



# Caracterización de los aceites de refrigeración utilizados en motocompresores herméticos que trabajan con el gas refrigerante LB-12

Celestino Oro Ortiz  
Celestino Oro Rivera

Mayo del 2001

## Resumen / Abstract

El objetivo de este trabajo va dirigido a conocer las principales propiedades de los aceites de refrigeración de formulación nacional y extranjera concebidos para los sistemas que trabajan con el refrigerante R-12 y en la actualidad se utilizan con el gas refrigerante LB-12. Se realizó un análisis de laboratorio a los aceites estudiados según las normas de la ASTM para los productos derivados del petróleo. Los resultados de este trabajo son de interés para la correcta selección del aceite de refrigeración atendiendo al modelo de compresor, refrigerante utilizado y condiciones de explotación.

Palabras clave: aceite refrigerante

*The use of the hydrocarbons as refrigerants in actuality have been a great diffusion in the hermetic motocompressors of domestic refrigerators and other, in substitution of the R-12 refrigerant which result harmful to the ozone layer. The objective of this research was to know the principal properties of the refrigeration oils of national and foreign formulation marketed for the refrigeration systems that work with the refrigerant R-12 and in the nowadays are using the refrigerant gas LB-12. In this work was made laboratories analysis to the oil using the ASTM norms for the oil products. The results of this work are interesting for the suitable selection of the refrigeration oil it must be taken into account motocompressor model, refrigerant used, and exploitation conditions.*

*Key words: refrigeration oil*

## INTRODUCCIÓN

La principal función de un aceite lubricante es reducir la fricción y el desgaste entre los pares cinemáticos de la máquina. En los motocompresores de refrigeración se requiere además que el aceite cumpla las siguientes funciones: como sello del gas comprimido entre los lados de succión y descarga, además, actúa como enfriador y amortiguador de los ruidos generados por las piezas en movimiento dentro del compresor.<sup>1</sup>

En los compresores herméticos que trabajan con el refrigerante R-12, existe una completa miscibilidad del refrigerante con el aceite lubricante, esto también ocurre con los refrigerantes hidrocarbonados como el LB-12, siendo el principal efecto la disminución de la viscosidad del aceite lubricante, lo cual disminuye la capacidad de trabajo para lubricar el compresor y con el uso de refrigerantes hidrocarbonados como el LB-12, se reducen las propiedades de lubricidad del aceite, lo que en condiciones límites de lubricación

que están presentes en el arranque y parada del motocompresor, tiende a provocar un mayor desgaste.

EL uso de los refrigerantes hidrocarbonados en los últimos años ha tenido un gran auge en los compresores herméticos para refrigeradores domésticos y otros usos, en países como: Alemania, India, China y otros, como sustituto de los CFC por ser estos dañinos a la capa de ozono.

El estudio de los aceites lubricantes que van a trabajar con refrigerantes hidrocarbonados tiene una gran importancia, para garantizar un trabajo eficiente y una larga vida de los motocompresores.

Muchos investigadores reconocen la solubilidad del aceite con los refrigerantes hidrocarbonados y que estos reducen de forma apreciable la viscosidad del aceite.<sup>2,3</sup>

Un requerimiento importante es que la viscosidad del fluido de trabajo aceite- refrigerante, sea la adecuada para garantizar la lubricación hidrodinámica de los cojinetes del compresor<sup>3</sup> y de los otros pares cinemáticos.

Los fabricantes de compresores han utilizado aceites de refrigeración con viscosidad cinemática a 100 °C en el rango de 2,6 - 4,5 cSt pero en la actualidad se observa una tendencia en algunos modelos de motocompresores al uso de aceite con mayor viscosidad con el refrigerante R-12.

## MATERIAL Y MÉTODOS

En este trabajo se realizó un estudio de los aceites de refrigeración comercializados en Cuba, tanto de formulación nacional, como de firmas extranjeras para compresores de refrigeración, para lo cual fue necesario determinar las principales propiedades según los métodos de la ASTM, para productos derivados del petróleo, los cuales se relacionan en la tabla 1.

Este estudio permitió conocer sobre las cualidades de cada aceite y la posibilidad de su aplicación en dependencia del tipo de refrigerante utilizado y de las condiciones de explotación; es necesario señalar que los aceites estudiados fueron formulados para compresores que utilizan refrigerantes como R-12, NH<sub>3</sub>, R-22, y en la actualidad se usan también

Tabla 1

Principales propiedades determinadas y métodos utilizados según norma ASTM, para los aceites de refrigeración

| Propiedades                                   | Norma ASTM |
|---|------------|
| Viscosidad cinemática a 40, 50, 100 °C        | D 445      |
| Grado de viscosidad                           | D 2422     |
| Índice de viscosidad                          | D 2270     |
| Densidad relativa a 20 °C                     | D 1298     |
| Temperatura de fluidez (°C)                   | D 97       |
| Temperatura de inflamación (°C)               | D 92       |
| Número de acidez (mgkoH/g)                    | D 664      |
| Punto de anilina (°C)                         | D 611      |
| Color ASTM                                    | D 1500     |
| Resistencia dieléctrica (kV)                  | D 877      |
| Diámetro de huella de desgaste (mm) 20 kg/ h. | D 4178     |

para compresores que emplean refrigerantes hidrocarbonados.

La selección adecuada del aceite, tiene una gran importancia para garantizar el trabajo eficiente y larga vida útil de los motocompresores que trabajan con refrigerantes hidrocarbonados como el LB-12.

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos se muestran en las tablas 2, 3,4 y en las cuales los aceites de refrigeración se agruparon según su grado de viscosidad para su mejor análisis.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

De los resultados obtenidos en la caracterización de los aceites de refrigeración, se agrupan por el grado ISO de viscosidad en tres grados, 32, 46 y 68.

Por su naturaleza, la mayoría de los aceites de refrigeración utilizados son de base mineral, parafínica y nafténica. Los aceites de refrigeración de importación, fundamentalmente son de base nafténica y los de formulación nacional de base parafínica.

Los aceites de base parafínica tienen un mayor índice de viscosidad, o sea, mayores características viscosidad-temperatura, y temperatura de fluidez relativamente más alta, que los aceites de base nafténica, por lo que estos últimos son preferibles para los aceites de refrigeración por su mejor comportamiento de fluidez a baja temperatura.

El grado de viscosidad predominante de los aceites usados en motocompresores herméticos de refrigeración es el grado 32, tanto en los que trabajan con R-12, como los que trabajan con LB-12.

Las características antidesgaste de los aceites de refrigeración de importación evaluados por el diámetro de huella se encuentran entre 0,52-0,93 mm, resultando estos valores altos para ser usados con refrigerantes como el LB-12.

La viscosidad cinemática a 100 °C, se encuentra en los siguientes rangos:

ISO VG -32.....4, 6-5, 7

ISO VG-46.....6, 1-7, 2

ISO VG-68..... 7, 0-9, 8

La resistencia dieléctrica se encuentra en un rango de 11-19 kV, por debajo de 25 kV, recomendado para los aceites de refrigeración.

Del estudio de las propiedades de los aceites de refrigeración comercializados en el país se pudo apreciar la existencia de diferencias en cuanto a la naturaleza, y propiedades, por lo que a partir de este estudio es posible seleccionar el más adecuado, teniendo en cuenta las principales propiedades como: viscosidad cinemática a 40 y 100 °C, punto de fluidez, e índice de desgaste.

Los resultados cuantitativos de las propiedades permitirán seleccionar entre los aceites disponibles en el mercado el más adecuado para los motocompresores que trabajan con LB-12.

De las propiedades determinadas, la viscosidad es una de las más influyentes en el funcionamiento de los motocompresores, ya que de ella depende el espesor mínimo de hidrodinámica, el sellaje entre el lado de succión y descarga, la transferencia de calor,

el amortiguamiento de ruidos y las pérdidas de potencia por fricción.

La viscosidad del aceite de refrigeración influye en el espesor mínimo de película hidrodinámica y esta se ve afectada por la solubilidad del refrigerante hidrcarbonado, que tiene viscosidad menor que el R -12.

Según la teoría hidrodinámica para cojinetes de deslizamiento el espesor de película mínimo se puede calcular por la siguiente expresión:

$$h_{\min} = 55 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{m \cdot n \cdot d}{P_{med} \cdot \Psi \cdot C} \cdot (mm)$$

donde:

$\mu$ : Viscosidad absoluta de la sustancia de trabajo.

$n$ : Frecuencia de giro ( $\text{min}^{-1}$ ).

$d$ : Diámetro del árbol (mm).

$P_{med}$ : Presión media específica sobre la superficie (MPa).

$\Psi$ : Holgura relativa  $\frac{D-d}{d}$ .

$C$ : Coeficiente que caracteriza las dimensiones de la superficie de contacto entre el árbol y el cojinete.

$$C = 1 + \frac{d}{L^1}$$

donde:

$L^1$ : Longitud del muñón de apoyo (mm).

La viscosidad absoluta de la sustancia de trabajo (Pa-s).

$$m = 1,8 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{P_{med} \cdot h_{\min} \cdot \Psi \cdot C}{n \cdot d}$$

Para predecir la viscosidad de la mezcla de trabajo aceite-refrigerante, se puede realizar la ecuación:

$$\mu_m = \epsilon_{ref} \cdot \mu_{ref} + (1 - \epsilon_{ref}) \cdot \mu_a$$

donde:

$\epsilon_{ref}$ : Fracción en masa del refrigerante.

$\mu_{ref}$ ,  $\mu$ : Viscosidad absoluta del refrigerante y el aceite respectivamente.

Tabla 2  
Características de aceites de refrigeración utilizados en motocompresores

| Características                              | AR-60<br>XF-12-16 | AR-69      | AR-70     | AR-71     | AR-75     |
|--|-------------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| Grado de viscosidad ISO 3448                 | 32                | 32         | 32        | 32        | 32        |
| Viscosidad cinemática a 40 °C (cSt)          | 27                | 33,1       | 32,3      | 31        | 32,3      |
| Viscosidad cinemática a 50 °C (cSt)          | 18                | 22,9       | 21,2      | 20,3      | 21,0      |
| Viscosidad cinemática a 100 °C (cSt)         | 4,6               | 5,7        | 4,7       | 5,0       | 5,02      |
| Índice de viscosidad                         | 74                | 112        | 30        | 79        | 67,7      |
| Densidad relativa a 20 °C                    | 0,874             | 0,870 2    | 0,879 8   | 0,904 1   | 0,906 0   |
| Temperatura de fluidez (°C)                  | -38               | -27        | -21       | -30       | -39       |
| Temperatura de inflamación (°C)              | 160               | 203        | 183       | 156       | 176       |
| Número de acidez (mg de KOH/g)               | 0,03              | 0,06       | -         | 0,03      | 0,05      |
| Punto de anilina (°C)                        | 105               | 118        | 96        | 80,5      | 80        |
| Color ASTM                                   | 1,5-2,0           | 1,0        | 0,5       | 1,0       | 6,0       |
| Resistencia dieléctrica (kV)                 | -                 | 11         | 17        | 13        | 16        |
| Diámetro de huella de desgaste (mm), 20 kg/h | 0,58-0,60         | 0,26       | 0,84      | 0,65      | 0,74      |
| Tipo de base                                 | Parafínica        | Parafínica | Nafténica | Nafténica | Nafténica |
| Aplicación                                   | R-12              | R-12       | R-12      | R-12      | R-12      |

Como se puede observar la viscosidad de la sustancia de trabajo aceite-refrigerante depende de la fracción de refrigerante disuelto en el aceite y de la viscosidad del refrigerante.

Luego la ecuación para el espesor mínimo de la película quedaría modificada, teniendo en cuenta el refrigerante y la cantidad disuelta en el aceite.

$$h_{\min} = 55 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{m \cdot n \cdot d}{\rho_{\text{med}} \cdot \gamma \cdot C} \text{ (mm)}.$$

$$h_{\min} = 55 \cdot 10^{-9} \left[ \frac{e_{\text{ref}} \cdot m_{\text{ref}} + (1 - e_{\text{ref}}) \cdot m_a}{\rho_{\text{med}} \cdot \gamma \cdot C} \right] \cdot n \cdot d \text{ (mm)}$$

Tabla 3  
Características de aceites de refrigeración utilizados en motocompresores

| Características                                  | AR-61XM-35                | AR-64      | AR-65           | 51KM-33   |
|--|---------------------------|------------|-----------------|-----------|
| Grado de viscosidad ISO 3448                     | 46                        | 46         | 46              | 46        |
| Viscosidad cinemática a 40 °C (cSt)              | 53                        | 55,2       | 55,4            | 50,4      |
| Viscosidad cinemática a 50 °C (cSt)              | 34                        | 28         | 33,6            | 36,8      |
| Viscosidad cinemática a 50 °C (cSt)              | 6,5                       | 6,1        | 6,5             | 7,2       |
| Viscosidad cinemática a 100 °C (cSt)             | 59                        | 6,1        | 6,4             | 7,2       |
| Índice de viscosidad                             | 59                        | 22         | 46              | 100,9     |
| Densidad relativa a 20 °C                        | 0,926                     | 0,909 8    | 0,909 8         |           |
| Temperatura de fluidez ( °C)                     | -32                       | -21        | -27             | -36       |
| Temperatura de inflamación ( °C)                 | 180                       | 183        | 188             | -36       |
| Número de acidez (mg de KO H/g)                  | 0,03                      | -          | 0,03            | 0,02      |
| Punto de anilina ( °C)                           | 75                        | 86         | 84              |           |
| Color ASTM                                       | 2,0                       | 0,5        | 1,0             |           |
| Resistencia dieléctrica (kV)                     | -                         | 17         | 19              |           |
| Diámetro de huella de desgaste (mm)<br>20 kg / h | 0,52-060                  | 0,693      | 0,691           |           |
| Tipo de base                                     | Parafínica                | Nafténica  | Nafténica       | Sintética |
| Aplicación                                       | R-12,R-22,NH <sub>3</sub> | R-12, R-22 | NH <sub>3</sub> | R-12      |

Por lo que se demuestra a través de las ecuaciones la necesidad de seleccionar el aceite lubricante, teniendo en cuenta, el tipo de refrigerante y las condiciones de explotación.

## CONCLUSIONES

El estudio realizado permitió conocer las cualidades de cada aceite y de sus posibilidades de aplicación, en dependencia del tipo de refrigerante y de las condiciones de explotación. Los aceites de refrigeración comercializados en

Cuba, tanto de formulación nacional, como los de firmas extranjeras, se diferencian por su naturaleza y propiedades; y para ser usado con el gas refrigerante LB-12, es necesario seleccionar los que posean los mejores requisitos para garantizar un buen funcionamiento y una larga vida útil.

Los aceites de refrigeración en la mayoría de los casos son de naturaleza nafténica, aunque se han utilizado también de naturaleza parafínica, siendo preferibles por sus propiedades los de naturaleza nafténica

| Tabla 4<br>Características de aceites de refrigeración utilizados |             |            |         |         |
|---|-------------|------------|---------|---------|
| Características   | AR - 62 368 | AR - 67 68 | AR - 63 | AR - 66 |
| Grado de viscosidad ISO 3448                                      | 68          | 68         | 68      | 68      |
| Viscosidad cinemática a 40 °C (cSt)                               | 71,5        | 68,7       | 68,3    | 71,6    |
| Viscosidad cinemática a 50 °C (cSt)                               | 46,2        | 44,5       | 40,5    | 48,8    |
| Viscosidad cinemática a 100 °C (cSt)                              | 9,8         | 8,7        | 7,0     | 7,3     |
| Índice de viscosidad  | 114 4       | 98         | 33      | 39,5    |
| Densidad relativa a 20 °C   | 0,8815      | 0,875 5    | 0,890 7 | 0,889 5 |
| Temperatura de fluidez (°C)                                       | -21         | -24        | -27     | -24     |
| Temperatura de inflamación (°C)                                   | 207         | 238        | 202     | 204     |
| Número de acidez (mg de KOH/g)                                    | -           | 0,03       | 0,05    | -       |
| Punto de anilina (°C)   | 105         | 105        | 95      | 92      |
| Color ASTM  | 2,5         | 3,0        | 1,5     | 4,5     |
| Resistencia dieléctrica (kV)                                      | 15          | 16         | 16      | 18      |

#### REFERENCIAS.

1. Argarwall, R. S.: "Isobutane as Refrigerant for Domestic Refrigeration," *Developing Countries. Conferencia Internacional*, p. 75, Aarhus, Denmark, 3-6 September, 1996.
2. Gunter, E.: "Hydrocarbons as Refrigerants in Domestic Refrigerators", *Conferencia Internacional*, Hannover, Alemania, 10 -13 may, 1994.
3. Oro Rivera, Celestino: "Caracterización de los aceites de refrigeración para motocompresores que trabajan con el refrigerante LB-12", Trabajo de Diploma, Universidad de Oriente, julio, 1999.
4. Reyes Gavilan, José *et al.*: "A Review of Lubrication and Performance Issues in Refrigerations Systems Using and HFC(R-134a) Refrigerant", *Lubrication Engineering*, Vol. 52, No. 4, April, 1996.
5. Short, D. Glen; E. Rajewski and R. Thomas: "Lubricants for Refrigeration and Air Conditioning", *Lubrication Engineering*, pp. 270-275, Vol. 51, No. 4, April, 1995.
6. Spauschus, H. O. *et al.*: "Lubricants for Hydrocarbons Refrigerants", *Conferencia Internacional*, Hannover, Alemania, 10-13, May, 1994.

#### AUTORES

Celestino Oro Ortiz, Ingeniero Mecánico, Profesor Auxiliar, Centro de Estudio de Refrigeración, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba  
e-mail:oro@ceefe.edu.cu

Celestino Oro Rivera, Ingeniero Mecánico, ETECSA, Santiago de Cuba, Cuba

