

CATALOGADO

Distr.  
RESTRINGIDA

LC/MEX/R.387  
(CCE/SC.5/GRIE/XIX/3)  
1 de febrero de 1993

**BIBLIOTECA NACIONES UNIDAS MEXICO**

ORIGINAL: ESPAÑOL

---

CEPAL

Comisión Económica para América Latina y el Caribe

Comité de Cooperación Económica del Istmo Centroamericano

Subcomité Centroamericano de Electrificación  
y Recursos Hidráulicos

Decimonovena Reunión del Grupo Regional de  
Interconexión Eléctrica (GRIE)

San José, Costa Rica, 4 y 5 de febrero de 1993

**ASPECTOS BASICOS DE LAS ESPECIFICACIONES DE COMBUSTIBLES  
A UTILIZARSE EN MAQUINAS DIESEL Y PLANTAS DE VAPOR**

---

Este documento fue elaborado por el señor Luis Fernández González, consultor del Proyecto CEPAL/GTZ-BT FRG 1072.

INDICE

	<u>Página</u>
PRESENTACION .....	1
A. Diesel en máquinas de media y baja velocidad .....	3
1. Propiedades del combustible .....	3
a) Número de Cetano .....	3
b) Viscosidad .....	3
c) Temperaturas de destilación .....	4
d) Residuo de carbón .....	4
e) Azufre .....	4
f) Temperatura de inflamación (Flash Point) .....	5
g) Cenizas (Ash) .....	5
h) Agua y sedimentos .....	5
2. Grados de combustible diesel, aplicaciones y especificaciones .....	6
a) Grado No. 1-D .....	6
b) Grado No. 2-D .....	6
c) Grado No. 4-D .....	6
3. Recomendaciones .....	7
B. Búnker para plantas de vapor .....	8

## PRESENTACION

En documentos recientes elaborados por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) 1/ se ha enfatizado que el rezago en las inversiones del subsector eléctrico, provocado por la prolongada y aguda crisis económica que sufrió la región, ocasionará un uso creciente de hidrocarburos para producir electricidad. También se ha señalado el sobre costo que se paga en algunos países por la compra de los hidrocarburos y, particularmente, por el diesel. 2/ Por este motivo, la CEPAL ha sugerido que las propias empresas eléctricas formen un pequeño grupo técnico, encargado de efectuar las compras de diesel y búnker que utilizarían en la producción de electricidad, a precios competitivos en el ámbito internacional.

Con el propósito de ilustrar la importancia de especificar de manera equilibrada (calidad-precio) los combustibles que se utilizarían en la generación eléctrica, se preparó la presente nota de apoyo para las empresas eléctricas nacionales del Istmo Centroamericano. Con toda intención, se elaboró de la forma más sintética posible y con un enfoque tutorial. Sobre la base de que el diesel y el búnker son los combustibles que más se utilizarán en la región centroamericana --al menos en el corto plazo--, se proporcionan datos específicos para ellos.

La elaboración de esta nota surgió a raíz de una solicitud específica que hizo la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) a la CEPAL; sin embargo, se consideró que podría ser útil para los técnicos de las seis empresas eléctricas del Istmo Centroamericano, por lo que se decidió presentarla durante la XIX Reunión del Grupo Regional de Interconexión Eléctrica (GRIE). 3/ Los aspectos referentes al diesel están enfocados de manera particular a su utilización en máquinas diesel de media y baja velocidad.

---

1/ Véanse, por ejemplo, CEPAL, Nota de Secretaría de la XIX GRIE (LC/MEX/L.216 (CCE/SC.5/GRIE/XIX/2)), 1 de febrero de 1993; Istmo Centroamericano: Interrelación entre los hidrocarburos y la energía eléctrica (LC/MEX/R.376), 25 de noviembre de 1992, y La crisis energética en América Central (LC/MEX/R.346/Rev.1 (CCE/SC.5/GRIE/XVIII/4)), 29 de junio de 1992.

2/ Véase, CEPAL, Istmo Centroamericano: Abastecimiento de hidrocarburos. Datos actualizados al primer semestre de 1992 (LC/MEX/L.123 (SEM.51/2)), 29 de junio de 1992.

3/ Prevista para efectuarse en San José, Costa Rica, los días 4 y 5 de febrero de 1993.

## A. Diesel en máquinas de media y baja velocidad

### 1. Propiedades del combustible

#### a) Número de Cetano

Se denomina número de cetano a una medida de la calidad de ignición del combustible. Una buena calidad de ignición facilita el arranque --aun a bajas temperaturas--, produce una operación suave (no ruidosa, especialmente a bajas cargas) de la máquina y previene el ensuciamiento interno y las emisiones de humo. El número de cetano requerido depende del diseño de la máquina, de su capacidad, del número de revoluciones por minuto a que opera y de la forma en que la carga es demandada, así como de las condiciones atmosféricas. La calidad de ignición es especialmente importante en máquinas diesel automotrices, caracterizadas por ser muy revolucionadas y con operación a carga muy variable; en cambio, en las máquinas estacionarias lentas, como es el caso de las usadas para generación eléctrica y de la fuerza motriz de buques, la calidad de ignición es significativamente menos importante. Además, para una misma máquina se requiere un mayor número de cetano en el diesel conforme la temperatura ambiente desciende y la altitud sobre el nivel del mar aumenta. Dado que el uso de un combustible con mayor número de cetano que el requerido no mejora el comportamiento de la máquina, pero sí implica un costo mayor, deberá usarse el mínimo valor necesario.

#### b) Viscosidad

A causa de que los inyectores del combustible tienen tolerancias extremadamente finas y operan a muy altas presiones, debe especificarse los valores máximo y mínimo de la viscosidad del diesel. Un combustible diesel con muy baja viscosidad tiende a producir una ligera disminución de la eficiencia, debido a una insuficiente lubricación de los inyectores (con el consecuente desgaste de las bombas de inyección), al aumento de fugas y a un menor poder calorífico que normalmente tiene este tipo de combustible. Por otra parte, con una viscosidad demasiado alta, la atomización del combustible es inadecuada y, en consecuencia, la combustión incompleta.

En el sistema c.g.s., la unidad de medida de la viscosidad es el poise o centipoise. La viscosidad se especifica a una temperatura en particular, normalmente a 100°F (37.8°C) o a 40 °C.

Existen diferentes escalas de medición. Comúnmente se especifica la viscosidad cinemática, que es la viscosidad en centipoises dividida por la gravedad específica a la misma temperatura, y sus unidades son centistokes. Una escala de medición muy utilizada es la Saybolt Universal, la cual expresa en segundos el tiempo requerido para hacer pasar 60 cc de combustible, a temperatura constante, por un orificio calibrado. Una relación aproximada entre ambas escalas es:  $VC = 0.219t - 149.7/t$ , donde VC es la viscosidad cinemática, medida en centistokes, y "t" es la viscosidad Saybolt Universal, medida en segundos (ambas a una misma temperatura).

#### c) **Temperaturas de destilación**

Esta variable tiene relación con la volatilidad del combustible. En general, a menor temperatura a la cual se produce un combustible en la destilación, mayor será su volatilidad y costo. La especificación puede ser muy detallada, indicando el porcentaje del combustible que destila a diferentes temperaturas. Sin embargo, la práctica más usual consiste en especificar la temperatura (o rango de temperaturas) a la cual destila el 90% del combustible. Los requerimientos de volatilidad en el diesel dependen del diseño de la máquina, la forma de operación y las condiciones ambientales. En máquinas con fluctuaciones rápidas de carga y velocidad, como es el caso de los vehículos automotores, los combustibles más volátiles pueden generar un mejor desempeño, particularmente en relación con las emisiones de humo y olor. En equipos estacionarios se requiere de menor volatilidad, es decir, de combustibles más pesados, los cuales son más baratos y de mayor poder calorífico, con el consecuente aumento de eficiencia en la generación eléctrica.

#### d) **Residuo de carbón**

Se trata de una medida de la tendencia a dejar depósitos de carbón cuando un combustible es calentado en un recipiente. Aunque no se relaciona directamente con los depósitos en una máquina, esta propiedad se considera como una aproximación. Se especifica como el porcentaje, en peso, de carbón que se deposita en el 10% del residuo más pesado del combustible probado.

#### e) **Azufre**

El efecto del contenido de azufre en el desgaste de la máquina es de importancia muy variable, y depende mucho de las condiciones de operación. Los óxidos de azufre en los gases de

salida pueden ocasionar corrosión severa en los sistemas de escape y en los cilindros del motor, si se opera a bajas temperaturas. El desarrollo de la tecnología de lubricantes ha reducido este problema, al grado que en máquinas diesel de baja velocidad se puede usar combustibles hasta con 4% de azufre, si no existen restricciones de contaminación ambiental. El precio del diesel de alto grado de azufre es sustantivamente menor, por lo cual el contenido de azufre debe especificarse lo más alto posible, acorde con las consideraciones de mantenimiento y las normas ambientales.

**f) Temperatura de inflamación (Flash Point)**

Esta variable no está directamente relacionada con el desempeño del motor. Sin embargo, es importante su consideración para cumplir con las regulaciones sobre prevención de incendios y requerimientos de las compañías de seguros. Mide la temperatura más baja a la cual enciende el vapor del combustible cuando se aplica una flama.

**g) Cenizas (Ash)**

La ceniza se define como el residuo que queda después de que el combustible de prueba es calentado a una temperatura de 775°C. Los materiales que forman cenizas pueden estar presentes en el combustible en forma de sólidos abrasivos, los que contribuyen al desgaste del inyector, la bomba de combustible, el pistón y los anillos; adicionalmente, ocasionan depósitos en la máquina. Por otra parte, existen sustancias metálicas solubles que tienen poco efecto en el desgaste, pero que influyen en la generación de depósitos. En ese sentido, el vanadio y el sodio son los principales elementos críticos.

**h) Agua y sedimentos**

El agua no está presente en cantidades importantes cuando se elabora el combustible; normalmente se incorpora al producto durante las operaciones de manejo y almacenamiento. El agua no es perjudicial si está homogeneizada con el combustible a bajas concentraciones; no obstante, si "bloques" de agua obstruyen los filtros o interfieren con el funcionamiento adecuado de los precalentadores en las líneas de combustible, entonces se presentan dificultades. La situación es particularmente delicada en condiciones de baja temperatura. Por otra parte, se les llama sedimentos a los materiales insolubles en tolueno, aunque en la práctica se componen de partículas o

desprendimientos de tuberías y tanques de almacenamiento, así como de diversas fibras. Estos materiales originan desgaste.

## 2. Grados de combustible diesel, aplicaciones y especificaciones

Las especificaciones de la American Society for Testing and Materials (ASTM) en los Estados Unidos caracterizan 3 grados de combustibles diesel, tal como se describe a continuación:

### a) Grado No. 1-D

Comprende la categoría de combustibles volátiles que incluye desde la kerosina hasta los destilados intermedios. Son aplicables para uso en máquinas altamente revolucionadas, que operan con frecuentes y amplias variaciones de carga y velocidad. Asimismo, son adecuados en aquellos casos en que se presentan temperaturas anormalmente bajas.

### b) Grado No. 2-D

Incluye la categoría de gasóleos destilados de más baja volatilidad. Estos combustibles son aplicables para el uso en máquinas muy revolucionadas, que operan con relativamente altas cargas y velocidades uniformes.

### c) Grado No. 4-D

Cubre la categoría de destilados más viscosos así como la mezcla de estos destilados con combustibles residuales como el búnker. Son aplicables para el uso en máquinas de baja y media velocidad, empleadas en servicios que involucran cargas sostenidas a velocidad prácticamente constante.

En el cuadro siguiente se resumen los valores para las propiedades más usuales --de acuerdo con las normas ASTM-- de los tres grados de combustibles diesel.

Propiedad	Prueba ASTM	Grado I-D	Grado 2-D	Grado 4-D
Temperatura de Inflamación mínima (°C) (°F)	D93	38 100	52 125	55 130
Agua y sedimento (% vol. máx.)	D1796	0.05	0.05	0.05
Temperatura a la que destila el 90% del volumen (°C) mín. máx.	D86	--- 288	282 338	--- ---
Viscosidad cinemática (a 40°C = 104°F) mín. máx.	D445	1.3 2.4	1.9 4.1	5.5 24.0
Residuo de carbón Ramsbottom en el 10% del residuo de la destilación (% en peso, máx.)	D524	0.15	0.35	---
Cenizas (% en peso, máx.)	D482	0.01	0.01	0.10
Azufre (% en peso, máx.)	D129	0.5	0.5	2.0
Número de cetano, mínimo	D613	40	40	30

### 3. Recomendaciones

Según la clasificación de la ASTM, el tipo de combustible adecuado para la generación eléctrica con máquinas diesel es el de grado 4, que puede obtenerse mezclando gasóleos pesados con combustóleo. Se sugiere tomar como base dichas especificaciones, aunque con algunas modificaciones menores que se consideren pertinentes.

Actualmente (principios de 1993) en los mercados internacionales, el precio fob del diesel No. 2 es aproximadamente de 24 dólares por barril, mientras que para el combustóleo con 1% de azufre (S) es de 13.50 dólares; 11.30 dólares por barril para aquél con 2% S y 10 dólares si contiene 3% S. Las diferencias de precio entre el diesel No. 2 y los combustóleos son muy grandes; por ello, la generación con el primer combustible resulta muy costosa, además de su menor poder calorífico. El diesel No. 4 se comercializa poco; por tanto, las fuentes de información no consignan su precio, aunque se estima preliminarmente en alrededor de 18 dólares por barril.

Puesto que las plantas La Ceiba y Puerto Cortés se encuentran prácticamente al nivel del mar, con temperatura ambiente alta durante todo el año, no se justifica, en principio, utilizar diesel con



un número de cetano apreciablemente mayor a 30, ya que no mejoraría significativamente el desempeño de la máquina y representaría un mayor costo del combustible.

Con respecto al contenido de azufre, las cifras de precios para el combustóleo son indicativas del fuerte incremento en costo a medida que el producto es más limpio. Por lo tanto, convendría adquirir el diesel con grado de azufre entre 1.5%S y 2%S.

En cuanto a las otras propiedades mencionadas del diesel, se sugiere tomar la referencia del diesel No. 4.

Corresponde mencionar que el poder calorífico no es una de las variables relevante debido a que el diesel No. 4 es pesado y en consecuencia su poder calorífico es alto. En cambio, las otras propiedades se relacionan con la ejecución de la máquina y con las necesidades de mantenimiento.

Por último, se recomienda cotizar el diesel No. 4 y realizar pruebas de comportamiento en las dos centrales eléctricas.

### **B. Búnker para plantas de vapor**

En la generación eléctrica con plantas de vapor, la selección técnica y económica del combustible apropiado está definida fundamentalmente por dos propiedades, la viscosidad y el contenido de azufre.

El búnker, combustóleo, o **fuel oil**, se produce a partir del residuo de la destilación del petróleo. Para alcanzar la viscosidad adecuada se pueden diluir fracciones de productos más ligeros, como la querosina o el gasóleo ligero, o bien pasar el combustible residual por una reductora de viscosidad, tratamiento térmico que produce desintegración molecular moderada. La estrategia de usar diluyentes ligeros es cada vez menos empleada por el elevado precio de dichos productos.

La viscosidad es la propiedad más importante para el bombeo y atomización del combustible, y es usada como base de clasificación de grado del combustóleo. Si se cuenta con precalentadores, la temperatura del combustible debe elevarse hasta cerca de 150°C, en caso de usar combustóleo extrapesado.

Corresponde mencionar que durante los últimos 10 años el combustóleo se ha abaratado de manera sistemática con respecto al petróleo. Por ejemplo, en el mercado de Rotterdam, el combustible con 3.5% de azufre se vendía, en el primer quinquenio de la década de los ochenta, a un precio equivalente a 85% del relativo al crudo ligero Brent. Esta proporción bajó a 70% en 1988

y 1989, y se ha mantenido en 60% desde 1990 a la fecha. Lo anterior es indicativo de las ventajas económicas de este combustible en la generación de electricidad.

Por otra parte, los óxidos de azufre de los gases de desecho pueden causar corrosión en los metales del sistema de combustión. Además, conviene destacar que las normas ambientales son cada vez más estrictas en el mundo. En los Estados Unidos; por ejemplo, si no se cuenta con equipo de control de las emisiones de azufre, el combustóleo a utilizar debe contener entre 0.5%S y 1%S, según la localización de la planta. Esto ha producido el incremento del consumo de gas natural en la generación de vapor.

En el Istmo Centroamericano, el combustóleo utilizado para la generación eléctrica proviene casi en su totalidad de las refinerías locales, las cuales procesan crudos con alto contenido de azufre. En consecuencia, el combustóleo, por ser un producto residual, concentra la mayor parte de dicho contaminante a niveles superiores a 3%. Dado que no se dispone de gas natural en la región, una política ambiental orientada a disminuir las emisiones de azufre resulta costosa en cualquiera de sus variantes. Por ejemplo, la diferencia de precios en el mercado internacional entre combustóleos con 1%S y 4%S es del orden de 4.50 dólares por barril, es decir, alrededor de 50% de costo superior. Por otra parte, la tecnología para desulfuración del combustóleo es relativamente poco usada, y su costo por barril es similar al diferencial de precios antes descrito.

La ASTM describe las especificaciones y usos de cinco tipos de combustóleos, de los cuales se presentan aquí los tres más viscosos, por su posible aplicación en plantas de vapor. El combustóleo grado 4 (mediano) se recomienda para plantas que no cuentan con precalentadores del combustible, el grado 5 (pesado) para cuando se dispone de tal equipo, en tanto que el grado 6 (extrapesado) sólo debe utilizarse cuando el sistema de precalentamiento permita manejar combustóleo de muy alta viscosidad.

Propiedad		Grado 4	Grado 5	Grado 6
Temperatura de inflamación mínima	(°F)	130	130	150
Agua y sedimento	(% vol. máx.)	0.50	1.00	2.00
Temperatura a la que destila el 90% del volumen	(°C)			
	mín.	---	---	---
	máx.	---	---	---
Viscosidad cinemática, cSt. (a 100°F)	mín.	5.8	32.1	---
	máx.	26.4	---	---
Viscosidad cinemática, cSt. (a 122°F)	mín.	---	---	92
	máx.		81	638
Viscosidad Saybolt Universal, seg. (a 100°F)	mín.	45	150	---
	máx.	125	---	---
Residuo de carbón Ramsbottom en el 10% del residuo de la destilación	(% en peso, máx.)	---	---	---
Cenizas	(% en peso, máx.)	0.10	0.10	---
Azufre	(% en peso, máx.)	sin límite	sin límite	sin límite