tiene como finalidad estrangular el suministro de aire simulando de esta manera altura, los valores de la caída de presión en este tipo de pruebas se medirán en el manómetro en "U" (7), adicionalmente este sistema cuenta con un vacuometro (8), el mismo que medirá la depresión producida en el traslape de las válvulas de admisión y de escape cuyo valor es un buen índice de alguna anomalía que pudiera haber en el proceso de suministro de aire, en la Fig.4.5 se muestra la disposición de este sistema.

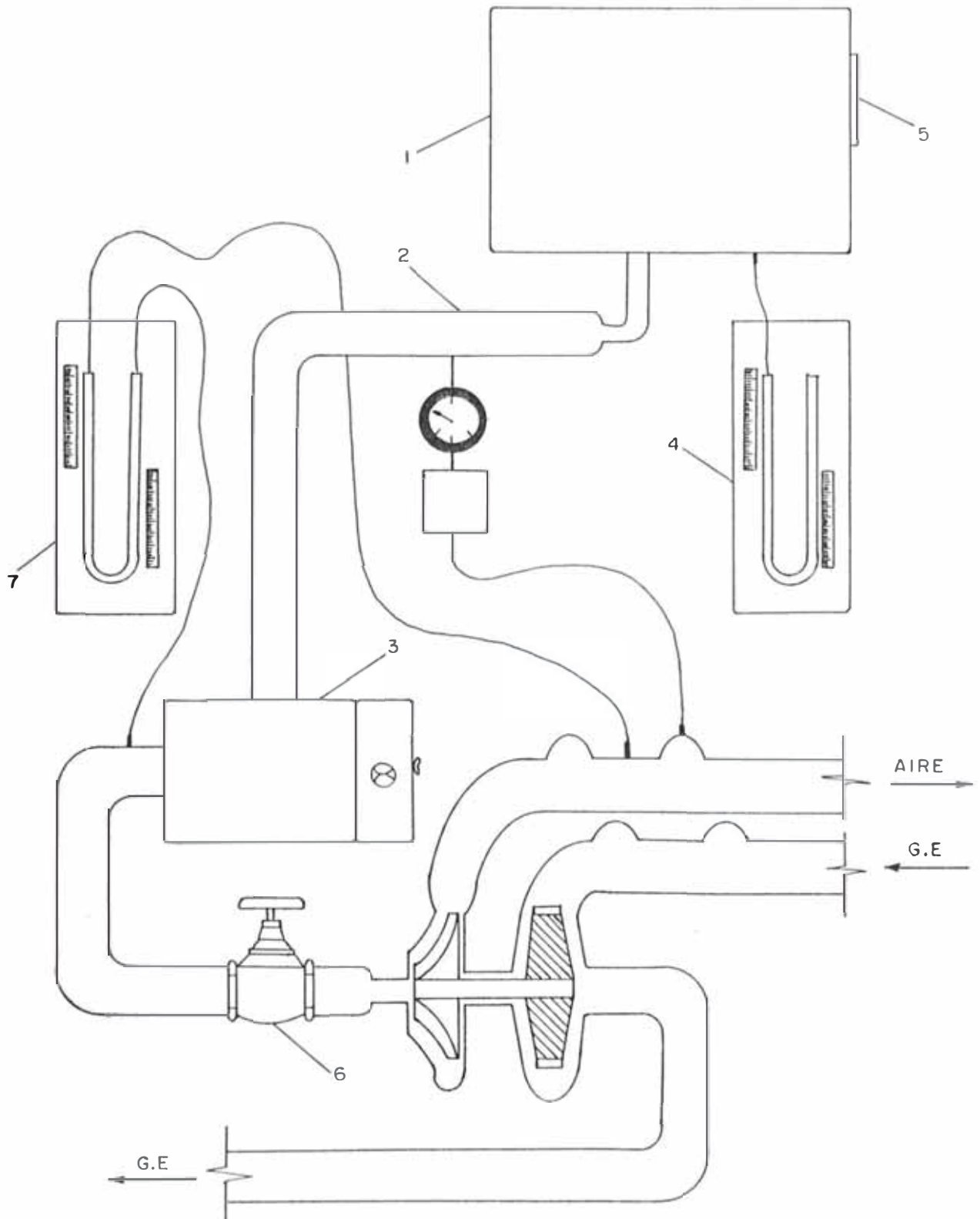


Fig. 4.6 Disposición del sistema de suministro de aire

4.1.6.- SISTEMA DE MEDICION DE CARBONILLA EN LOS GASES DE ESCAPE

La carbonilla presente en los gases de escape, podrá ser medida para un determinado régimen de funcionamiento del motor mediante el probador de humos BOSCH, el cual cuenta con un captador de humos (1) que es un tubo resistente a las altas temperaturas de los gases de escape con orificios en la parte lateral por donde son captados los gases, estos orificios tienen una cubierta que evita así que los gases ingresen en forma directa al captador, este tubo cuenta con unas aletas de refrigeración las cuales enfrían la muestra de gases tomada, luego estos pasarán a través de la sonda (2) hacia el medidor de humos (3). El medidor cuenta con un sistema de resortes (4) los que producirán la succión de los gases dentro del medidor los cuales pasarán a través de un papel filtro especial (5) el cual tiene la particularidad de retener la carbonilla presente en los gases, luego este papel se llevara a un censor óptico (6) el que posee una escala de 0 a 10 unidades Bosch dando mayores valores cuanto mayor carbonilla éste presente en el papel, el valor cero corresponde al papel especial sin carbonilla.

Este sistema de medición de carbonilla se muestra en la siguiente figura.

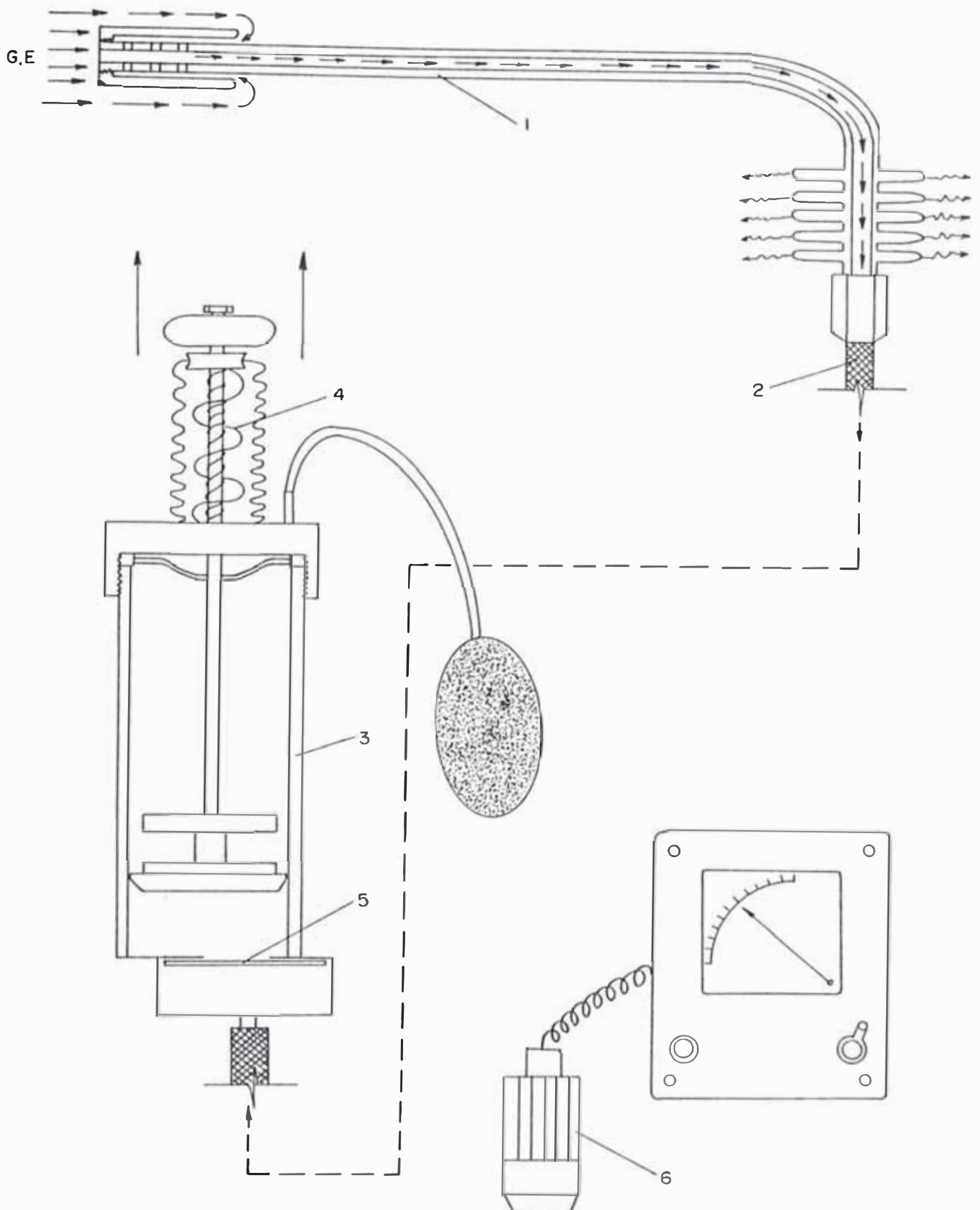


Fig. 4.7 Equipo de medición Bosch

4.1.7.- ACCESORIOS ADICIONALES

Adicionalmente se cuenta con un tacómetro digital el cual mediante un sensor óptico detecta una marca en la volante indicando las RPM exactas del motor, también se ha adaptado un sistema de medición de la posición exacta de la cremallera dada en milímetros, permitiendonos repetir algunas pruebas en puntos específicos, se tiene un termómetro y un barómetro para poder determinar las condiciones ambientales con las que se esta trabajando.

4.2.- METODOLOGIA EXPERIMENTAL DE LAS PRUEBAS

En el desarrollo de las pruebas referente al empleo del alcohol etílico en los motores diesel como combustible complementario se establecieron un conjunto de pruebas con la finalidad de poder comparar como funciona un motor tanto con petróleo diesel como con diesel + alcohol y así llegar a conclusiones sobre las ventajas o desventajas de esto.

Las pruebas a realizar serán las siguientes:

4.2.1.- CARACTERISTICAS DE CARGA

Mediante esta prueba se puede determinar las características de funcionamiento del motor para diferentes regímenes de trabajo.

Otra ventaja de esta prueba es que nos da la posibilidad de determinar cual es la posición de máximo

suministro de combustible para el caso en que la bomba de inyección este trabajando sin regulador, pues gracias a los datos de la placa del motor podemos conocer cual es la velocidad nominal más no la posición de la cremallera a la cual ocurren estas condiciones nominales de trabajo, para esto se procederá a barrer todo el rango de la cremallera desde su posición mínima hasta el límite de humos inclusive, posteriormente se procede a graficar g_e vs N_e y de acuerdo a esto se toma el criterio de menor consumo específico de combustible aplicando el método gráfico tal como se observa en la Fig. 4.7, en el que a partir del origen de coordenadas se traza una línea tangente a g_e y a partir de esta posición se toma el 90% de N_e , obteniéndose de esta manera la potencia nominal del motor y la respectiva posición de la cremallera.

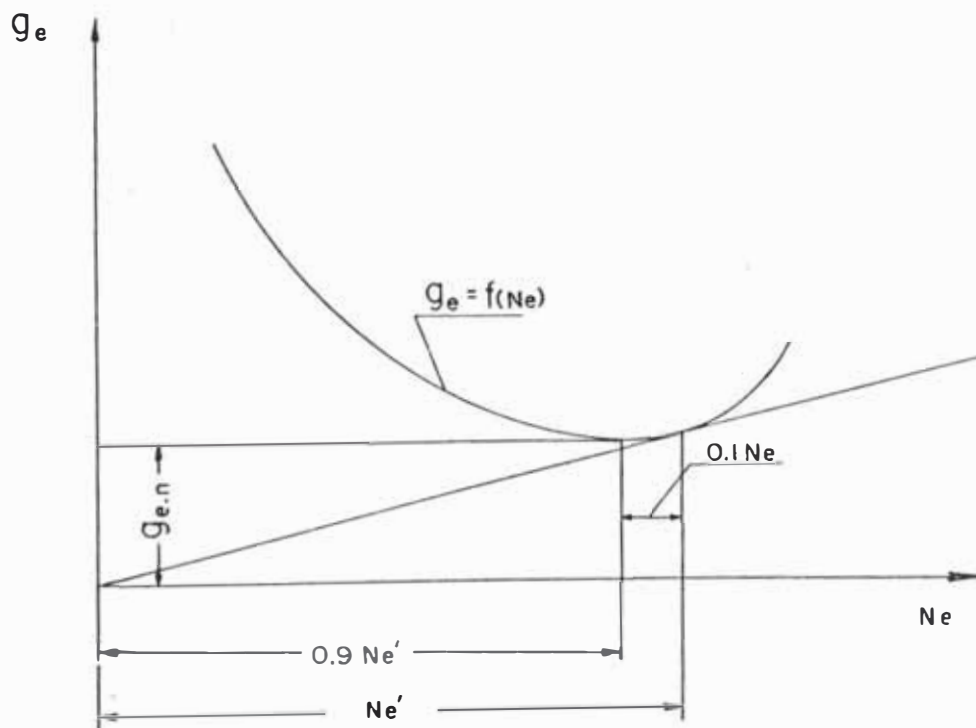


Fig. 4.8

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Bosch, Consumo Horario de Combustible, Consumo Especifico de Combustible v.s Potencia

CONDICIONES AMBIENTALES : TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION : 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA : Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 2500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

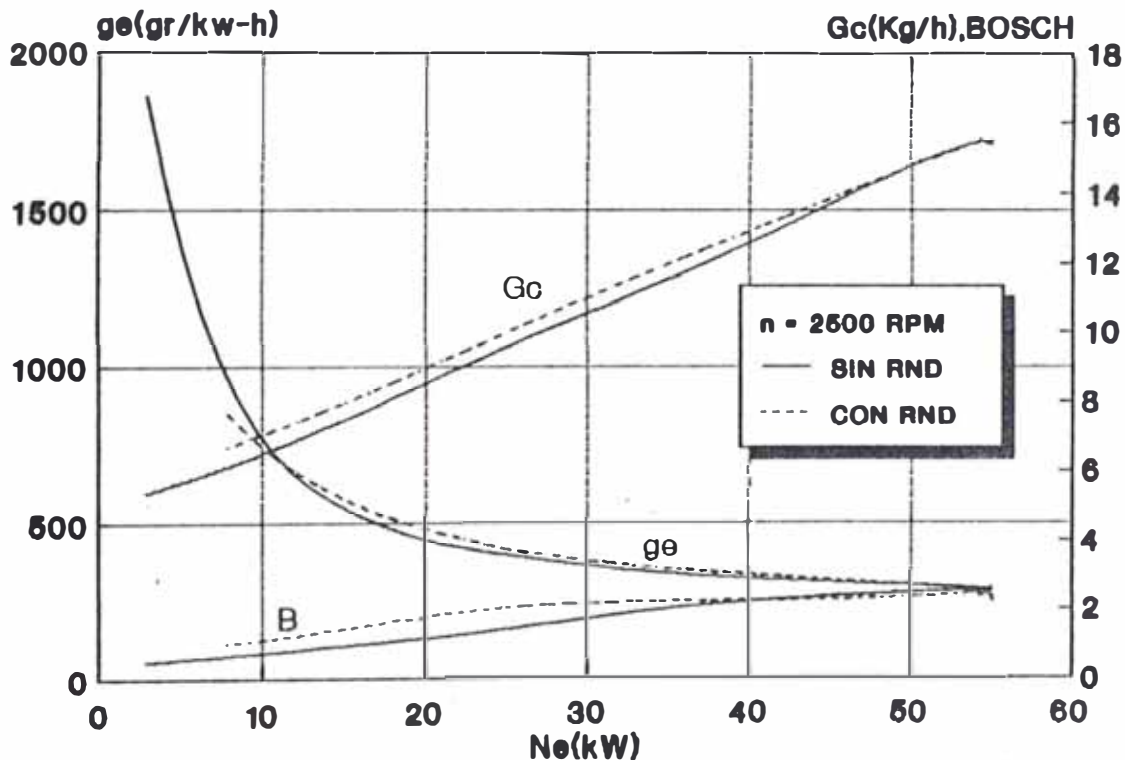


Fig. 4.9 Característica de Carga a 2500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Bosch, Consumo Horario de Combustible, Consumo Especifico de Combustible v.s Potencia

CONDICIONES AMBIENTALES : TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION : 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA : Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 1500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

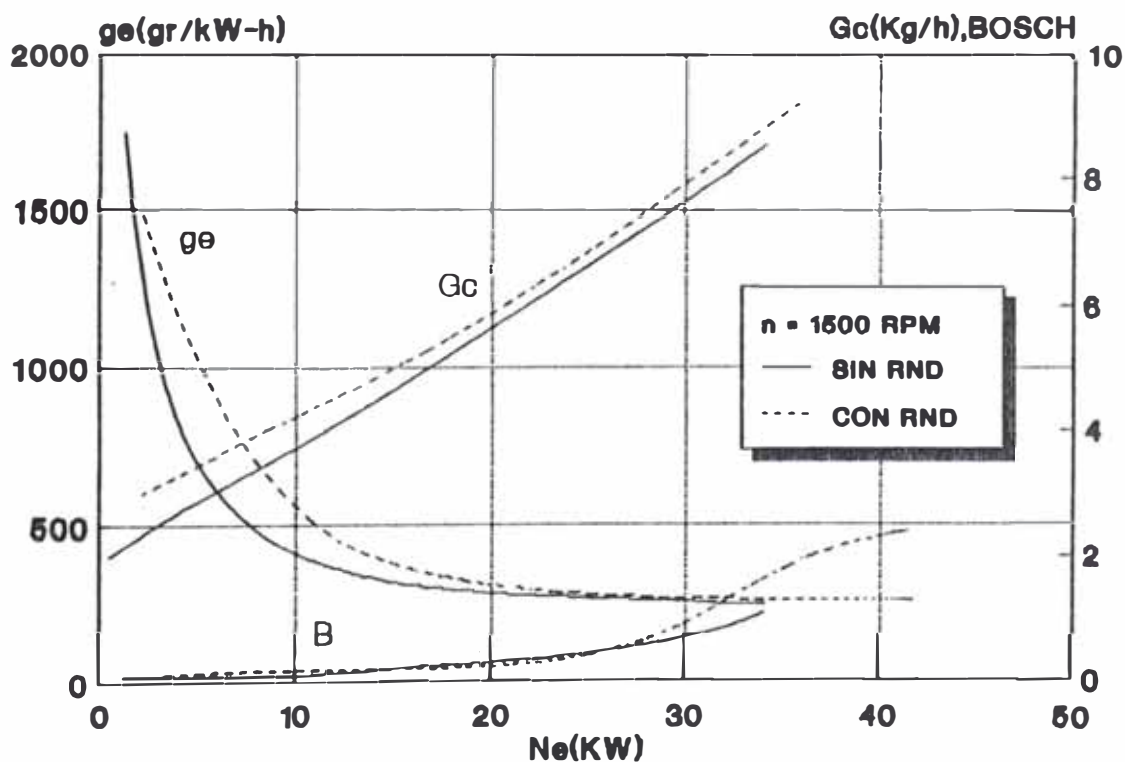


Fig. 4.10 Característica de Carga a 1500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Consumo Horario de Combustible, % de Alcohol suministrado por el RND v.s. Potencia

CONDICIONES AMBIENTALES : TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION : 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CRMALLERA : Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 2500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

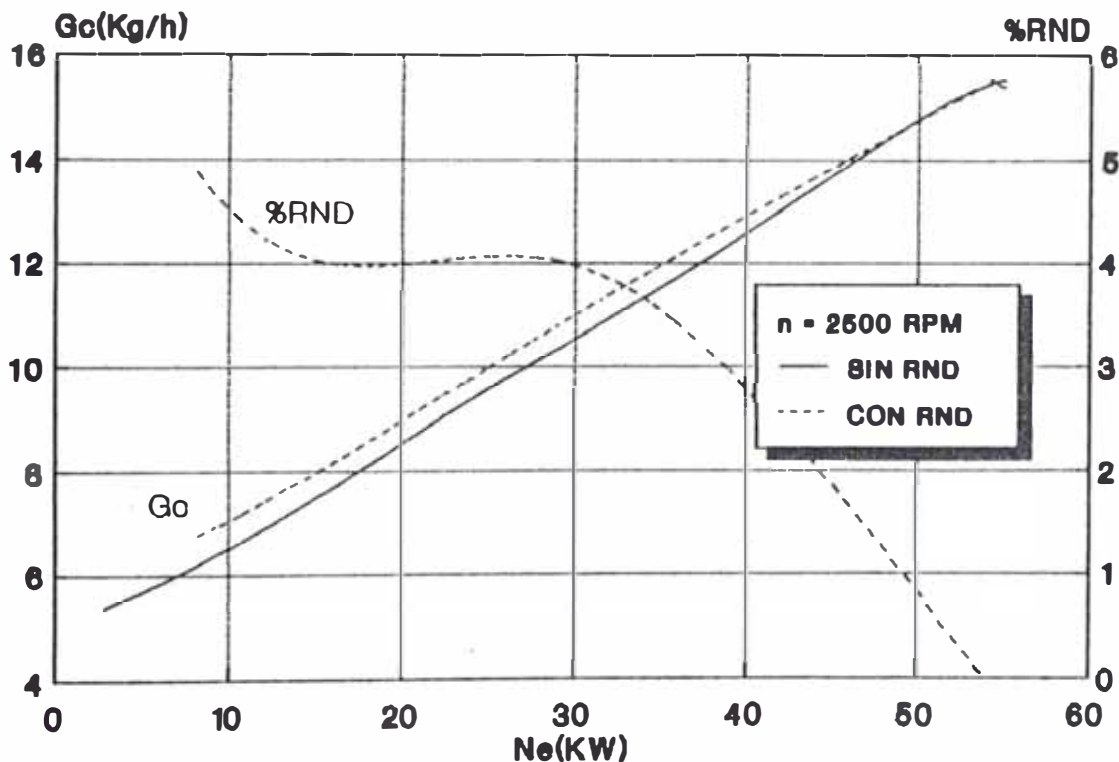


Fig. 4.11 Característica de Carga a 2500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Consumo Horario de Combustible, % de Alcohol suministrado por el RND v.s Potencia

CONDICIONES AMBIENTALES : TBS = 31.5°C TBH = 29.5
Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION : 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA : Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 1500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

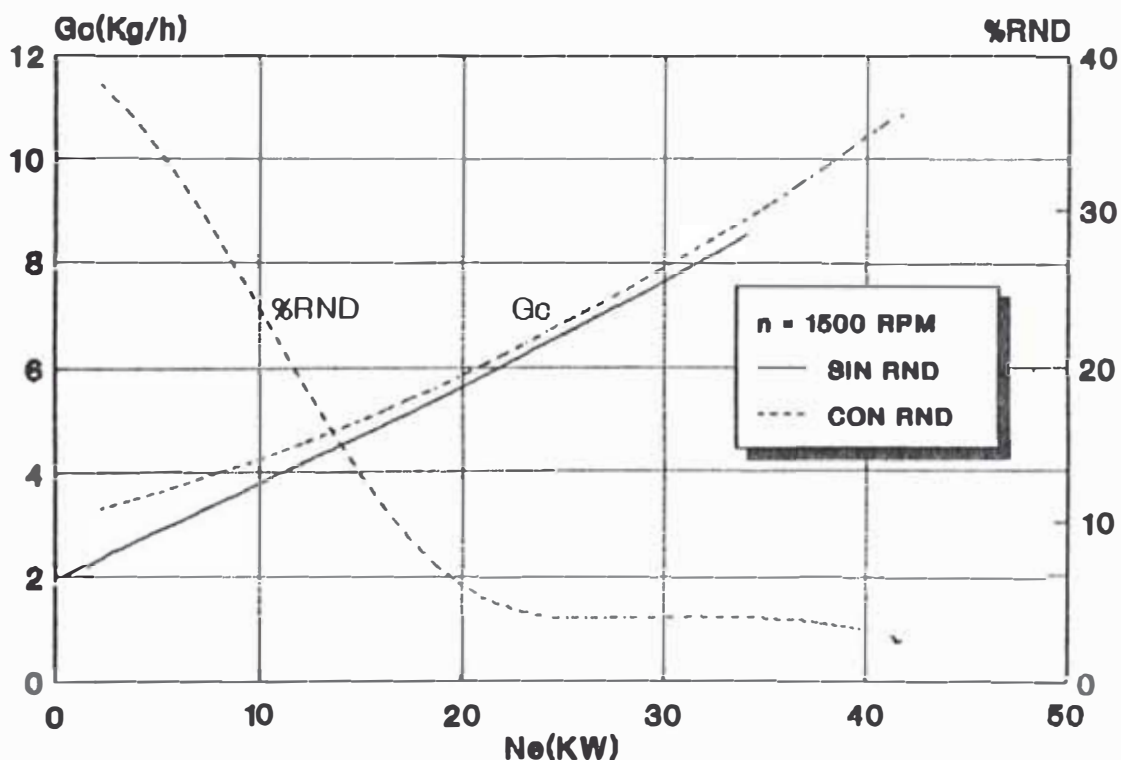


Fig. 4.12 Característica de Carga a 1500 RPM

4.2.2.- CARACTERISTICA DE VELOCIDAD

Esta característica se realiza variando diferentes rangos de velocidad pero a una determinada posición de la cremallera que a lo largo de toda la prueba permanece constante para nuestro caso se toma la posición de máximo suministro de combustible.

La finalidad de este tipo de curvas es la de obtener puntos representativos como el mínimo consumo de combustible, el momento máximo y las posiciones de máxima y mínima velocidad de funcionamiento estable del motor.

Tanto la curva de carga como de velocidad se podrán realizar con la ayuda del freno hidráulico el que permite estabilizar el motor en un determinado régimen.

4.2.3.- CARACTERISTICA DE REGULACION

La regulación se puede obtener bajo dos criterios, bien variando el adelanto de la inyección o bien variando la presión de inyección, ya que al mezclar diesel + alcohol las nuevas propiedades de la mezcla nos llevan a la necesidad de regular el proceso de suministro de combustible, pero como en el motor Perkins C4.236 es muy difícil variar cualquiera de estos parámetros estas características de regulación se harán sólo en caso de ser necesario es decir si es que la potencia cae o los humos empeoran más del límite permitido.

La regulación se puede realizar de acuerdo a los siguientes criterios de optimización.

- Según el Momento Máximo ($M_{e \max}$)
- Según el nivel de humos (B)
- Según el menor consumo ($g_{e \min}$)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Potencia, Torque, Consumo Especifico de Comb. v.s RPM

CONDICIONES AMBIENTALES : TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION : 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CRISTALLERA : Constante

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : Variable

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

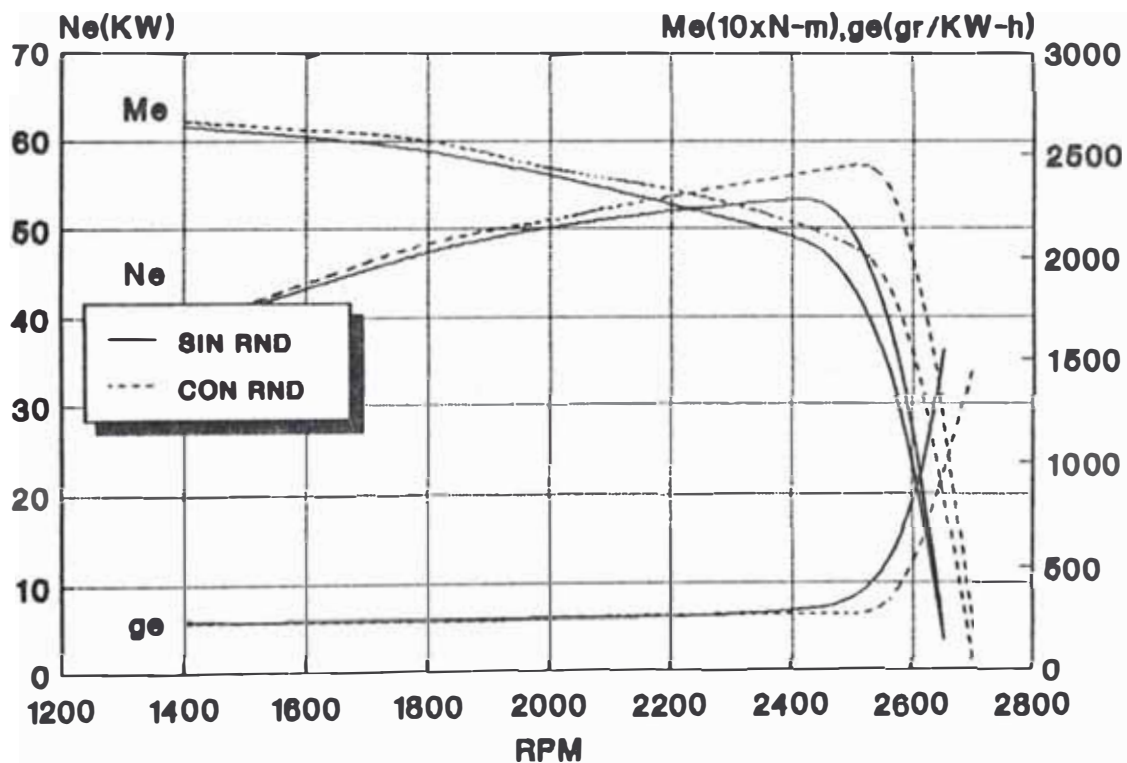


Fig. 4.13 Característica Externa de Velocidad

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Alfa, Bosch, Consumo Horario de Combustible v.s RPM

CONDICIONES AMBIENTALES : TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION : 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA Constante

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : Variable

TEMPERATURA DE REFRIGERACION 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

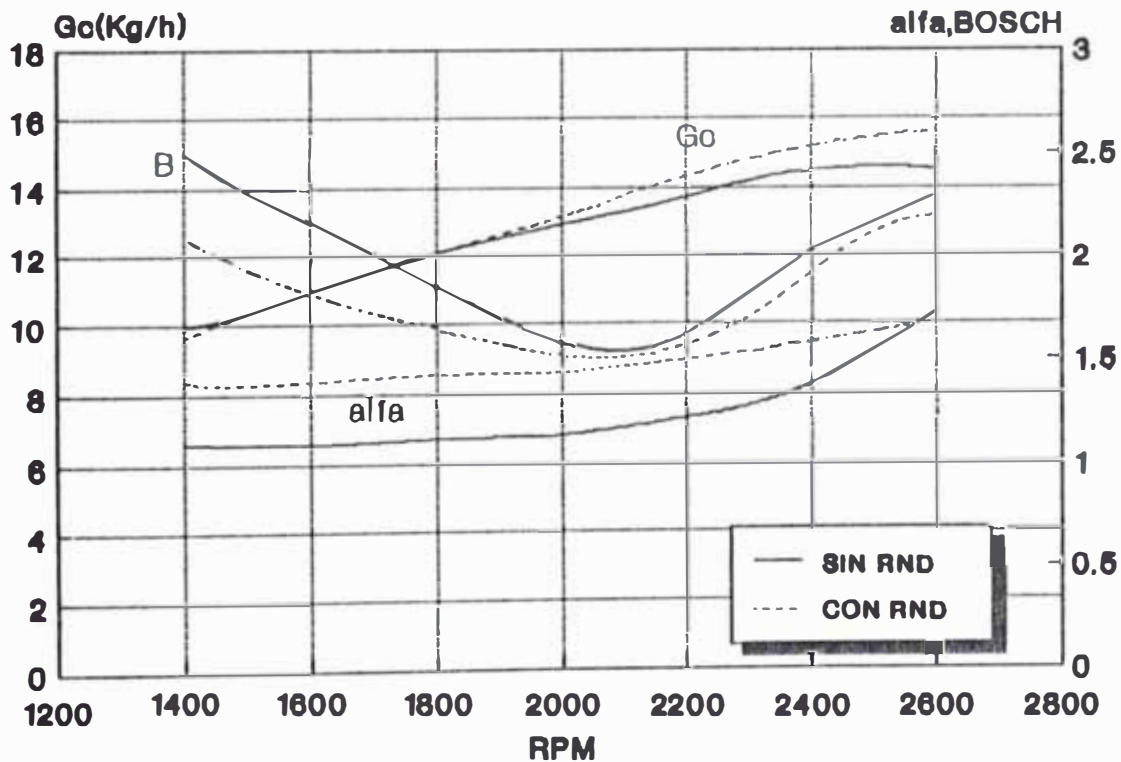


Fig. 4.14 Característica Externa de Velocidad

4.3.- OBTENCION DE LOS DATOS Y RESULTADOS

Los datos tomados se realizaron según el protocolo elaborado por el IMCI, en el cual se tiene la facilidad de verificar los datos, así como también nos permite un procesamiento rápido de los resultados.

En el apéndice se muestra todos los protocolos de los ensayos obtenidos en las pruebas.

4.3.1.- MAGNITUDES MEDIDAS DURANTE LAS PRUEBAS

- Velocidad de rotación del cigüeñal (n)
- Fuerza de la balanza (P)
- Contrapeso de la balanza (W)
- Presión y temperatura atmosférica (Po,To)
- Altura manométrica del aire en
el tanque de estancamiento
(manómetro de tubo en "U") (Pa)
- Volumen de suministro de petróleo (Vp)
- Tiempo de caída del volumen de petróleo (Tp)
- Volumen de suministro de alcohol (Valc)
- Tiempo de caída del volumen de alcohol (Talc)
- Temperatura de trabajo del motor (Tm)
- Posición de la cremallera (hc)
- Nivel de emisión de humos (B)

4.3.2.- MAGNITUDES Y PARAMETROS CALCULADOS DEL MOTOR

1.- Potencia efectiva (N_e).

Se calcula con la fórmula:

$$N_e = \frac{F \cdot \eta}{4500} \quad (\text{HP})$$

Donde: n esta en RPM; y $F = P + W$;

2.- Par motor efectivo (M_e).

Se calcula con la fórmula:

$$M_e = 1.581 \cdot F \quad (\text{N-m})$$

3.- Presión media efectiva (P_e).

Se calcula con la fórmula:

$$P_e = \frac{2\pi T M_e}{iV_h} 10^3 \quad (\text{MPa})$$

Donde: $T = 2$; $V_h = 3.86$ Lts.

Luego:

$$P_e = 0.543 \cdot M_e \quad (\text{MPa})$$

4.- Consumo de petróleo diesel (G_p).

Se calcula con la formula:

$$G_p = 3.6 \rho_p \frac{V_p}{t_p} \quad (\text{Kg/h})$$

donde:

$$\rho_p = 0.862 \text{ gr/cm}^3$$

V_p : Volumen del combustible diesel en cm^3

t_p : Tiempo en segundos

5.- Consumo de alcohol (Gal).-

Se calcula con la fórmula:

$$G_{al} = 3.6 \rho_{al} \frac{V_{al}}{t_{al}} \quad (\text{Kg/h})$$

donde:

$$\rho_{al} = 0.7851 \text{ gr/cm}^3$$

V_{al} : Volumen de alcohol en cm^3

t_{al} : tiempo en segundos

6.- Consumo total de combustible (G_{tot}).-

Se calcula con la fórmula:

$$G_{tot} = G_p + G_{al}$$

7.- Consumo específico de combustible (g_e).-

Se calcula con la fórmula:

- Sin RND

$$g_e = 1000 \frac{G_p}{N_e} \quad \text{gr/KW-h}$$

- Con RND

$$g_e = 1000 \frac{G_{tot}}{N_e} \quad \text{gr/KW-h}$$

8.- Consumo de aire (Ga).-

Se calcula con la fórmula:

$$G_a = 3600 C_d A \sqrt{2 g \rho_{H_2O} \Delta h \rho_{aire}} \quad \text{Kg/h}$$

donde:

Δh : caída de presión en el medidor en cm de H₂O

ρ_{H_2O} : densidad del agua

ρ_{aire} : densidad del aire

Cd : coeficiente de descarga = 0.622

A : Area de la sección de estrangulamiento del aire
= $2.3243 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

9.- Coeficiente de exceso de aire (α).-

Se calcula con la fórmula:

-Sin RND

$$\alpha = \frac{G_a}{G_p l_{op}}$$

- Con RND

$$\alpha = \frac{G_a}{\sum_1^n (G_i l_{oi})}$$

- con alcohol

$$\alpha = \frac{G_a}{G_p l_{op} + G_{al} l_{oal}}$$

donde:

l_{op} : 14.45

l_{oal} : 9.073

10.- Porcentaje del combustible a través del RND.-

Se calcula con la fórmula:

$$\%RND = \frac{G_c}{G_{tot}} 100 \quad (\%)$$

11.- Rendimiento efectivo (η_e).-

Se calcula con la fórmula:

$$\eta_e = \frac{3.6N_e}{G_p H_{up} + G_{al} H_{ual}}$$

donde:

$$H_{up} = 42.68 \text{ MJ/Kg}$$

$$H_{ual} = 26.89 \text{ MJ/Kg}$$

4.4.- PROTOCOLO DE PRUEBAS

Todas las magnitudes, medidas, controladas y calculadas, así como los parámetros energéticos y ecológicos del motor se anotan en el protocolo de pruebas mostrado en la Fig. 4.15

PROTOCOLO DE ENSAYOS

TIPO DE ENSAYO: COMPORTAMIENTO DEL MOTOR DIESEL PERKINS C4.236v CON
 SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE COMPLEMENTARIO
 CARACTERISTICA DE CARGA

CONDICIONES DE ENSAYO

MARCA DEL MOTOR: PERKINS C4.236v
 RELACION DE COMPRESION : 16
 MARCA DEL FRENO: FROUDE
 POTENCIA NOMINAL: 80 HP
 RPM NOMINALES: 2800
 TIPO DE BANCO: NEWAGE

VELOCIDAD DE ROTACION : 1000 RPM
 POSICION DE LA CREMALLERA: VARIABLE
 ADELANTO DE LA INYECCION : 28° APMS
 PRESION DE INYECCION : 191 Kg/cm²
 TEMPERATURA DEL ACEITE: 65 - 100°C
 TEMPERATURA DEL AGUA : 70 - 95°C

COND. AMBIENTALES
 Po = 753.5 mm Hg
 TBS = 31.5°C
 TBH = 29.5°C

FECHA : 4 - 04 - 92

PUNTO	PARAMETROS MEDIDOS						PARAMETROS CALCULADOS								
	B + W (Lb-f)	Vp (cc)	Tp (seg)	Valc (cc)	Talc (seg)	Lb (pul-HzO)	BOSCH (U.B)	Me (N-a)	Me (KW)	Gtot (Kg/h)	gc (gr/KW-h)	Ga (Kg/h)	α	XRFD	ηe
1															
2															
3															
4															
5															

Fig. 14.15

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Consumo Especifico de Combustible v.s Potencia
CONDICIONES AMBIENTALES : TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION : 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CRMALLERA : Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 1500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

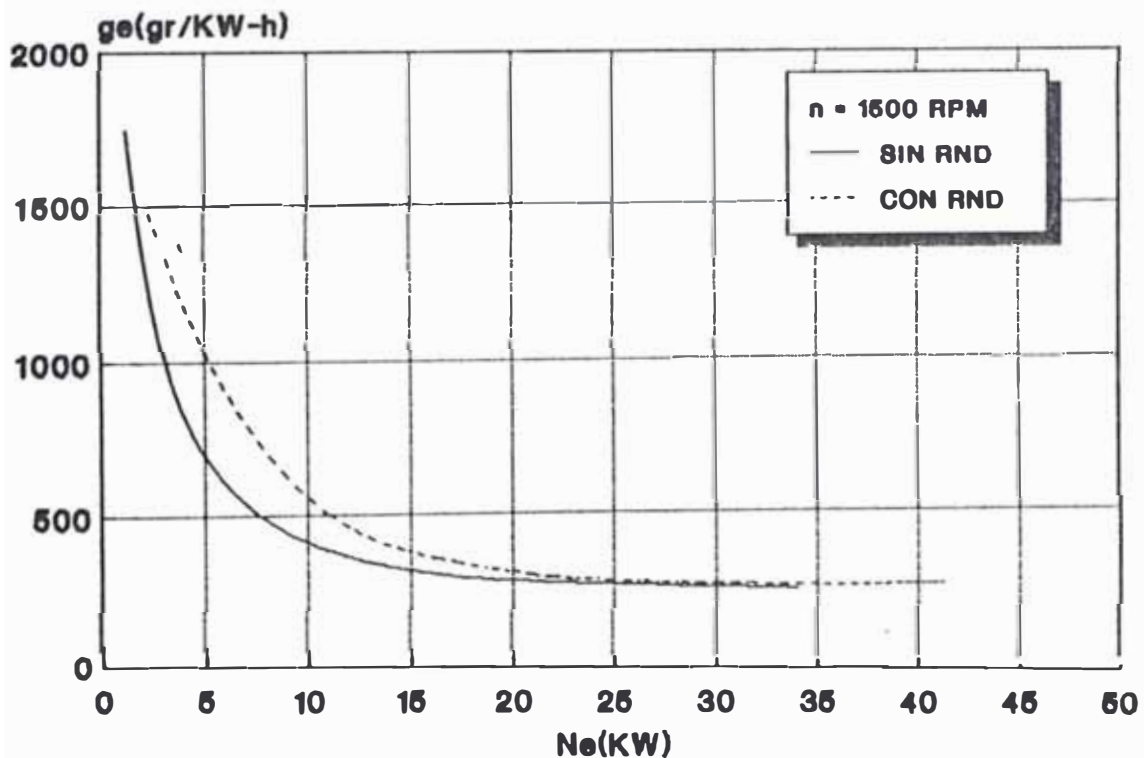


Fig. 4.16 Caraterística de Carga a 1500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Bosch v.s Potencia

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION:

: 28° APMS

POSICION DE LA CERMALLERA

: Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR

: 1500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION

: 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE

: 65 - 100°C

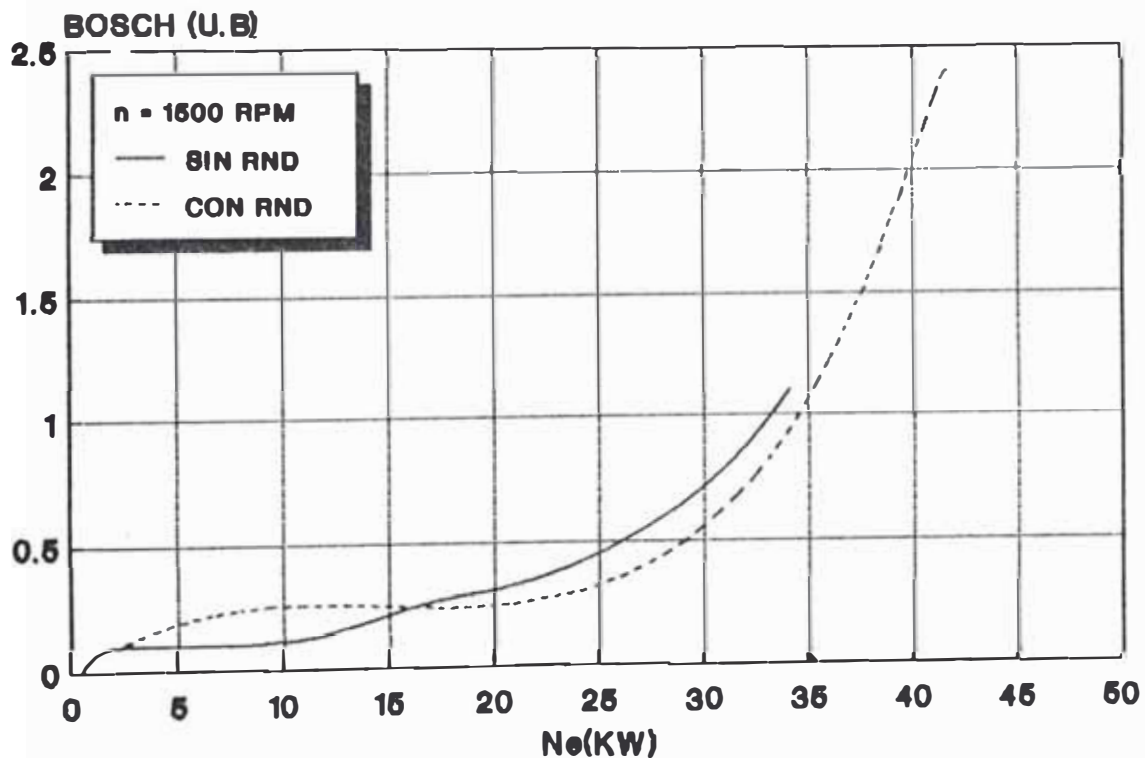


Fig. 4.17 Característica de Carga a 1500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: % de Alcohol suministrado por el RND v.s Potencia
CONDICIONES AMBIENTALES : TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION : 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA : Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 1500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

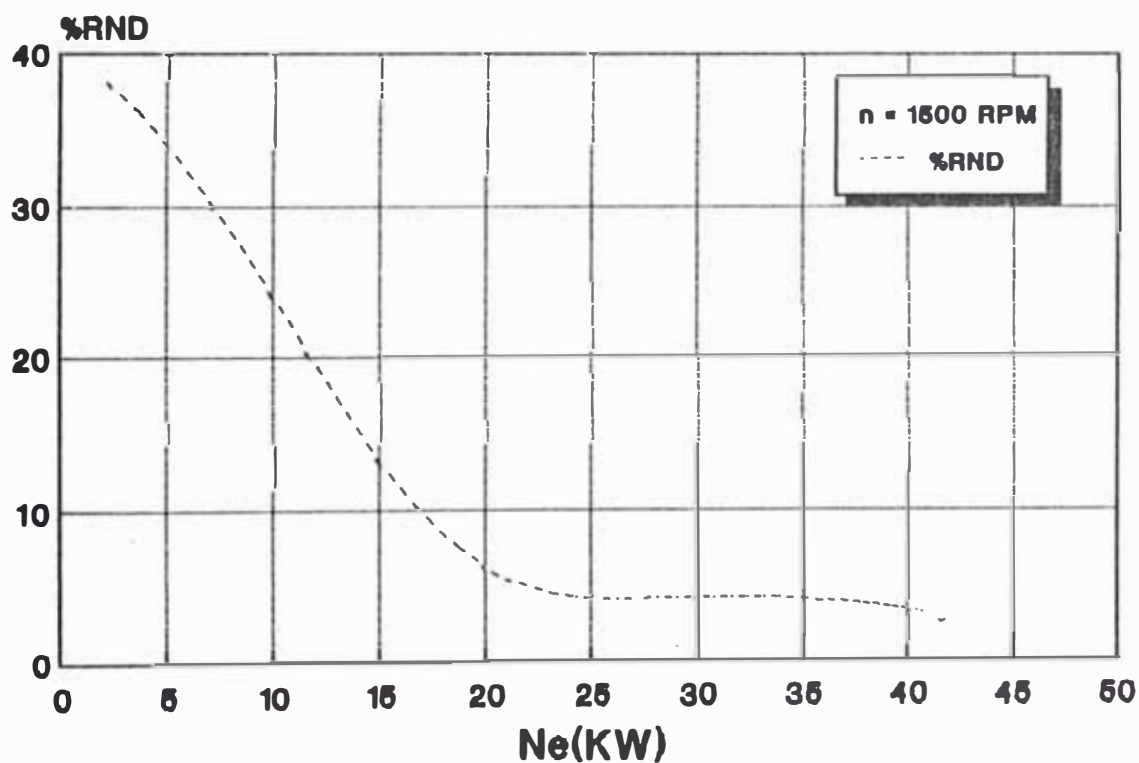


Fig. 4.18 Característica de Carga a 1500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Consumo Especifico de Combustible v.s Potencia
 CONDICIONES AMBIENTALES : TBS = 31.5°C TBH = 29.5
 Po = 753.5 mmHg
 PRESION DE INYECCION : 190 Kg/cm²
 ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS
 POSICION DE LA CREMALLERA : Variable
 VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 2000 RPM
 TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C
 TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

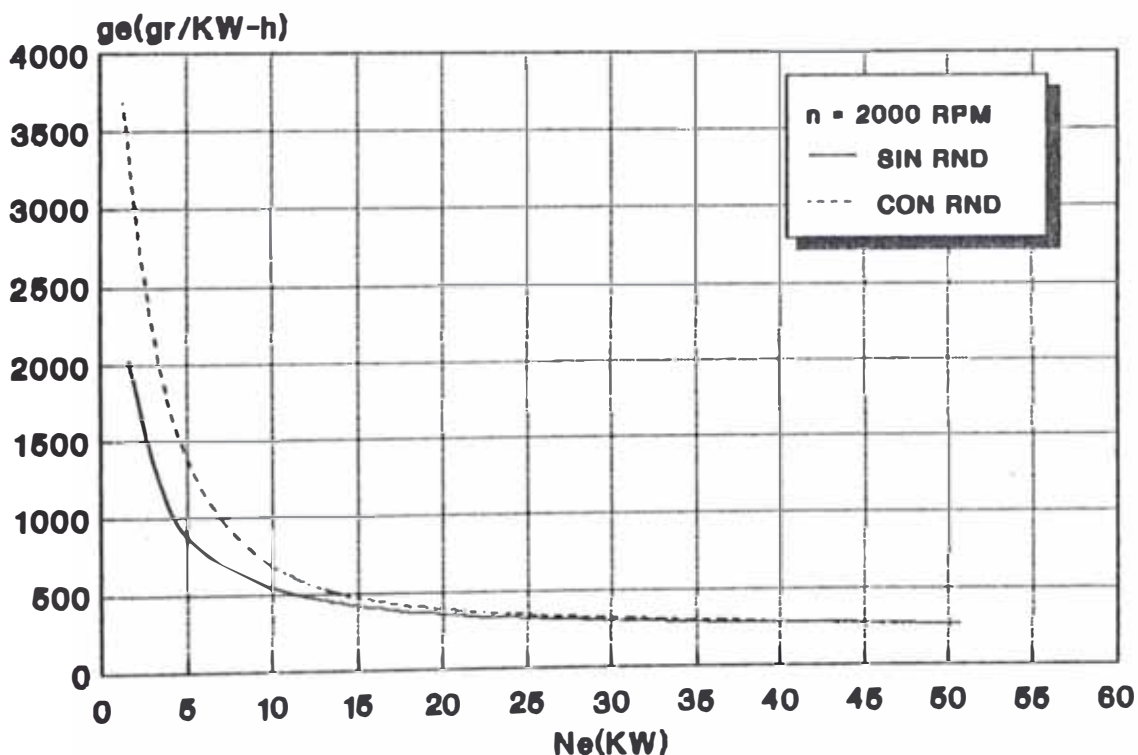


Fig. 4.19 Característica de Carga a 2000 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Bosch v.s Potencia

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA

: Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 1500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE

: 65 - 100°C

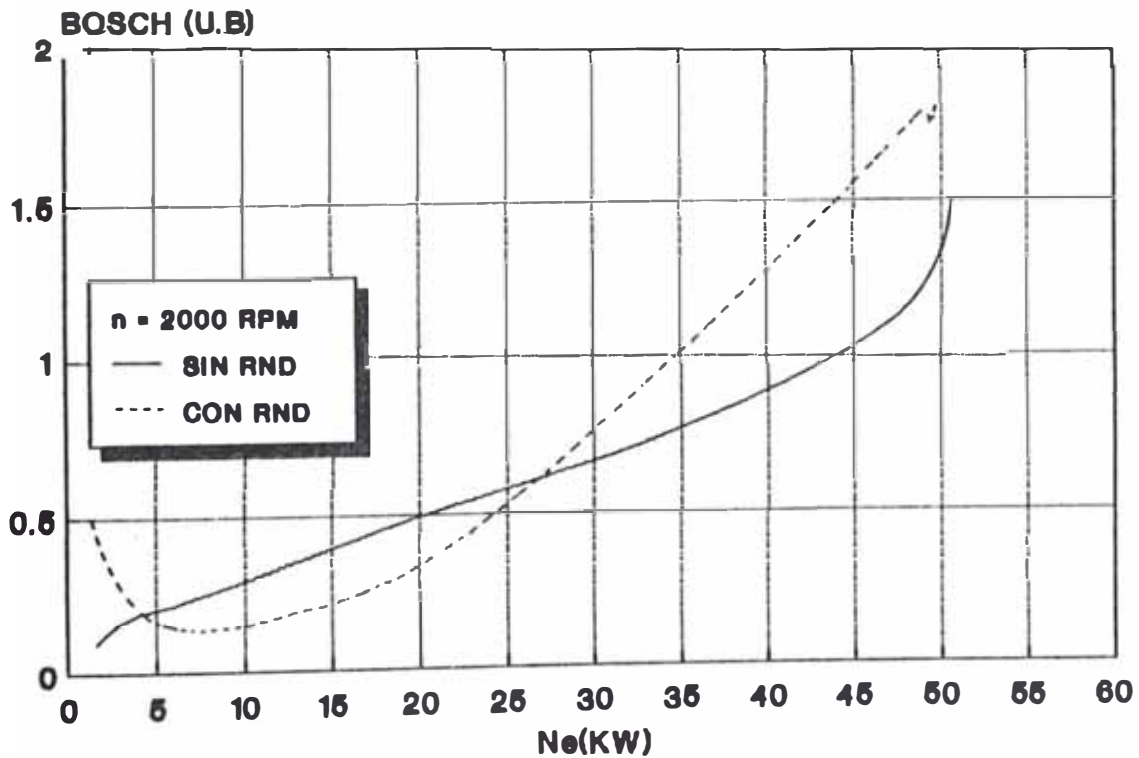


Fig. 4.20 Característica de Carga 2000 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: % de Alcohol suministrado por el RND v.s Potencia
 CONDICIONES AMBIENTALES : TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION : 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA : Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 2000 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

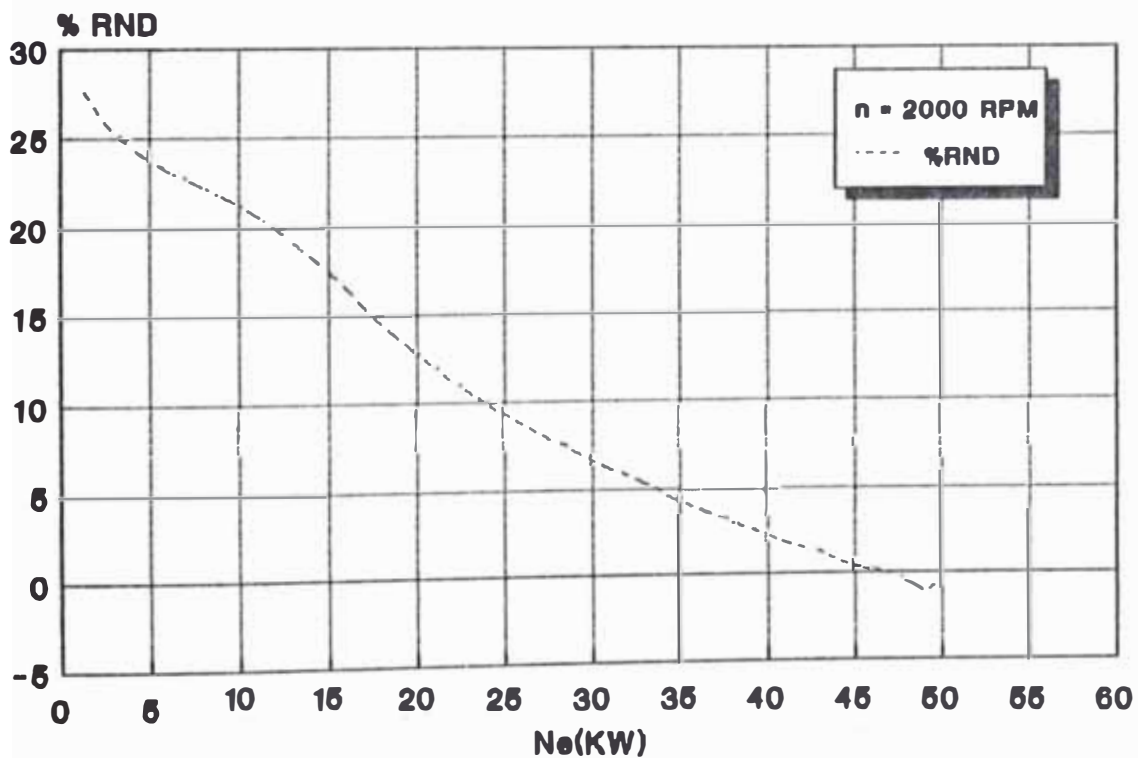


Fig. 4.21 Característica de Carga a 2000 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Consumo Especifico de Combustible v.s Potencia

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBI = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION:

28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA

: Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR

: 2500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION

: 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE

: 65 - 100°C

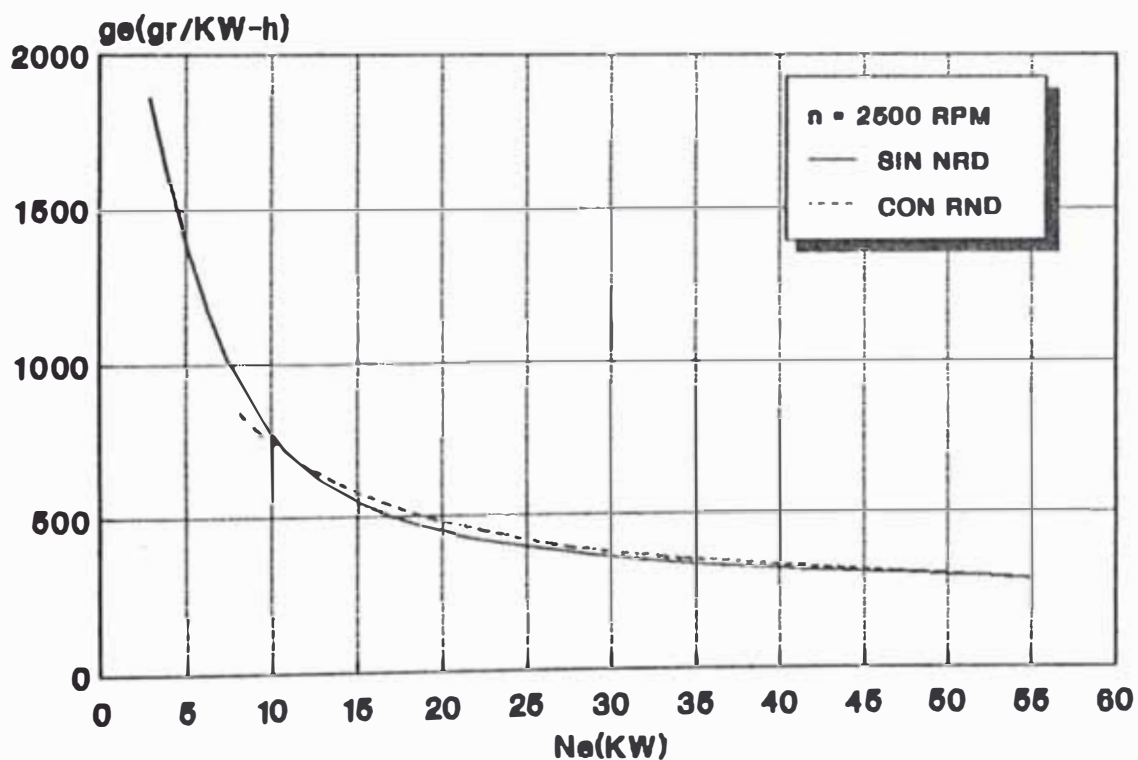


Fig. 4.22 Característica de Carga a 2500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Bosch v.s Potencia

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CRMALLERA

: Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 2500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE

: 65 - 100°C

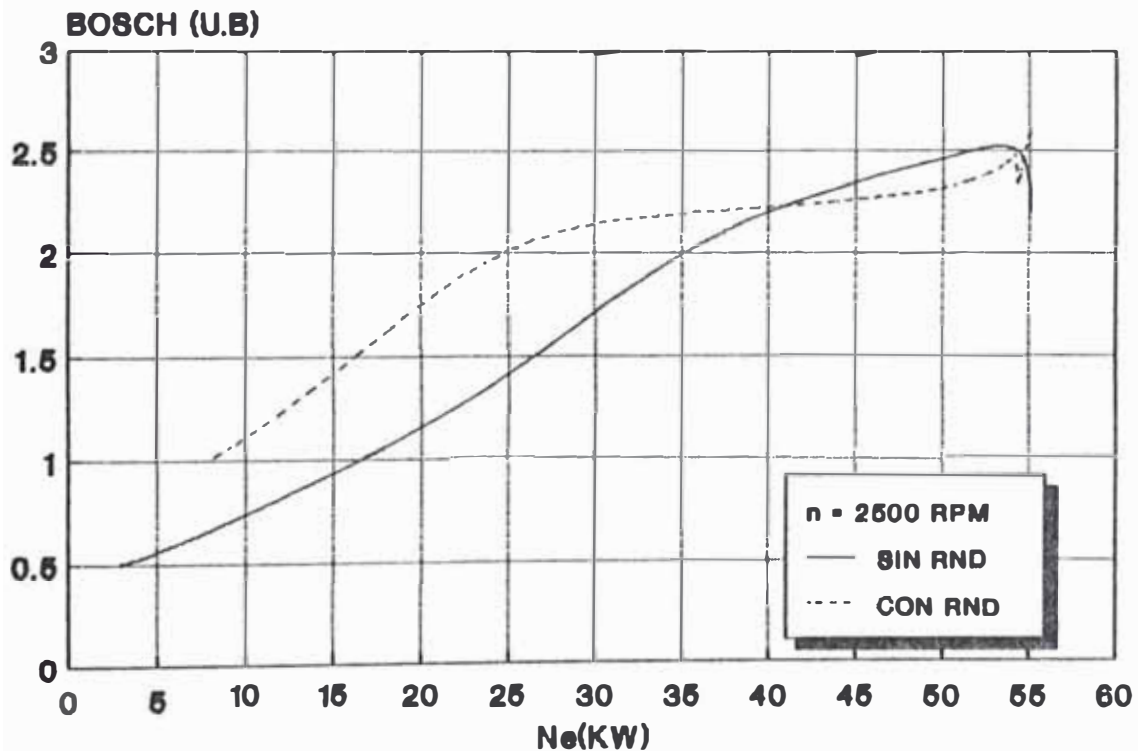


Fig. 4.23 Característica de Carga a 2500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: % de Alcohol suministrado por el RND v.s Potencia
 CONDICIONES AMBIENTALES : TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION : 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CRMALLERA : Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 2500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

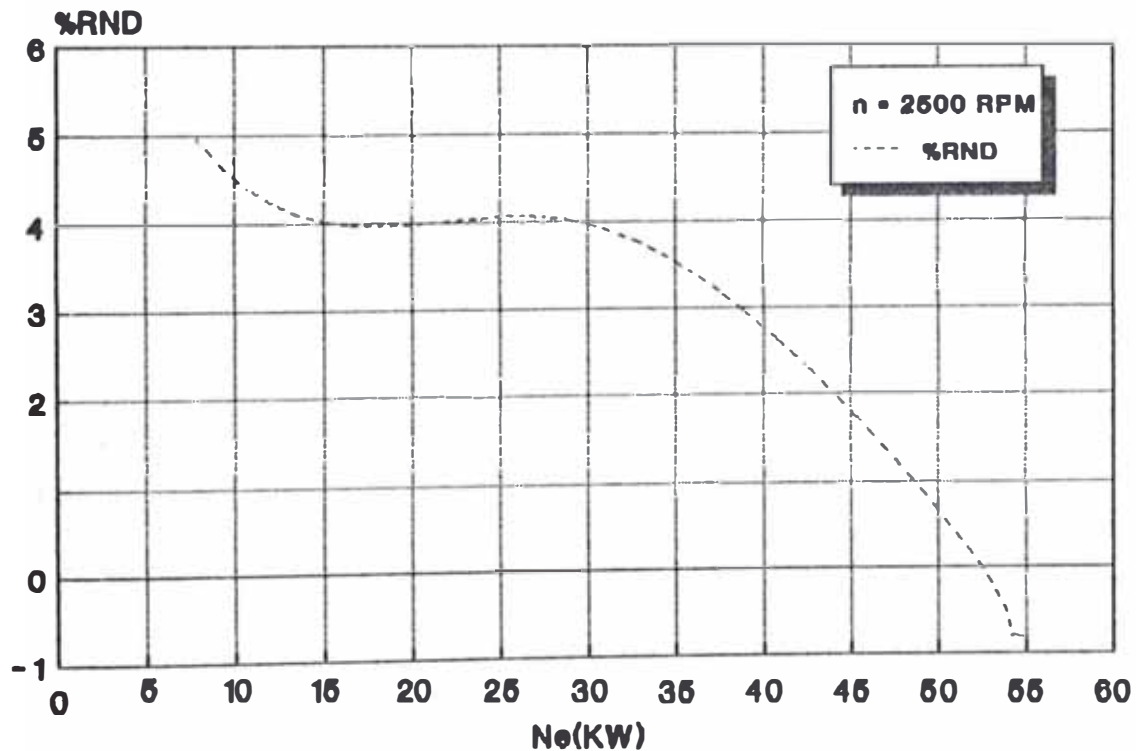


Fig. 4.24 Característica de Carga a 2500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Potencia v.s Alfa

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION:

28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA

: Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR

: 1500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION

: 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE

: 65 - 100°C

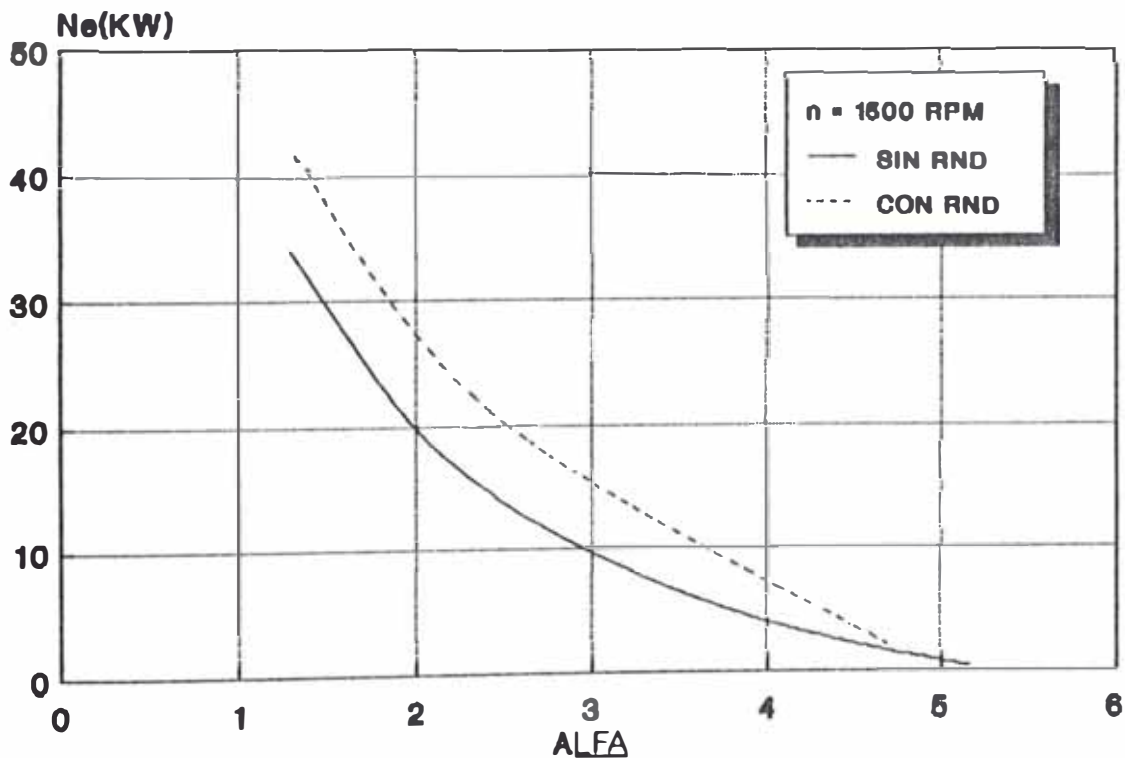


Fig. 4.25 Característica de Alfa a 1500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Consumo Especifico de Combustible v.s Alfa

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CRKALLERA

: Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 1500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE

: 65 - 100°C

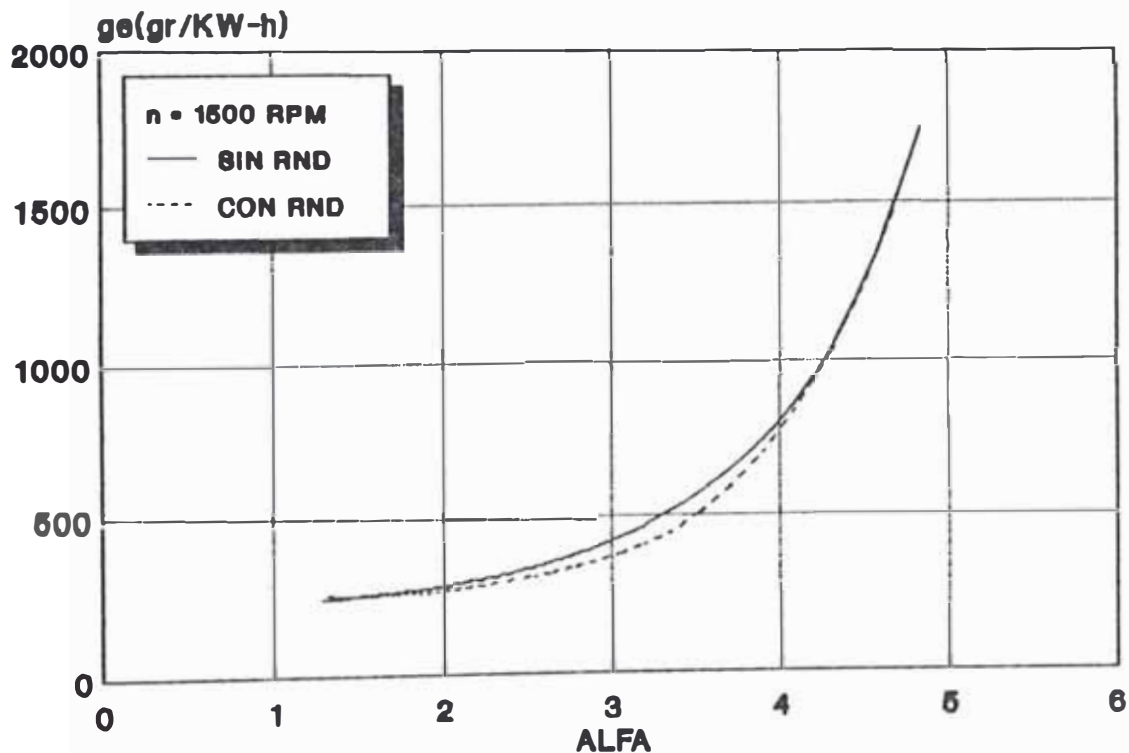


Fig. 4.26 Característica de Alfa a 1500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Bosch v.s Alfa

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA : Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 1500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

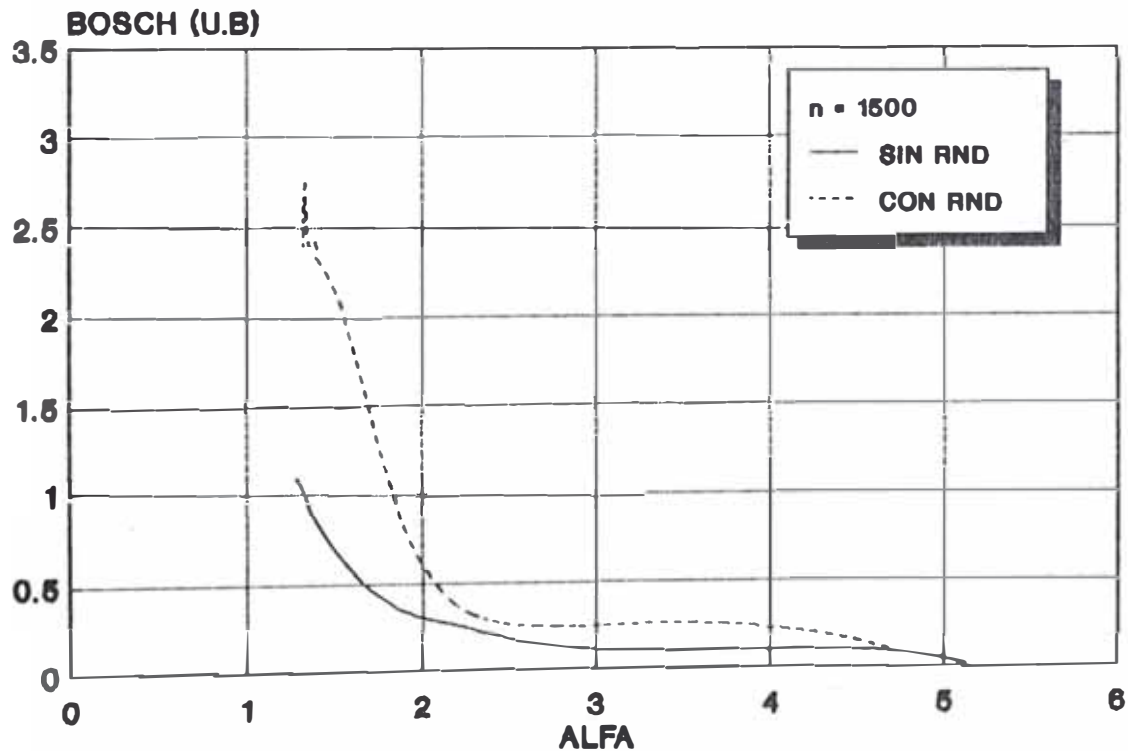


Fig. 4.27 Característica de Alfa a 1500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Potencia v.s Alfa

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA

: Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 2000 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION

: 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE

: 65 - 100°C

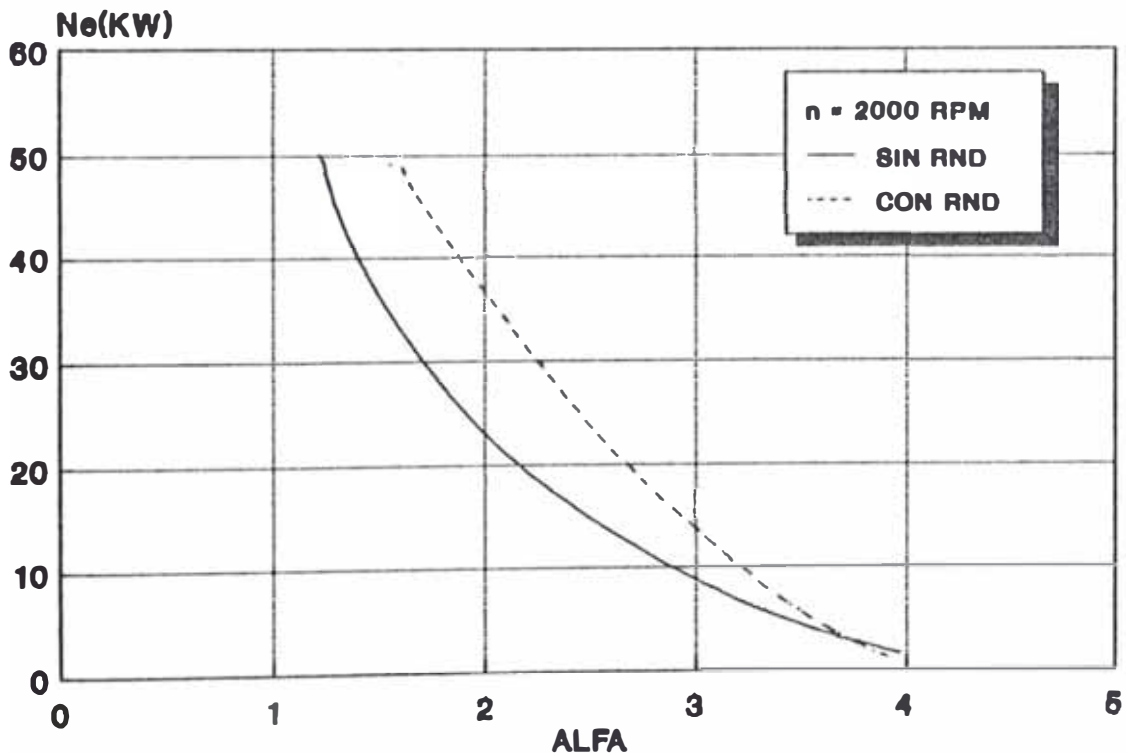


Fig. 4.28 Característica de Alfa a 2000 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Consumo Especifico de Combustible v.s Alfa

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA

: Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 2000 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION

: 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE

: 65 - 100°C

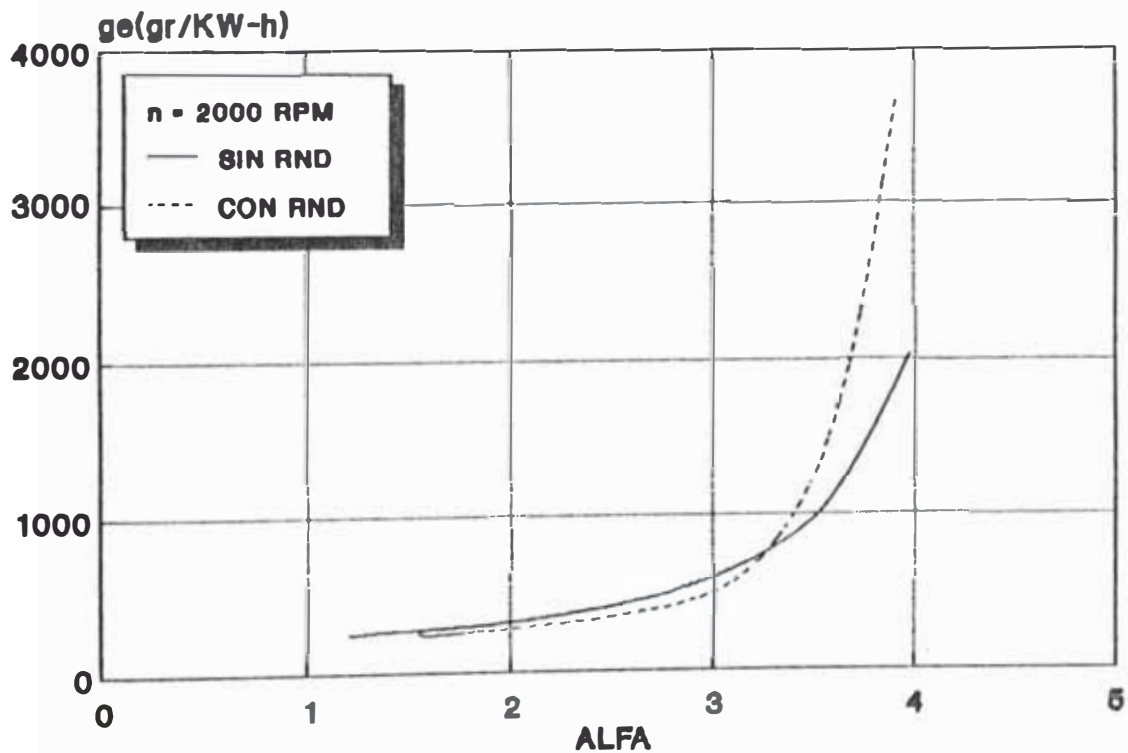


Fig. 4.29 Característica de Alfa a 2000 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Bosch v.s Alfa
CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5
Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION:

28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA

: Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR

: 2000 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION

: 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE

: 65 - 100°C

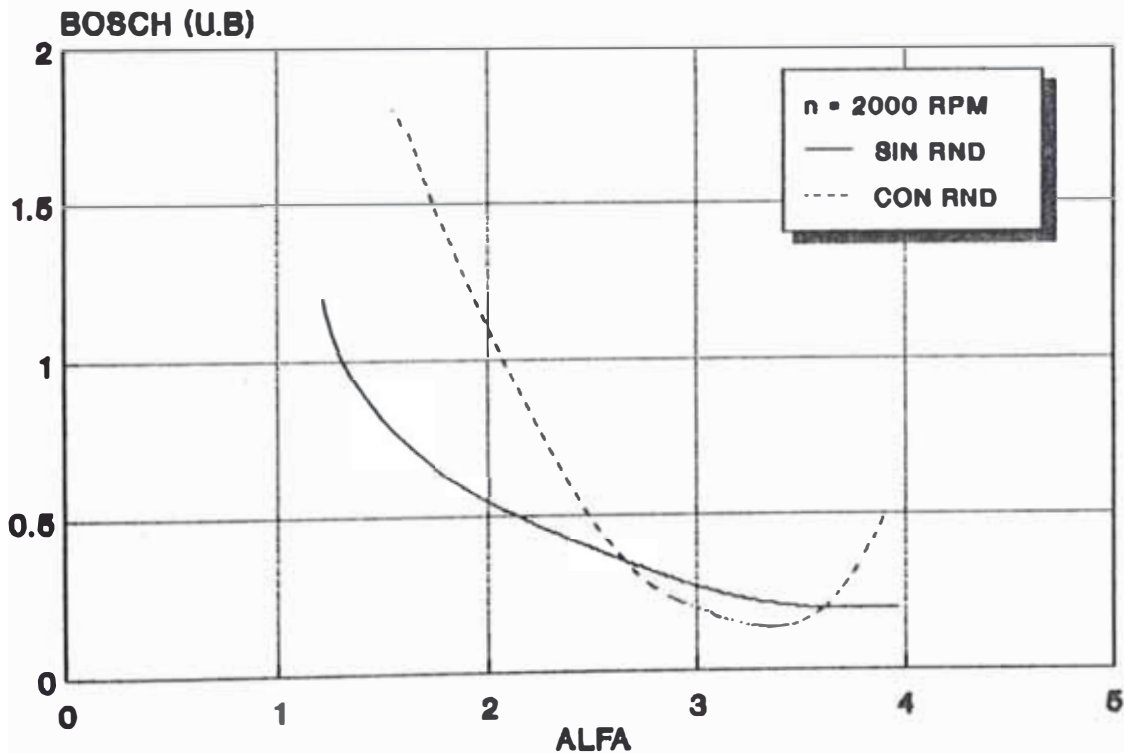


Fig. 4.30 Característica de Alfa a 2000 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Potencia v.s Alfa

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA

: Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 2500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

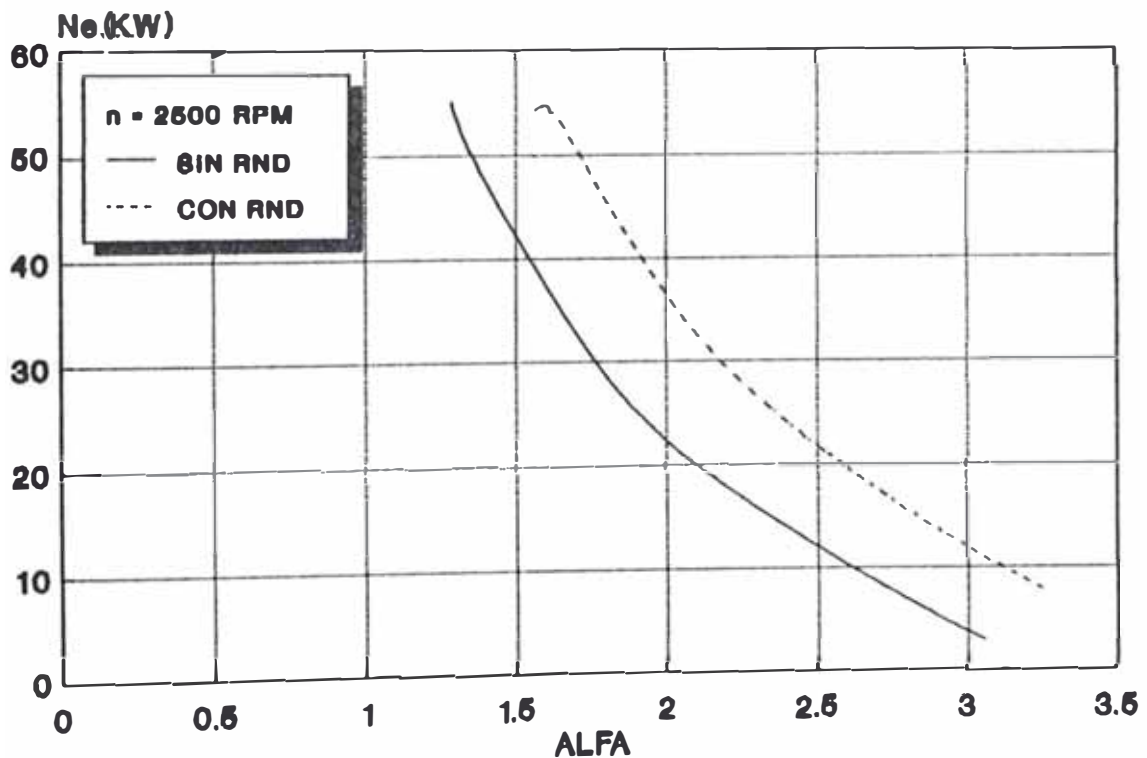


Fig. 4.31 Característica de Alfa a 2500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Consumo Especifico de Combustible v.s Alfa

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA

: Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 2500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION

: 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE

: 65 - 100°C

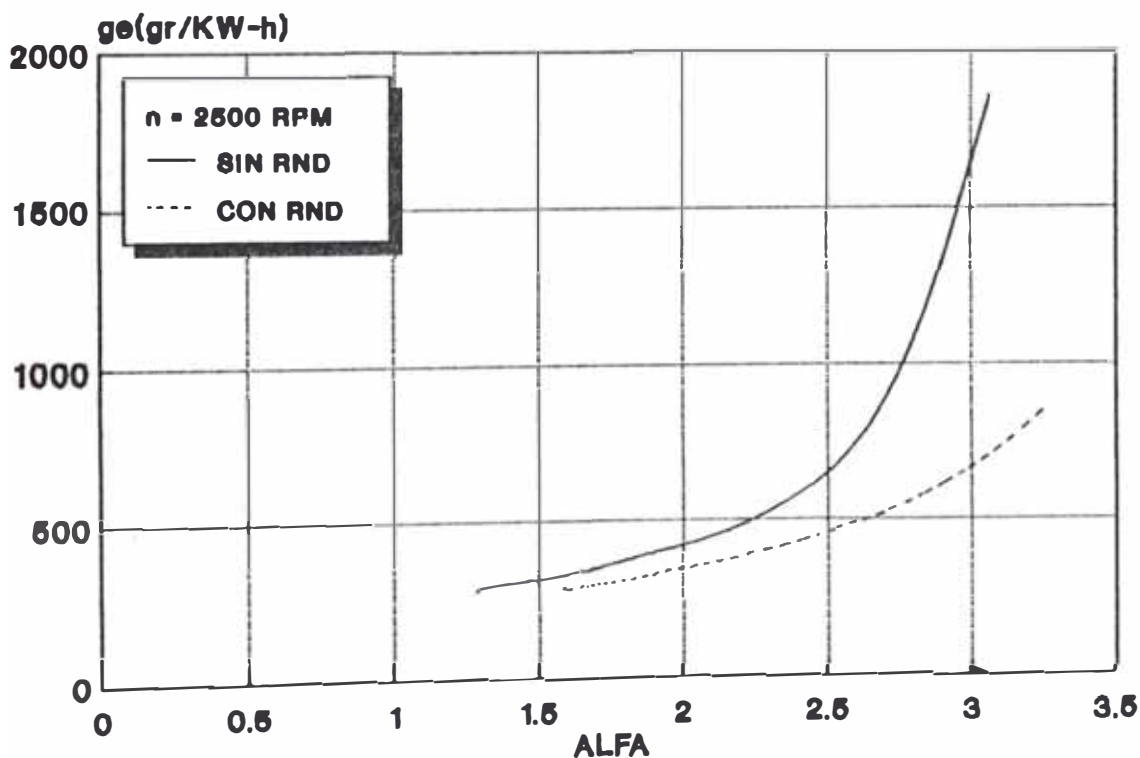


Fig. 4.32 Característica de Alfa a 2500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Bosch v.s Alfa
CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA

: Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 2500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE

: 65 - 100°C

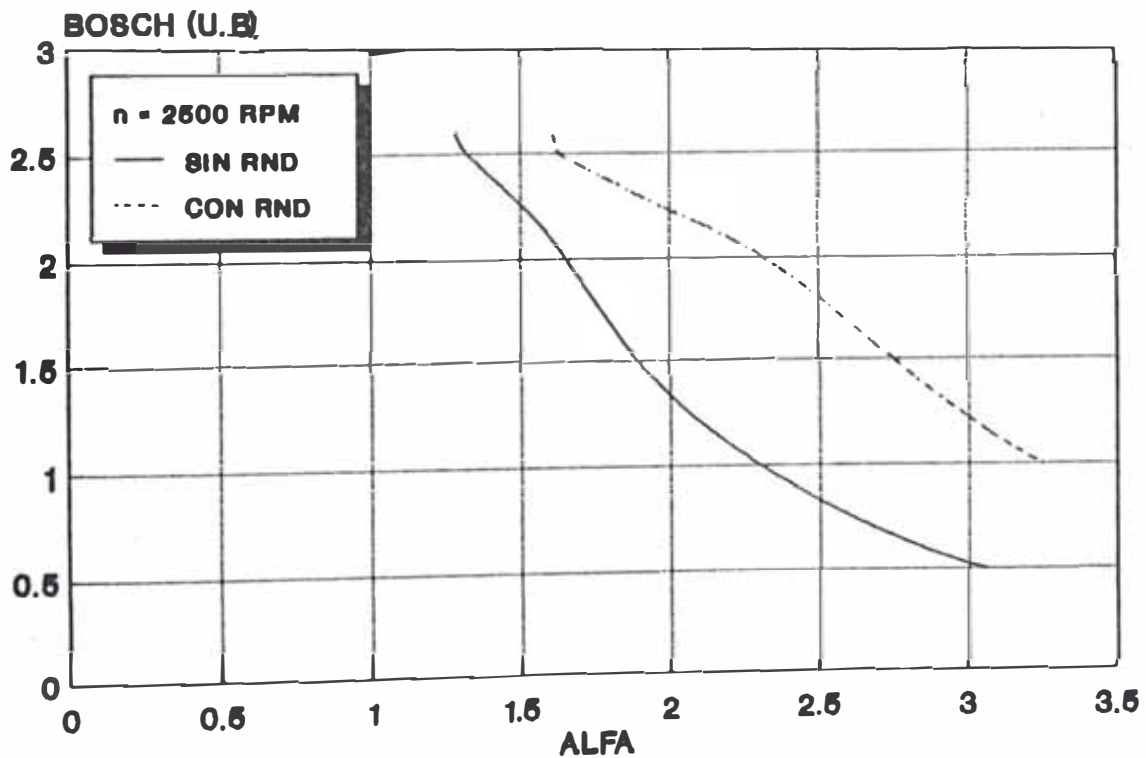


Fig. 4.33 Característica de Alfa a 2500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Momento v.s RPM

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TRH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION:

: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA

: Constante

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR

: Variable

TEMPERATURA DE REFRIGERACION

: 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE

: 65 - 100°C

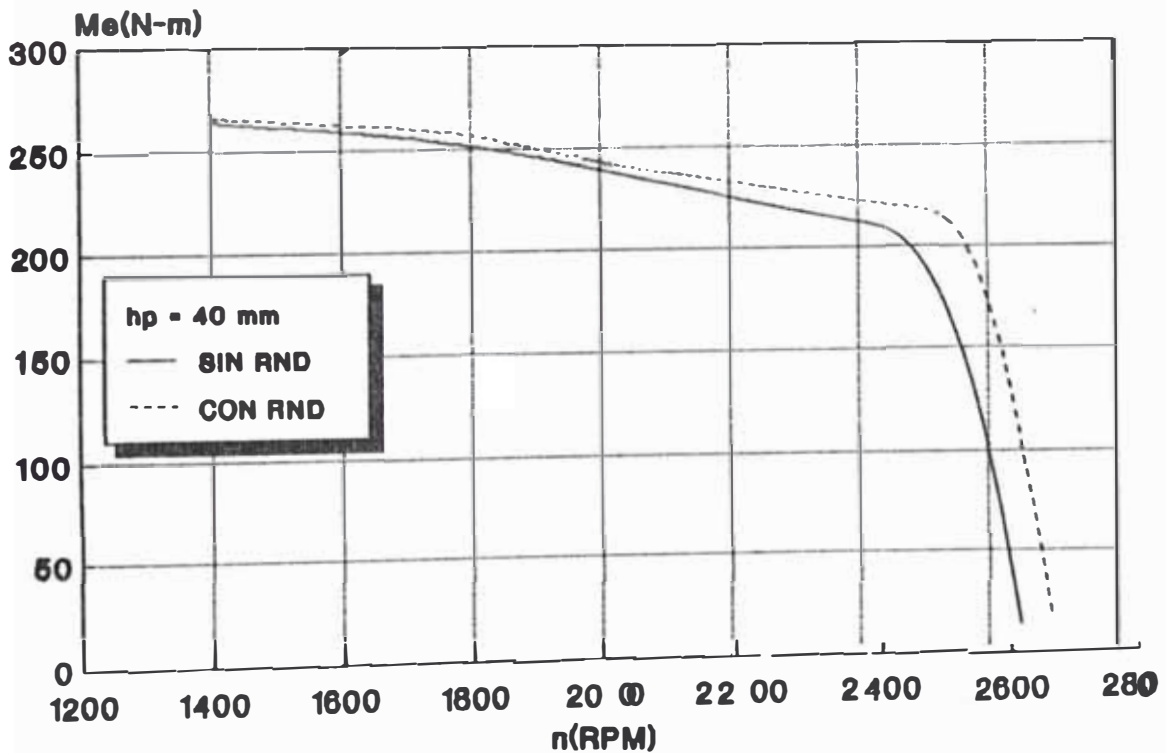


Fig. 4.34 Característica Externa de Velocidad

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Potencia v.s RPM

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA

: Constante

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : Variable

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE

: 65 - 100°C

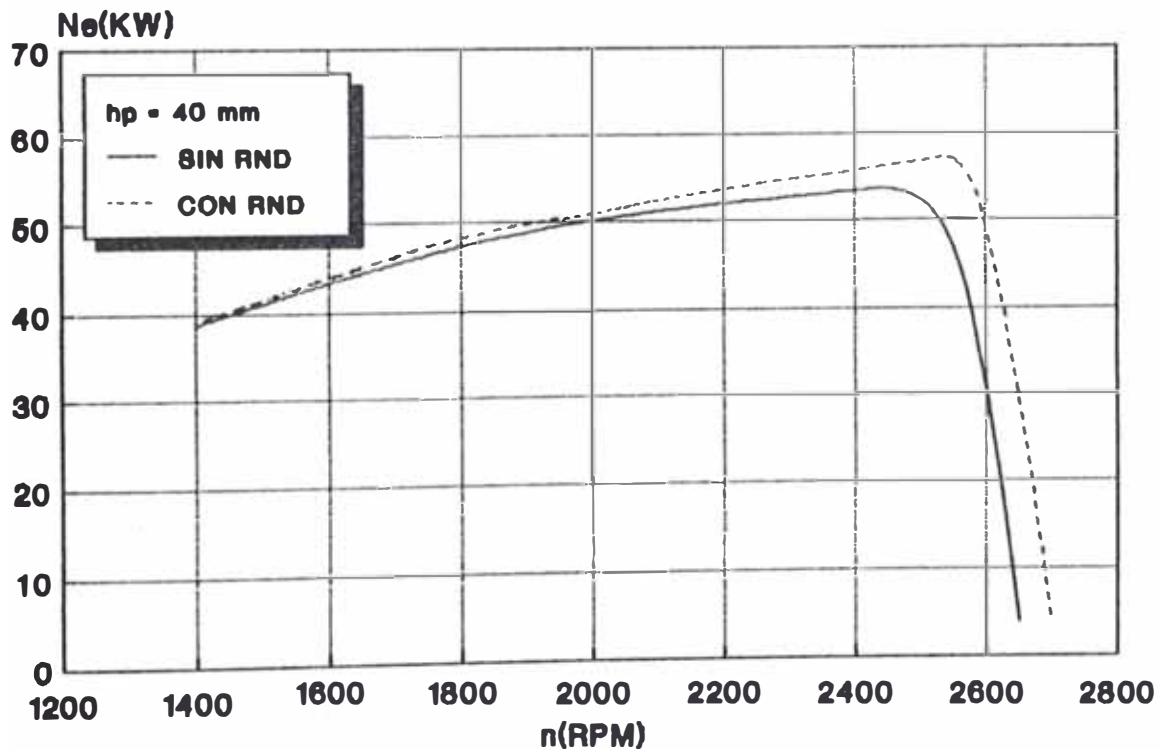


Fig. 4.35 Característica Externa de Velocidad

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Alfa v.s RPM

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA

: Constante

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : Variable

TEMPERATURA DE REFRIGERACION

: 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE

: 65 - 100°C

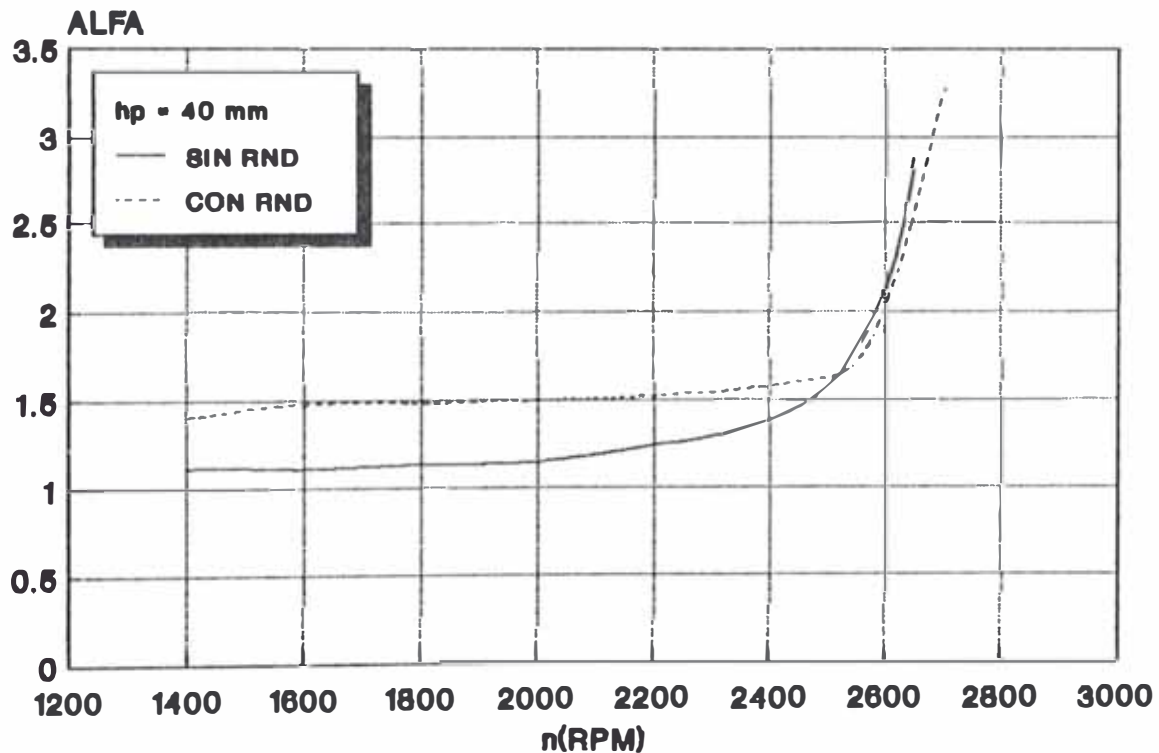


Fig. 4.37 Característica Externa de Velocidad

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Bosch v.s RPM

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA : Constante

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : Variable

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

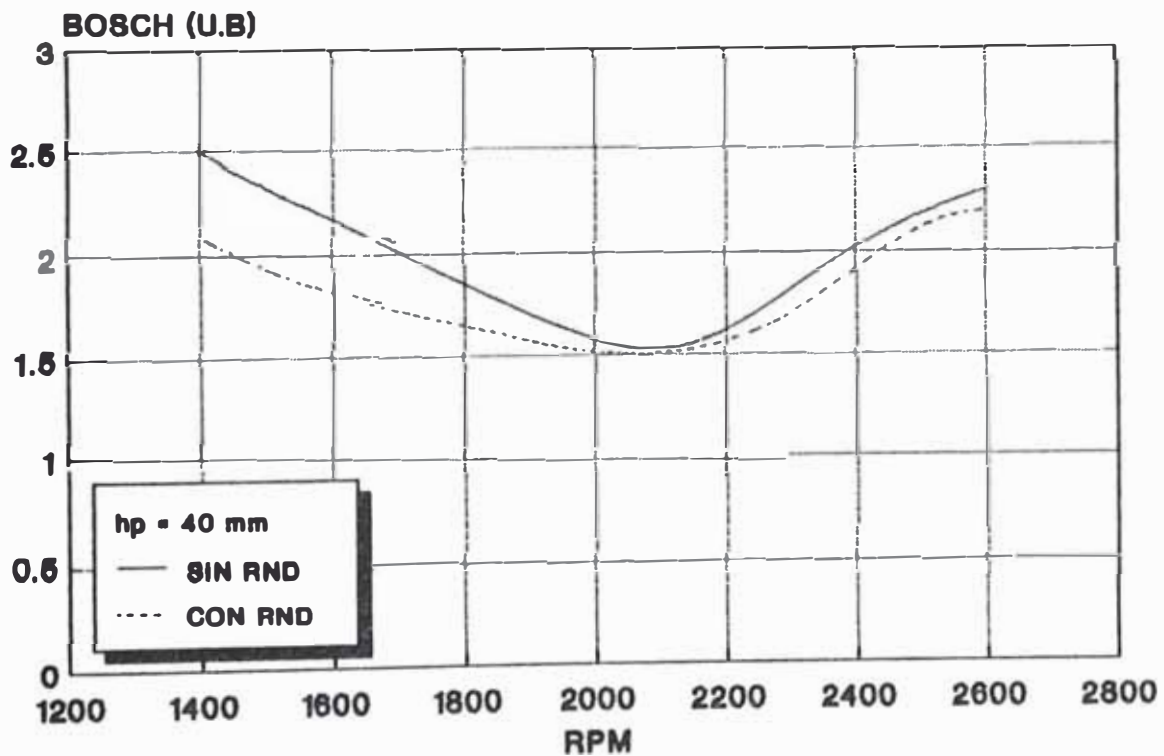


Fig. 4.38 Característica Externa de Velocidad

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: % de Alcohol suministrado por el RND v.s RPM

CONDICIONES AMBIENTALES : TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION : 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CERMALLERA : Constante

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : Variable

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

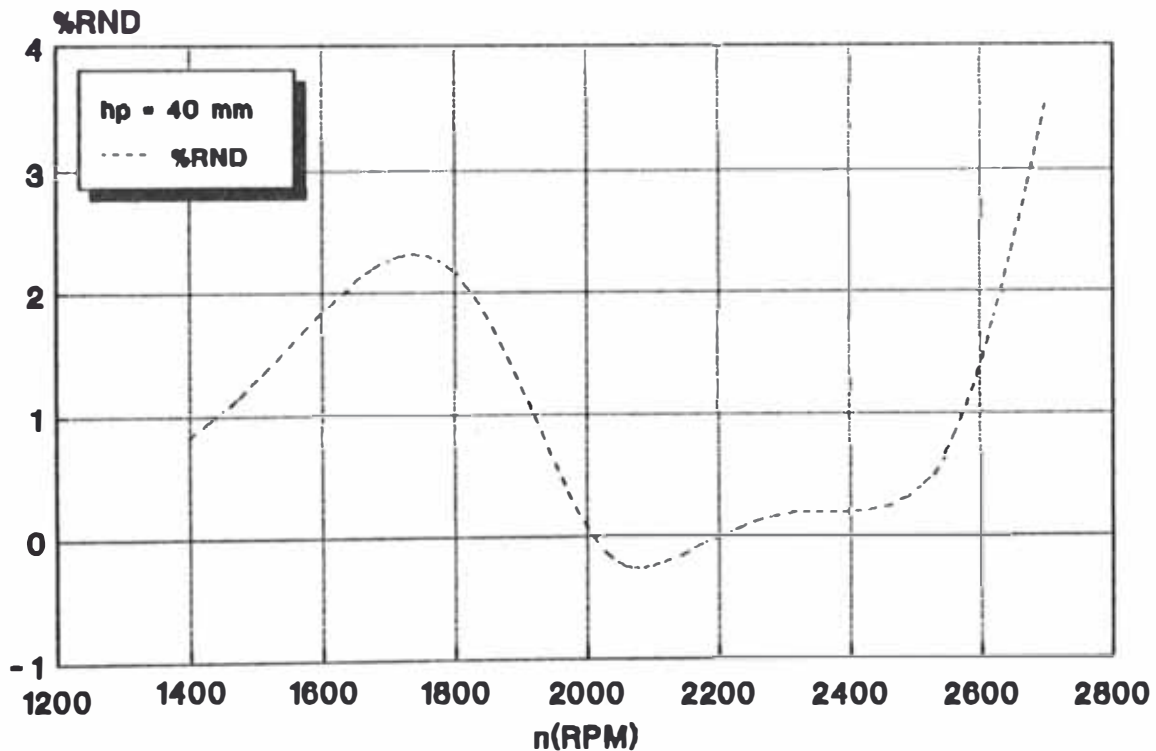


Fig. 4.39 Característica Externa de Velocidad

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Rendimiento Efectivo v.s Potencia

CONDICIONES AMBIENTALES : TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION : 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CRMALLERA : Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 1500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

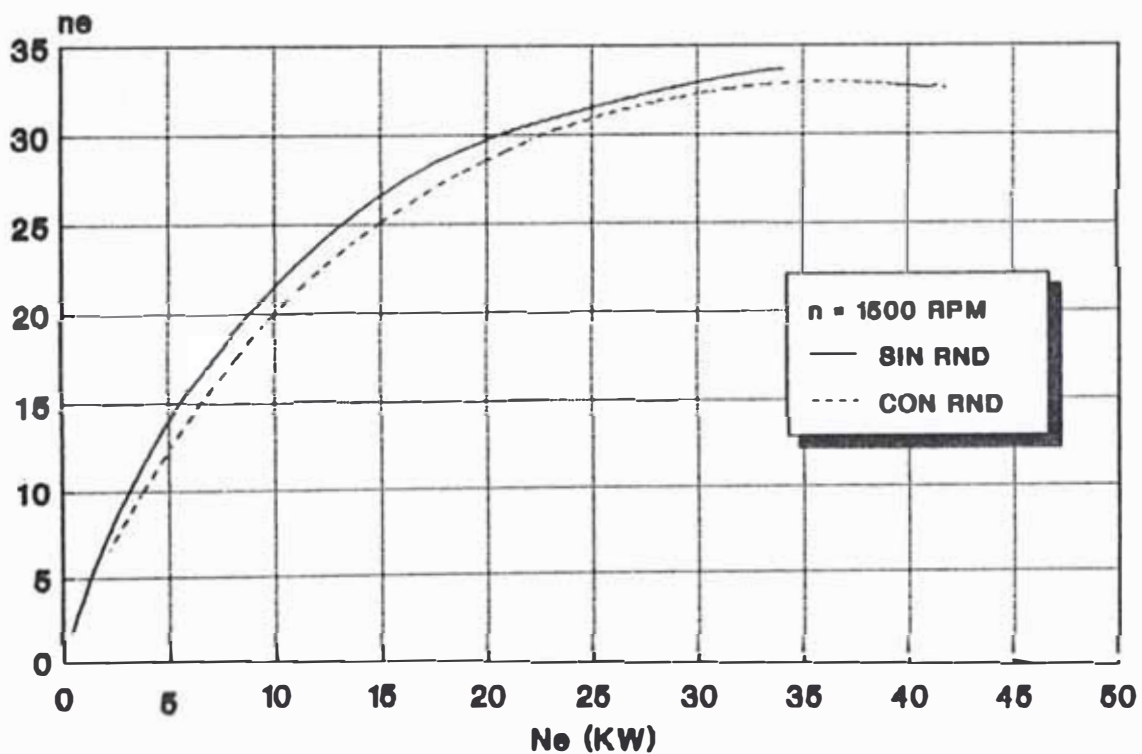


Fig. 4.40 Característica de Carga a 1500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Rendimiento Efectivo v.s Potencia

CONDICIONES AMBIENTALES : TBS = 31.5°C TBH = 29.5
Po = 753.5 mmHgPRESION DE INYECCION : 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA : Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 2000 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

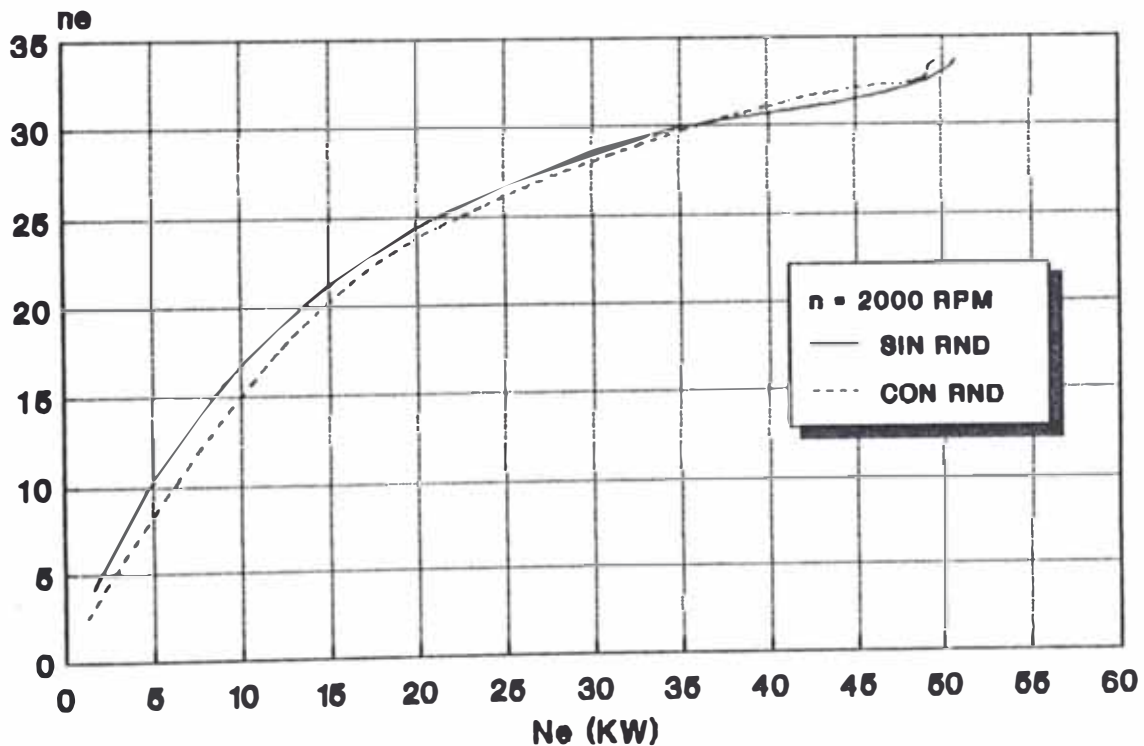


Fig. 4.41 Característica de Carga a 2000 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Rendimiento Efectivo v.s Potencia

CONDICIONES AMBIENTALES

: TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION

: 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA

: Variable

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : 2500 RPM

TEMPERATURA DE REFRIGERACION

: 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE

: 65 - 100°C

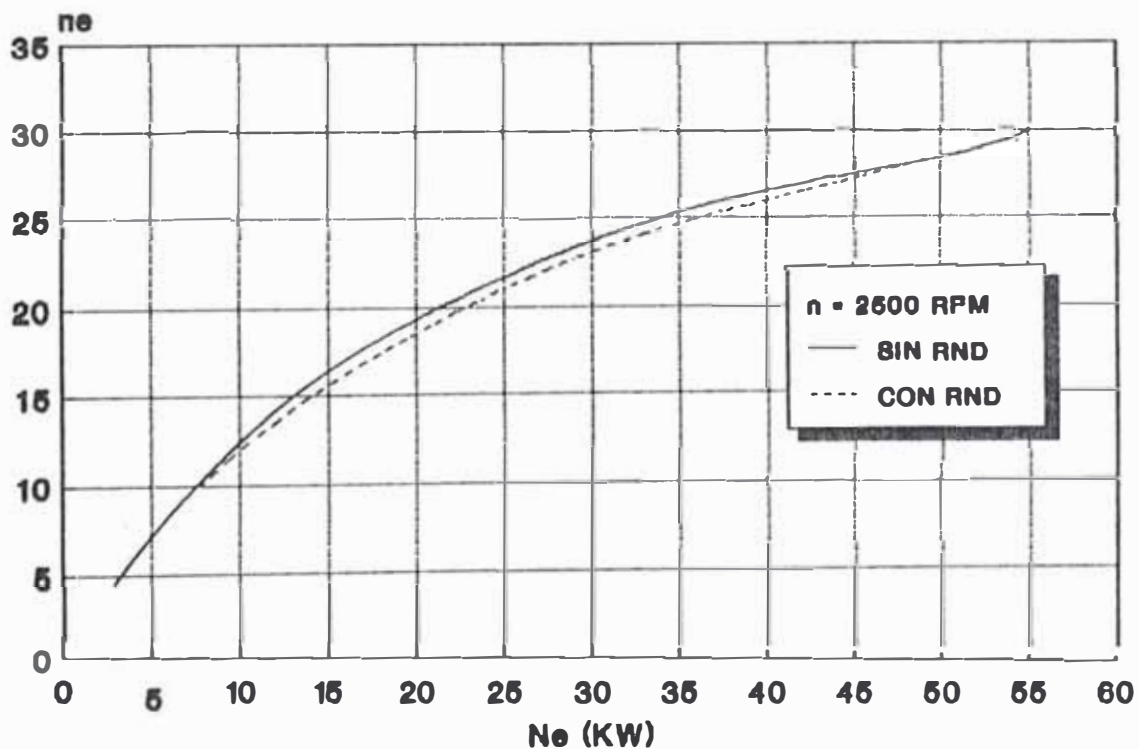


Fig. 4.42 Característica de Carga a 2500 RPM

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

BANCO EXPERIMENTAL NEWAGE "MOTOR PERKINS C4.236v"

GRAFICO: Rendimiento Efectivo v.s RPM

CONDICIONES AMBIENTALES : TBS = 31.5°C TBH = 29.5

Po = 753.5 mmHg

PRESION DE INYECCION : 190 Kg/cm²

ANGULO DE AVANCE DE LA INYECCION: 28° APMS

POSICION DE LA CREMALLERA : Constante

VELOCIDAD DE ROTACION DEL MOTOR : Variable

TEMPERATURA DE REFRIGERACION : 70 - 95°C

TEMPERATURA DEL ACEITE : 65 - 100°C

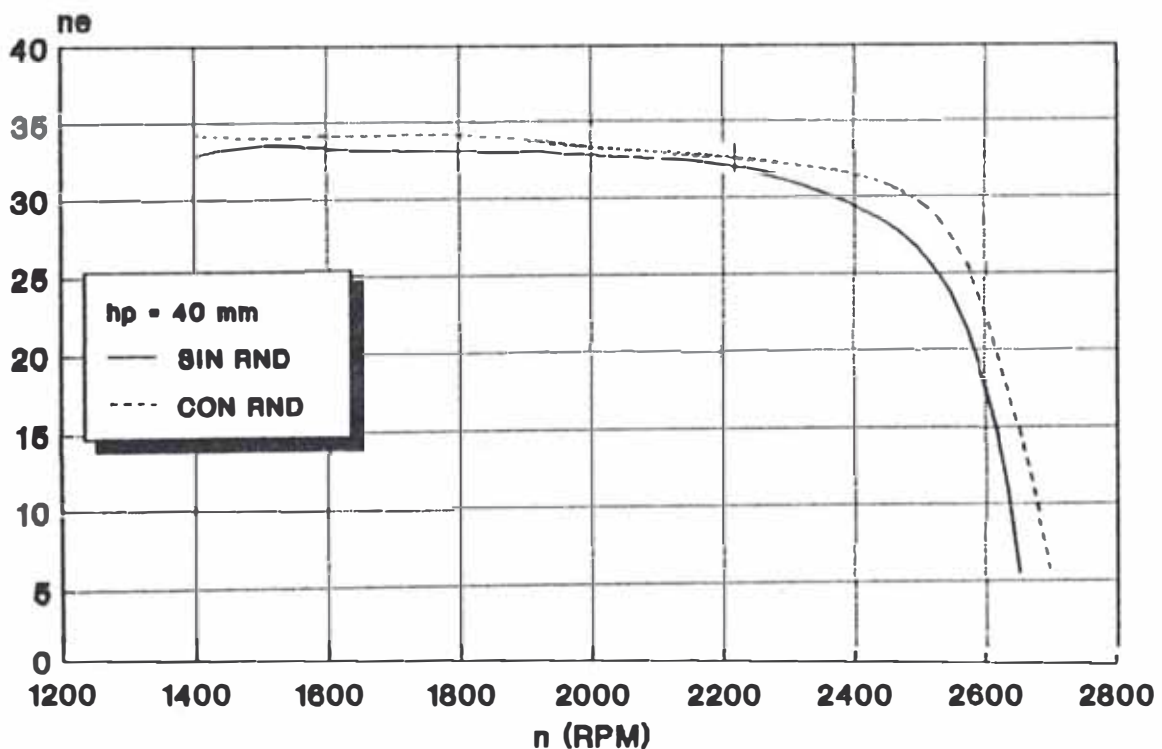


Fig. 4.43 Característica Externa de Velocidad

CAPITULO 5

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se hará un análisis comparativo de la variación de las diferentes propiedades del motor Perkins C4.236v al funcionar con y sin suministro de alcohol etílico, según los diferentes gráficos obtenidos de los ensayos que se realizaron en el banco de pruebas Newage.

CARACTERISTICAS DE CARGA

Si analizamos los gráficos en función del consumo específico de combustible (g_e), tal como se muestra en la fig. 4.16 en un régimen de 1500 RPM observamos que al introducir el alcohol se produce un aumento de g_e a bajas cargas en el rango de (0 a 20 KW), ya que justamente es en este rango es en el cual ingresa la mayor cantidad de combustible alternativo (hasta un 40%) y siendo el poder calorífico del alcohol mucho menor que el del diesel 2, entonces la potencia producida será menor es decir se necesitará mayor cantidad de combustible diesel + alcohol para producir la misma potencia que produciría una cantidad menor de diesel 2. solo, esto origina que g_e aumente, observándose lo mismo en la fig. 4.19 en un régimen de 2000 RPM, en donde en el rango de (0 a 20 KW), se produce también un incremento de g_e ingresando igualmente en este rango la mayor cantidad de alcohol (hasta un 30%), sin embargo en la fig. 4.22 en un régimen de 2500 RPM, el

consumo específico de combustible no aumenta significativamente con respecto al empleo de solamente diesel 2, esto se debe a que por la misma característica de la bomba a una mayor velocidad el porcentaje de alcohol admitido es menor, es así como en este régimen se consigue suministrar hasta un 5% de alcohol como máximo.

En la Fig. 4.25 se aprecia como al suministrar alcohol la curva de potencia (N_e) respecto al coeficiente de exceso de aire (α) se ve desplazado hacia arriba, es decir, que para quemar el combustible empleando la mezcla de diesel 2 + alcohol se requiere de una menor cantidad de aire que la que se requiere para quemar únicamente diesel 2, justificándose esto debido a que la molécula de alcohol C_2H_5OH para poder oxidarse desprendiendo calor, necesita menor cantidad de oxígeno que el diesel 2, luego al realizar la mezcla la cantidad de oxígeno requerido también disminuirá, es por esto que N_e aumenta, otro factor que influye en la variación de α es la cantidad de combustible que se está suministrando, es decir si suministramos mayor o menor cantidad de combustible a la misma cantidad de aire contenida en el cilindro del motor α aumentará o disminuirá respectivamente, luego pues se tendría que el valor de la potencia N_e debería disminuir marcadamente al incrementarse α acercándose a la curva de N_e sin suministro de combustible complementario ya que a mayores valores de α el porcentaje de alcohol admitido disminuye lo cual sin embargo no ocurre, lo que nos lleva a pensar que con

pequeños porcentajes de alcohol se produce una mejora en el proceso de combustión aprovechándose mejor el aire existente dentro de la cámara del motor, la misma tendencia ocurre en los regímenes de 2000 y 2500 RPM tal como se aprecia en las Figs. 4.28 y 4.31, comprobándose esta hipótesis en la Fig. 4.31 ya que en todo el rango de trabajo el porcentaje de alcohol admitido es bajo alrededor del 4%, pero sin embargo el porcentaje en el cual aumenta la potencia N_e con respecto al coeficiente de exceso de aire es en promedio constante e igual al 20%.

Con respecto al número de Bosch su valor bien aumenta o disminuye tal como se aprecia en la Fig. 4.17, aumentando en el rango de (0 a 17 KW) y disminuyendo en el rango de (17 a 30 KW), para el régimen de 1500 RPM, se explica esto debido a que en el primer rango es donde ingresa la mayor cantidad de combustible complementario y siendo el alcohol más volátil que el diesel 2, se evapora primero mezclándose con el aire de la cámara originando que el petróleo diesel que posteriormente se evapora, parte de éste no alcance a mezclarse con suficiente aire para inflamarse completamente contribuyendo a la formación de carbonilla, además el alcohol al evaporarse absorbe parte del calor de las paredes del cilindro del motor enfriando la cámara y dificultando que las gotas de petróleo absorban este calor para evaporarse rápidamente y mezclarse con el aire, sin embargo esto puede ser corregido regulando el ángulo de adelanto de la inyección y optimizando su valor de acuerdo

al menor nivel de humos, pero no se considero necesario, ya que a pesar de aumentar el numero de Bosch este se encuentra en un nivel aceptable menor a 3 U.B, además que su aumento se produce en la zona donde el número de Bosch es más bajo, sin embargo para el segundo rango se experimenta una disminución en el nivel de humos puesto que la cantidad de alcohol que ingresa es menor lo cual es sumamente ventajoso ya que en este rango es donde en nivel de humos es mayor.

En la Fig. 4.20 para el régimen de 2000 RPM ocurre lo contrario, es decir, a bajas cargas de (5 a 27 KW), el nivel de humos es mucho menor al introducir un mayor porcentaje de alcohol y de (27 a 50 KW), se experimenta un aumento en el número de Bosch ocurriendo esto debido a la forma y tipo de cámara de combustión en la que la formación de la mezcla es de tipo volumétrica y la inyección es directa, además se suma a esto la característica misma de la bomba que al ser de tipo rotativa genera que en este régimen ingrese mayor cantidad de alcohol a través de los cilindros 1 y 4 e ingrese menos por los cilindros 2 y 3, originándose la variación antes mencionada con respecto a los otros regímenes.

En la Fig. 4.23 en el régimen de 2500 RPM al igual que en el régimen de 1500 RPM, al emplear alcohol se observa que a bajas cargas aumenta el número de Bosch en un rango de (0 a 40 KW) y disminuye en el rango de (40 a 55 KW) con respecto al empleo único de diesel 2, algo que es muy

favorable ya que a bajas cargas el número de Bosch es también bajo, es decir que el incremento que ocurre al emplear alcohol no es significativo, pero sin embargo a plena carga donde ocurre los mayores valores en el número de Bosch, se experimenta una disminución de este al emplear alcohol, siendo esto lo que fundamentalmente se busca.

El rendimiento efectivo (η_e) es un indicador de cuan bien se esta aprovechando la cantidad de calor que entrega el combustible al ser quemado totalmente, luego al calcular este factor de los resultados de las pruebas que se realizaron tal como se aprecia en las Figs. 4.40, 4.41 y 4.42, se puede comprobar como a pesar de tener el alcohol un poder calorífico en casi un 50% menor que el diesel 2, sin embargo el valor de η_e disminuye solamente en un 5% como máximo al emplear alcohol en todo el rango de suministro, ocurriendo esto a pesar de no haber realizado las pruebas de regulación para optimizar los parámetros explotacionales del motor e inclusive en la Fig. 4.41 se experimenta un aumento de η_e en el rango de (37 a 50 KW) lo cual demuestra las cualidades del alcohol al ser empleado en los motores diesel.

CARACTERISTICA DE VELOCIDAD

Las curvas de velocidad son un parámetro que también nos da una idea importante de lo que se va a ganar al emplear alcohol etílico mezclando con petróleo en el proceso de trabajo del motor, como podemos ver claramente

en la fig. 4.34 en la que el torque aumenta en todo el rango de velocidad, e inclusive otra de las ventajas esta en que la curva M_e se ve desplazada hacia la derecha, originando que el límite de la velocidad nominal se vea incrementado de esta manera se tendrá pues un mayor rango de trabajo estable sin llegar a que el motor se embale.

En la Fig. 4.35 también la potencia se ve incrementada significativamente hasta en un 18 %, donde la cantidad de alcohol admitido es de un 4% como máximo, ya que siendo estas curvas las externas de velocidad, es decir, trabajando con la máxima posición de la cremallera, y como se vio anteriormente sabemos que el $\%RND = f(N_e, n)$, entonces al trabajar con un máximo suministro de combustible sólo logra ingresar hasta el 4% de alcohol como máximo y justamente este porcentaje el más óptimo que mejora la combustión, la emisión de humo, α y la potencia al eje.

De la Fig. 4.36 se tiene un aumento en el rango de trabajo del motor desplazandose la curva de g_e hacia la derecha al emplear alcohol, es decir que si trabaja en este nuevo rango no hay el riesgo de estar trabajando por encima de límite de humos o el límite de máxima economía.

CONCLUSIONES

- 1.- El empleo del RND tiene la ventaja de ser un dispositivo pequeño y fácilmente adaptable en cualquier tipo de motor diesel de inyección directa, con bomba de inyección de tipo rotativa o lineal, que permite introducir cualquier tipo de combustible complementario sin realizar mayores modificaciones en la bomba de inyección, solamente se requerirá realizar una correcta regulación de ésta de acuerdo a sus requerimientos, siendo justamente ésta una de las mayores ventajas en comparación con cualquier otra forma planteada para introducir combustibles complementarios a un motor diesel.
- 2.- Al introducir a través del RND alcohol etílico, se tiene la ventaja que para cualquier régimen y a cualquier porcentaje de alcohol se consigue disminuir la relación aire combustible aumentando el valor de α lo que podría ser aplicado para la compensación de altura, ya que el combustible al requerir mayor cantidad de oxígeno y siendo este más escaso a mayor altura, entonces el empleo del alcohol sería una posible solución a este problema como un complemento de la sobrealimentación ayudando a mejorar los índices explotacionales del motor.
- 3.- Otra de las ventajas obtenidas es el mejoramiento de la potencia hasta en un 10% al trabajar el motor en su

régimen nominal lo cual es muy deseable y buscado en los motores.

- 4.- Se aprecia también el hecho que el motor al funcionar en bajas cargas es donde se produce la mayor absorción de alcohol, y como en muchos estudios se ha demostrado que en el parque automotor mayormente los vehículos trabajan a cargas parciales y siendo en este régimen donde ingresa mayor cantidad de alcohol, entonces se estará sustituyendo en mayor medida el petróleo que es justamente lo que se busca en estos momentos en los que se está atravesando por una profunda crisis energética en la que es impostergable buscar reemplazar el petróleo por otras fuentes de energía no convencional.

- 5.- El nivel de humos se aprecia como en ciertos rangos disminuye lo cual es beneficioso ya que en estos momentos en los cuales el mundo está tomando conciencia sobre los efectos nocivos de los contaminantes que son arrojados a la atmósfera y siendo justamente está una de las características del alcohol el cual en el proceso de combustión es más limpio que el diesel 2, pero sin embargo se observa que en otros rangos el nivel de humos aumenta, siendo la principal causa de esto el hecho de no haber realizado pruebas de regulación, ya que a pesar de producirse un incremento en el nivel de humos los valores obtenidos están por debajo de los valores que como máximo

permiten las normas, es decir, valores menores a 4.5 U.B.

- 6.- De las pruebas se obtuvo resultados mas óptimos en aquellos casos en los que solamente logro ingresar el 4% de alcohol a través de RND aumentando la potencia, bajando el número de Bosch en las zonas de máxima emisión de humos, aumentado los valores de α , lo cual podría ser aprovechado más que nada en aquellos motores en los cuales se encuentran en un período de desgaste.
- 7.- Finalmente podemos afirmar que utilizar alcohol como combustible complementario a través de RND, puede ser la solución a muchos de los problemas que en la actualidad se viene enfrentando como son la compensación de altura, sustitución de fuentes de energía convencional y contaminación ambiental, en una forma rápida, económica y sencilla sin realizar mayores modificaciones en la estructura física del motor y sin requerir de tecnología cara costosa y a largo plazo.

RECOMENDACIONES

- 1.- En futuras pruebas de combustibles complementarios a través del RND en el motor Perkins C4.236v sería recomendable realizar pruebas de regulación variando ya sea la presión de inicio de la inyección mediante la variación de la tensión en el resorte del inyector o bien el ángulo de adelanto de la inyección para de alguna manera optimizar los índices operacionales del motor reduciendo el nivel de humos que es uno de los objetivos que prioritariamente se busca.
- 2.- Sería importante adaptar el banco de pruebas para poder realizar en él, pruebas de simulación de altura ya que como se pudo apreciar, el empleo del alcohol es factible de ser usado como un medio de compensar altura y recuperar potencia debido al enrarecimiento del oxígeno a mayores alturas lo cual es característico de la geografía de nuestro país.
- 3.- Otro factor que tiene importancia y en un futuro sería necesario medir los diferentes compuestos tóxicos que son expulsados por los gases de escape como el NOx, CO, CO₂, CH, SO₂, y ver en cuanto contribuye la adición de alcohol a disminuir los porcentajes de estos contaminantes ya que la carbonilla no es el único compuesto que es expulsado por los gases de escape, para esto será necesario implementar equipos más modernos y sofisticados capaces de medir todos

- estos compuestos tóxicos.
- 4.- Sería aconsejable realizar también pruebas de desgaste en el motor ya que si bien es cierto al emplear el alcohol etílico como combustible complementario al diesel 2 se consigue mejorar la potencia no sabemos como están reaccionando las piezas y este incremento de la potencia en cuanto influye a que las piezas se desgasten más rápido.
 - 5.- Al realizar las pruebas la cantidad de alcohol que ingreso a través del RND estuvo supeditada al régimen con el que se estaba trabajando es decir no se controló el porcentaje de alcohol que ingresaba por esto sería importante el adaptar una válvula a los RND instalados en el motor para así determinar cual es el porcentaje óptimo de combustible complementario.
 - 6.- Finalmente sería importante probar como se comporta el motor para el caso que sea usado en vehículos, de ahí la necesidad de implementar en un futuro las denominadas pruebas de campo para posteriormente poder aplicar masivamente el uso del alcohol así como de otros combustibles a través del RND en el parque automotor del país.

BIBLIOGRAFIA

1. Motores de Combustión Interna
Autor : Obert E.F.
Editorial : C.E.C.S.A 8va. Impresión México
2. Motores de Combustión Interna
Autor : V.N. Lukanin
Editorial : MIR Moscú URSS. 1987
3. Motores de Automóvil
Autor : M.S. Jovaj
Editorial : MIR Moscú URSS. 1986
4. Manual de Motores Diesel para Tractores
Autor : B.A. Vsorov
Editorial : MIR Moscú URSS. 1986
5. Combustibles y Combustión para MCI
Expositora : Dra. Valentina P. Shkalikova
Dictado : IMCI UNI Lima Perú
6. Soluciones a los problemas de desarrollo de MCI
Expositores : Morozov K, Ludeña A, Jasper, Streil H,
Golubkov L.
Editorial : Hozlo-UNI-Lima, 1988
7. Manual del Ingeniero Químico
Autor : Pery Robert H.
Editorial : Mc Graw-Hill México 1986
8. Enciclopedia Química
Autor : Kirk Raymond E.
Editorial : UTEA México 1961
9. Levaduras alcoholes y otros productos
Autor : Kretschmar Hermann.
Editorial : Reverte Barcelona 1961
10. Alcohol como combustible obtención y aplicaciones a los motores
Autor: Paulo Penino Filho
Sao Pablo Brazil
11. Copias de clase "Teoría de la Combustión"
Autor : Dr. Nicolai N. Patrakhaltsev
Dictado : IMCI UNI Lima Perú
12. Tópicos Selectos
Autor : Dr. Nicolás N. Patrakhaltsev y otros
Editorial : IMCI-UNI
13. Curso de Actualización Económica
Autor : Antezana Castro Rafael
Dictado : FIECS UNI Lima Perú

14. Tesis
Nuevos combustibles para motores diesel
Autor : Onofrio Pomiano

15. Tesis
Mejoramiento de los índices económicos y ecológicos de los motores diesel de transporte mediante la adición de gas licuado de petróleo
Autor : Rommel Anzualdo

16. Tesis
Estudio del empleo de la gasolina de bajo octanaje en el motor experimental monocilíndrico Ricardo con ciclo diesel
Autor : Manuel Paz