



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN



ANALISIS DE LA TECNOLOGIA DE AHORRO DE  
ENERGIA EN REFRIGERADORES

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERA MECANICA ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

**I T H A S A N C H E Z R A M O S**

ASESORES: M.I. RODOLFO BENJAMIN LANDA HUERTA

M.I. JOSE GPE. RAMOS ANASTASIO

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1992



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# CONTENIDO

<b>CAPITULO 1</b> . . . . .	3
<b>ANTECEDENTES</b> . . . . .	4
<u>1.1 Concepto de energía.</u> . . . . .	4
<u>1.2 Necesidades de ahorro de energía.</u> . . . . .	5
<u>1.3 Proyecto y necesidad de proyecto.</u> . . . . .	7
<u>1.4 Panorama mundial y nacional.</u> . . . . .	8
 <b>CAPITULO 2</b> . . . . .	 12
<b>INTRODUCCION</b> . . . . .	13
<u>2.1 Breve historia de la refrigeración.</u> . . . . .	13
<u>2.2 Evolución de la tecnología.</u> . . . . .	15
 <b>CAPITULO 3</b> . . . . .	 29
<b>TECNOLOGIAS EN EL USO EFICIENTE DE ENERGIA</b> . . . . .	30
<u>3.1 Potenciales de ahorro</u> . . . . .	30
<u>3.2 Tecnologías viables.</u> . . . . .	33
<b>3.2.1 AISLAMIENTO</b> . . . . .	33
<b>3.2.2 COMPRESORES</b> . . . . .	47
<b>3.2.3 OTROS</b> . . . . .	55
 <b>CAPITULO 4</b> . . . . .	 58

<b>EVALUACION DE RENDIMIENTOS</b> . . . . .	<b>59</b>
<b>4.1 Metodología.</b> . . . . .	<b>59</b>
<b>4.2 Opciones de eficiencia energética.</b> . . . . .	<b>66</b>
<b>4.3 Criterios y referencias normativas.</b> . . . . .	<b>83</b>
 <b>CAPITULO 5</b> . . . . .	 <b>103</b>
<b>CONCLUSIONES</b> . . . . .	<b>104</b>
 <b>BIBLIOGRAFIA</b> . . . . .	 <b>112</b>
 <b>ANEXO A</b> . . . . .	 <b>123</b>
 <b>ANEXO B</b> . . . . .	 <b>133</b>
 <b>ANEXO C</b> . . . . .	 <b>139</b>

## CAPITULO 1

## ANTECEDENTES

### 1.1 Concepto de energía.

La energía es la capacidad para producir un efecto y esta es inseparable de la materia, todo fenómeno material esta relacionado con cambios de energía. La energía es también indispensable para la vida ya que la sociedad humana no puede sobrevivir sin un suministro de energía.

La fuente original de energía para las actividades sociales fue la energía humana; la energía de los músculos humanos suministraron la potencia mecánica necesaria en las primeras comunidades; después llegó el control y el uso del fuego proveniente de la combustión de la madera, y con esto la facilidad para explotar las transformaciones químicas resultado de esto, para la cocción de alimentos, calentamiento del hogar, y la extracción de metales (hierro y bronce).

La energía de los animales de carga también empezó a jugar un papel importante en la agricultura, transporte y la industria; finalmente en una sucesión rápida, la sociedad humana adquirió control sobre el carbón, el vapor y la electricidad.

Así de importante es la energía para la sociedad humana que la magnitud de la energía consumida per cápita se convirtió en un indicador de la modernización y el progreso en un país.

En este proceso, la demanda de la energía algunas veces excede la capacidad de la fuente local de suministro; la energía primaria de algunos países modernos es importada desde alguna otra parte del mundo, (por ejemplo la OPEP).

### 1.2 Necesidades de ahorro de energía.

El ahorro o conservación de energía implica el uso racional de esta en aparatos eficientes, con el objeto de una reducción del consumo energético, sin una disminución en la calidad de vida del individuo. La conservación de la energía la podemos definir como el uso más eficiente de los recursos energéticos. Los aspectos de conservación de la energía tiene como objetivo el de maximizar la energía útil antes de que se degrade hasta sus últimos niveles (energía no disponible).

Los principales beneficios que se logran con los programas de uso eficiente son:

- El de conservar un recurso de un valor estratégico como es el caso de los hidrocarburos.
- Desarrollar fuentes alternativas de energía.
- Disminuir el problema de la contaminación.
- Aumentar la productividad económica.
- En forma indirecta disminuir inversiones dentro del sector energético.

<sup>(1)</sup>La política energética en México esta basada en los principios constitucionales de exclusividad del estado en materia de energía. El estado controla las dos empresas básicas en este sector que son Petróleos Mexicanos y la Comisión Nacional de Electricidad, encargadas respectivamente del sector hidrocarburos y el sector electricidad.

La situación del país en cuanto al consumo de energía se resume como de desperdicio y sobreconsumo de los energéticos, resultado de la ausencia de una política específica de ahorro de energía y la creencia generalizada de que el país cuenta con reservas ilimitadas de recursos energéticos aparte de que no existe información a los consumidores sobre técnicas disponibles para el ahorro y el uso eficiente de la energía.

El país no cuenta con antecedentes propiamente dichos de alguna política en materia de ahorro de energía. Las experiencias sobre ahorro energético han sido aisladas y sin una instrumentación integrada, y básicamente consistieron en alguna campaña de difusión y organización para formar grupos capacitados en el uso de energía.

Desde el punto de vista internacional México llegó tarde al movimiento mundial de ahorro energético, otros países la iniciaron poco después del encarecimiento de energía de 1973

---

<sup>(1)</sup> III curso sobre planeación energética Vol VII Planes energéticos Jul-agos 1985 UNAM (PUE) pags. VII-2-35 a VII-4-13

Por estas razones surge el Programa Nacional de Ahorro de energía del Sector Eléctrico que busca eliminar los consumos innecesarios, con lo que se optimizará el uso de energía eléctrica, tanto en la producción de bienes y servicios como en su aprovechamiento para usos finales.

### 1.3 Proyecto y necesidad de proyecto.

Se requiere lograr, en México, un consumo más eficiente de electricidad con el fin de cuidar las reservas energéticas nacionales y reducir al máximo posible las necesidades de financiamiento para la expansión de la capacidad de energía eléctrica, sin lesionar con ello ni la producción, ni el nivel de vida de los habitantes.

Entre otras acciones que el gobierno de México emprende para el uso racional de energía se tienen contemplados la normalización no solo de materiales de construcción, sino también de aparatos de refrigeración ambiental, así como refrigeradores (domésticos e industriales), motores, bombas (y compresores en su caso) de alta eficiencia.

Los estudios hechos en otros países han dado cifras de ahorro de energía considerables para estos aparatos, si bien el ahorro de energía que esperan de cada equipo individual, no es significativo vistos en conjunto dan cifras de importancia para la economía nacional.

En este trabajo nos enfocaremos a un aparato en particular que es el refrigerador de uso doméstico.

#### 1.4 Panorama mundial y nacional.

A continuación se presenta la tabla 1.4.1 en la que se muestran comparaciones entre varios países, incluyendo México, con respecto a las ventas totales de energía eléctrica en el sector residencial y el porcentaje de esta, para uso de refrigeradores domésticos. En ella se puede apreciar que E. U. es el país que mayor gasto de energía tiene globalmente pero que el porcentaje de uso de energía con respecto a México es menor, por lo que en México el potencial de ahorro de energía se puede ampliar.

TABLA 1.4.1 ENERGÍA ELECTRICA USADA EN EL SECTOR RESIDENCIAL EN VARIOS PAISES Y EL CONSUMO POR REFRIGERACIÓN DOMESTICA

PAIS	E.U	Francia	Dinamarca	Inglaterra	Suecia	México
VENTAS TOTALES (GWh)	890	96.7	9.03	90.5	34.7	20
REFRIG.	149	10.8	0.960	10	1,947	4.5
% DE USO	16,74%	11,17%	1,06%	11,00%	5,61%	22,5%

Fuente: The state of the art: Appliances COMPETITEK Vol.3 1.3A

Nota: Los datos mostrados para México son estimaciones hechas en un estudio del IIE VER ANEXO C.

Es de notarse la comparación de uso de energía entre E.U y México de 149 TWh a 4.5 TWh.

Con respecto a México se hicieron estimaciones basadas en un estudio de la UNAM y datos estadísticos de CFE en las que se concluye que el consumo de energía de aparatos de refrigeración es de entre el 19 y el 26.1% del consumo de energía eléctrica total residencial por lo que se tomo el promedio para poder hacer comparaciones.

En E.U. el consumo de energía eléctrica por concepto de refrigeración doméstica en 1988 fue de 16.7% del uso eléctrico residencial (aproximadamente de 149 Twh) mientras que en México el consumo de energía por este concepto, en promedio, fue del 22.5% (4,500 Gwh (4.5 Twh)) del consumo del sector residencial.

Como dato interesante vemos que las ventas totales de energía en México fueron de 95,463 Gwh y que el sector residencial ocupó el 21% de esta energía o sea 20,157 Gwh (1990).

En la figura 1.4.2 se ve que el porcentaje el uso de energía eléctrica para uso residencial en México es de aproximadamente 1/4 del total de energía producida en el país y el sector industrial se lleva más de la mitad.

En la figura 1.4.3 vemos el porcentaje de uso de energía eléctrica del sector residencial de E.U.

El 20% mostrado aquí incluye congeladores domésticos que son comúnmente usados en E.U.

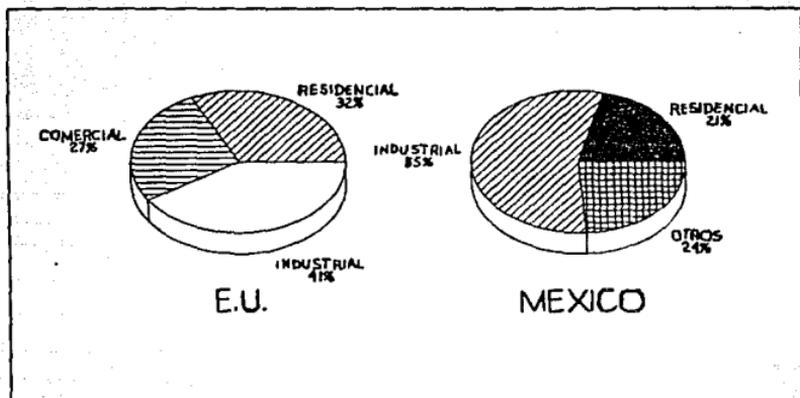


FIGURA 1.4.2 COMPARACION DE USOS DE ENERGIA ELECTRICA POR SECTORES ENTRE MEXICO Y E.U.

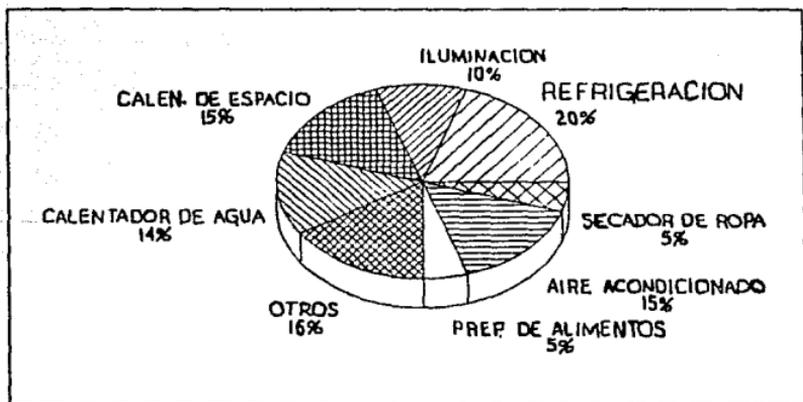


FIGURA 1.4.3 USO DE ENERGIA ELECTRICA EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE E.U.

No se tienen datos completos acerca de los usos finales de la energía del sector residencial en México; Pero el estudio que se está realizando en el IIE muestra estos porcentajes de uso para refrigeradores y equipos de aire acondicionado; lo que se muestra en la figura 1.4.4:

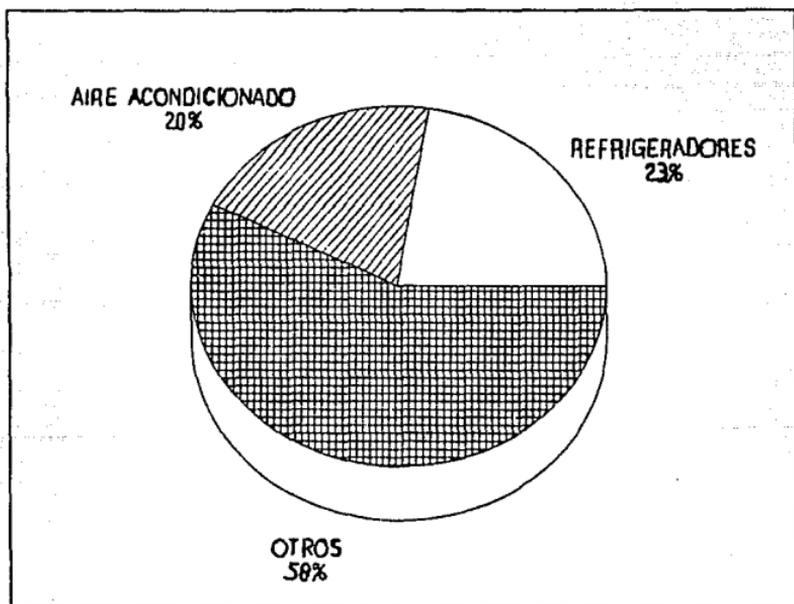


FIGURA 1.4.4 USOS FINALES DE ENERGIA ELECTRICA EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE MEXICO

## CAPITULO 2

## INTRODUCCION

### 2.1 Breve historia de la refrigeración.

Ⓐ Aún cuando los primeros antepasados del hombre conocieron y observaron, los efectos del frío, hielo y nieve sobre los cuerpos y sobre las cosas alrededor de ellos, no es hasta la temprana historia china que se encuentra alguna referencia al uso de estos fenómenos naturales en refrigeración, para mejorar la vida de la gente y luego para el enfriamiento de bebidas.

Posteriormente otros usos se desarrollaron; los chinos fueron los primeros en recolectar y almacenar hielo del invierno empacándolo en paja o hierba seca, para utilizarlo en los meses de verano.

El hielo natural y la nieve suministraron los únicos medios de refrigeración por muchos siglos.

Los antiguos egipcios descubrieron que la evaporación podía causar enfriamiento, así aprendieron a colocar su vino y otros líquidos dentro de recipientes de barro, colgándolos en los techos durante la noche, de tal manera que las brisas causaban evaporación y enfriaban el contenido.

---

Ⓐ Manual de refrigeración y aire acondicionado; 1.Refrigeración; Air Conditioning and Refrigeration Institute 1987.

Algunos de los antiguos colonos del nuevo mundo desarrollaron métodos de preservar comida y bebida perecederas con hielo y nieve. Construyeron edificios de almacenamiento (casas de hielo), en las cuales podían guardar hielo, recolectados durante los fríos inviernos de Nueva Inglaterra, para ser usados en meses calientes.

Durante los días de la colonia y hasta finales del siglo XIX el hielo fue un importante producto de comercio con países extranjeros que no producían hielo natural.

En la primera década de 1900 se desarrollo la refrigeración industrial mediante el uso del ciclo mecánico; empacadores de carne, carnicerías, cervecerías y otras industrias, empezaron a hacer uso completo de la refrigeración mecánica.

Con el crecimiento de la industria eléctrica y del alumbrado de las casas, los refrigeradores domésticos se popularizaron, substituyendo a las cajas de hielo que requerían un bloque de este diariamente. Este creciente interés en los refrigeradores domésticos, fue ayudado por el diseño de motores eléctricos de baja potencia, para operar los compresores en las cajas de hielo mecánicas.

Desde 1920 estos aparatos han sido producidos en gran número y han llegado ha ser una necesidad para todos, más que un lujo para pocos.

## 2.2 Evolución de la tecnología.

En E.U. el consumo de energía para refrigeradores domésticos ha variado ampliamente desde hace pocas décadas. se triplicó de 1950 a 1972 y ha declinado desde entonces.

El incremento de uso de energía en los refrigeradores domésticos de los años 50's y 60's se debió a varios factores; estos se hicieron más grandes , creciendo de un promedio de 7 pies' (198 dm<sup>3</sup>) a cerca de 17 pies' (481 dm<sup>3</sup>); también se les aumento nuevos dispositivos que incrementaron el consumo de energía como el deshielo automático y un compartimiento para el congelador. Todo esto hizo que el refrigerador bajara su eficiencia en cerca de un 40%, esto se debió principalmente a una reducción del grosor del aislamiento y en parte a la menor eficiencia del motocompresor.

Para 1972 la eficiencia llegó a su nivel más bajo; y debido al aumento de precio de la energía y a las normas de eficiencia; esta empezó a crecer. Para 1984 la eficiencia promedio se elevó un 66% comparada con la eficiencia de equipo similar de 12 años antes.

La mayor eficiencia lograda hasta ahora en refrigeradores-congeladores se ha logrado a través de una serie de modificaciones relativamente simples y constantes como son:

El reemplazo de la fibra de vidrio en el aislamiento por la espuma de poliuretano (a partir de 1973); compresores y motores más

eficientes; el aumento del tamaño de los intercambiadores de calor; mejores diseños aerodinámicos para permitir una más eficiente circulación de aire entre evaporador y los compartimientos; se han mejorado los sellos de las puertas disminuyendo las fugas de aire lo que reduce la necesidad de los dispositivos anti-sudado colocados a lo largo de las orillas de las paredes del gabinete en la puerta.

### Componentes de un refrigerador

(Ver Figura 2.2.3)

#### EVAPORADOR

El evaporador o serpentín de enfriamiento es la parte del sistema de refrigeración donde se retira calor del producto (agua, aire o lo que se deba enfriar). Cuando el refrigerante entra a los pasajes del evaporador absorbe calor de los productos que van a ser enfriados, y cuando esto sucede el refrigerante empieza a hervir y se vaporiza.

En el exterior, cuando el aire pasa por el serpentín del evaporador cede su calor y es por consiguiente enfriado. Cuando se enfría se contrae a un volumen menor el cual pesa más que un volumen de aire más caliente, de este modo se producen corrientes de convección de aire, que pueden enfriar los productos que se pongan en contacto con este aire.

La circulación de este aire en el compartimiento refrigerado puede ser por convección natural o forzada, esta última se logra mediante ventiladores y deflectores que obligan al aire a moverse hacia caminos que logren una óptima transferencia de calor; esto también evita que una película de aire se adhiera a la superficie exterior del serpentín actuando como un aislante y disminuyendo el proceso de transferencia de calor.

Cuando se retira la humedad del aire se acumula escarcha sobre el evaporador y esta actúa como un aislamiento térmico evitando la transferencia de calor entre el aire y el serpentín. Por eso es necesario el descongelamiento regular.

Existe descongelamiento manual y automático, el manual es cuando se apaga todo el sistema y se retiran todos los productos dentro del evaporador para permitir que se descongele. El deshielo automático se hace con el uso de un reloj que apague parte del sistema por un período de tiempo determinado de acuerdo a cada aparato.

El evaporador de deshielo manual usualmente es una caja con los 3 o 4 lados refrigerados, el refrigerante es acarreado en un tubo que se encuentra adherido a las paredes de la caja, o las paredes pueden ser construidas de 2 hojas de metal, las cuales son soldadas de tal manera que quede un espacio entre ellas (pasajes para el refrigerante), estas construcciones generalmente utilizan aluminio

y se requiere una atención especial para evitar, primero que haya contaminación de la superficie con otros metales que puedan inducir la corrosión galvánica y segundo que la configuración pueda ser fácilmente picada con el uso.

### COMPRESORES

El compresor es el corazón del refrigerador, ya que :

- Remueve el vapor refrigerante desde el evaporador, manteniendo la temperatura y la presión deseada .
- Incrementa la presión y temperatura del refrigerante a través del proceso de compresión de tal manera que este pueda ceder su calor en el condensador.

Además el compresor es responsable de más del 75% de la energía que utiliza el refrigerador.

Los primeros modelos de compresores para refrigeración fueron los de tipo vertical, de una etapa, usaban como refrigerante el amoníaco, el más popular en esos días. Estos compresores eran muy pesados para soportar presiones muy altas y operaban a velocidades relativamente bajas en comparación con los actuales; avances en el diseño de las válvulas, sellos en el eje del compresor, rodamiento y sistemas de lubricación produjeron un incremento gradual en la velocidad, esto permitió que los compresores fueran más pequeños

para una potencia dada (HP), puesto que se incrementaba el desplazamiento con la operación a mayor velocidad.

La introducción de nuevos refrigerantes también tuvo una incidencia considerable en el diseño y desarrollo de los compresores; por ejemplo, cuando el refrigerante era amoníaco, todas aquellas partes expuestas a este tenían que ser de acero.

La introducción de dióxido de azufre y el cloruro de metilo como refrigerantes hizo posible la utilización de metales no ferrosos en algunos casos. El advenimiento de los refrigerantes de hidrocarburos halogenados (CFC's) sin embargo, tuvo quizás el mayor efecto sobre el diseño de los compresores. Hizo posible el uso de metales no ferrosos como el aluminio, simultáneamente con la introducción del refrigerante 12 (CFC-12) llegó a ser popular el compresor herméticamente sellado.

Los compresores herméticamente sellados y aparatos de alimentación del refrigerante de tubo capilar fueron introducidos primeramente en refrigeradores domésticos en los años 30's, a los pocos años los compresores accionados por bandas prácticamente desaparecieron.

"Los compresores actualmente usados en refrigeradores domésticos son compresores pequeños, de desplazamiento positivo en los cuales

---

" Equipment Handbook; 1988; Cap 37; Household refrigerators and freezers.

la entrada al compresor esta herméticamente sellada en una carcaza de acero inoxidable, en un rango de capacidades de 300 BTU/h (90 W) a 2000 BTU/h (600 W), con condiciones del evaporador de  $-10^{\circ}\text{F}$  ( $-23^{\circ}\text{C}$ ), en el condensador de  $130^{\circ}\text{F}$  ( $54^{\circ}\text{C}$ ), y  $90^{\circ}\text{F}$  ( $32^{\circ}\text{C}$ ) de temperatura ambiente, con una temperatura de succión del gas supercalentado de  $90^{\circ}\text{F}$  ( $32^{\circ}\text{C}$ ) y el líquido subenfriado a  $90^{\circ}\text{F}$  ( $32^{\circ}\text{C}$ ).

Mientras que los compresores rotatorios son algunas veces más compactos que los reciprocantes; estos compresores son manejados directamente por motores de inducción de jaula de ardilla, de dos polos de 3450 r.p.m. hasta de cuatro polos de 1750 r.p.m. .

Los devanados de campo son aislados con un barniz especial y aislante plástico en las cuñas y en las ranuras; todos estos son escogidos para su compatibilidad con el refrigerante y el aceite. Durante la operación continua a voltaje nominal, las temperaturas de los devanados del motor podrían ser tan altas como  $120^{\circ}\text{C}$  para una temperatura ambiente de  $43^{\circ}\text{C}$ . además la eficiencia de operación máxima en condiciones normales, del motor debe suministrar el suficiente par para arrancar y para operar con picos de carga temporales porque el refrigerador opera en condiciones extremas. Esta condición de voltaje de línea debe de ser conocida anticipadamente.

El par de arranque es proporcionado por un circuito de fase partida en el devanado, el cual debe de incluir un capacitor de arranque en motores grandes.

Cuando el motor toma velocidad, un relevador electromagnético externo desconecta el devanado de arranque, algunas veces es empleado un capacitor de operación para aumentar la eficiencia del motor. La protección de sobrecarga del motor esta suministrada por un apagador de restablecimiento automático, el cual es sensible a la combinación de la corriente del motor y a la temperatura de la carcasa del compresor o la temperatura del devanado interno.

El compresor es enfriado por la transferencia de calor con los alrededores sin embargo el circuito de enfriamiento de aceite transporta parcialmente el refrigerante condensado, lo cual es necesario cuando el compresor es usado con un condensador enfriado por convección natural y en algunos sistemas de convección forzada por arriba de los 1000 BTU/h.

#### CONDENSADOR

El condensador es el principal componente para expulsar calor en el sistema de refrigeración, remueve el calor del refrigerante a un medio que puede absorberlo y removerlo. Este puede ser enfriado por corriente de aire natural.

El condensador en el refrigerador se localiza en la pared posterior del gabinete y es enfriado por convección natural de aire, la forma más común del condensador consiste en un serpentín de tubo de acero con un alambrado, perpendicular a este, soldado.

Los condensadores pueden ser enfriados por aire, enfriados por agua o enfriados por evaporación. Los refrigeradores domésticos generalmente tienen un condensador enfriado por aire, el cual depende del flujo de aire que circula a través de él.

#### GAS REFRIGERANTE

El fluido de trabajo para el sistema de refrigeración mecánica, es vital porque absorben el calor de un ambiente donde no se desea y lo trasladan a otro.

Cualquier sustancia que se condense o evapore podrá funcionar como refrigerante, sin embargo, solo servirán las sustancias que sufran estos cambios a temperaturas y presiones comerciales.

Para escoger un refrigerante, para una determinada aplicación, depende de sus propiedades, como son su toxicidad, inflamabilidad, densidad, viscosidad y disponibilidad.

Desde el principio de la refrigeración se ha usado como refrigerante, diferentes sustancias tales como aire, butano, cloroformo, éter, propano, agua y amoníaco.

El amoníaco es uno de los refrigerantes más antiguos, fue utilizado en alguno de los primeros equipos y su uso continua en algunas unidades comerciales e industriales.

El dióxido de azufre y el metilcloruro, fueron usados ampliamente en refrigeradores domésticos y en pequeñas unidades comerciales; a causa de la toxicidad e inflamabilidad de estas sustancias han sido reemplazadas.

Con el descubrimiento de nuevos compuestos químicos, las ventajas y desventajas de cada uno fueron cuidadosamente evaluadas viniendo a tener un auge sorprendente los refrigerantes de hidrocarburos halogenados (CFC's) por sus propiedades químicas, disponibilidad y costo.

El sistema actualmente utilizado para numerar los refrigerantes, fue desarrollado por la compañía Du Pont, la primera en comerciar estos innovadores refrigerantes; al principio, la letra F (por *freón*, marca registrada por Du Pont), precedía los números, después como se fueron haciendo populares, se cambio la letra por R de refrigerante, tales como R-12, R-22, etc.

El refrigerante actualmente usado para refrigeración doméstica es el R-12 (diclorofluorometano [CFC-12]) que no es inflamable, ni tóxico, excepto si se expone a la llama; es un refrigerante de alta densidad y bajo volumen específico, su solubilidad y miscibilidad con el aceite es el adecuado, y son químicamente estables, de ahí su auge.

El CFC-12, deberá dejar de usarse antes del año 2000 debido al efecto de deterioro que tiene sobre la capa de ozono, así que se tendrán que desarrollar nuevos refrigerantes (VER ANEXO B).

## AISLAMIENTO

Este componente del refrigerador es muy importante porque permite conservar la temperatura adecuada dentro del gabinete, mientras esté tenga un buen nivel de aislamiento, la capacidad refrigerante se aumentará, ya que entre el 50 y 60% de las pérdidas de calor en el refrigerador salen a través de las paredes de la puerta y gabinete.

### CONVERSIONES DE VALORES DE RESISTIVIDAD

La mayoría de los investigadores y fabricantes de refrigeradores usan valores de resistividad en unidades inglesas:

$$R = ft^2 - h^{\circ} F / BTU$$

Para cuantificar la resistencia térmica neta y la R\*pulg. para la resistencia térmica específica que es la que se utilizara. Así nosotros usaremos estas unidades:

$$R/pulg. = ft^2 - h^{\circ} F / BTU \cdot pulg$$

La mayoría de los países usan el sistema internacional para la conductividad o la resistencia térmica:

$$CONDUCTIVIDAD = \frac{1}{RESISTIVIDAD}$$

En las tablas 2.2.1 y 2.2.2 se da las conversiones entre los dos sistemas:

TABLA 2.2.1 RESISTIVIDAD TERMICA

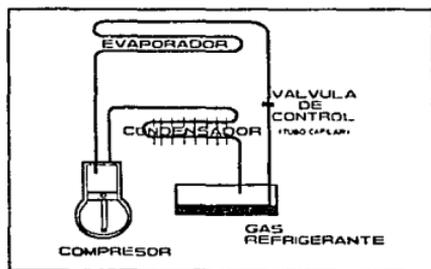
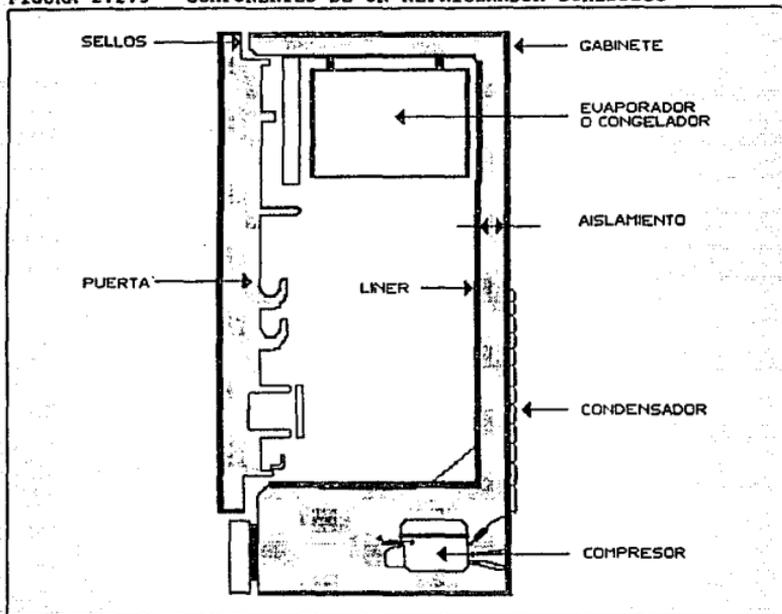
NETA		ESPECIFICA	
UNIDADES INGLESAS $R = ft^2 - h^{\circ} F / BTU$	UNIDADES S.I. $m^2 - K / W$	UNIDADES INGLESAS $R / pulg. = ft^2 - h$	UNIDADES S.I. $m - K / W$
R	R	R* pulg.	R*m
R-1	0.18	R-1/pulg.	6.94
R-5	0.88	R-5/pulg.	34.6
R-20	3.52	R-20/pulg.	138.7
R-100	17.6	R-100/pulg.	693.5
Conversión de resistividad neta $R_n (0.1761) = R_u$ Conversión de resistividad específica $R_{u, pulg.} (6.935) = R_n$			

TABLA 2.2.2 CONDUCTIVIDAD TERMICA

EQUIVALENCIA EN UNIDADES INGLESAS R	NETA		ESPECIFICA	
	UNIDADES INGLESAS $k = BTU / ft^2$	UNIDADES S.I. $m^2 - K / W$	UNIDADES INGLESAS $R / pulg. = ft^2$	UNIDADES S.I. $m - K / W$
	k	k	k* pulg.	k*m
R-1	1.0	5.68	1.0	0.14
R-5	0.2	1.13	0.2	0.029
R-20	0.05	0.28	0.05	0.0072
R-100	0.01	0.057	0.01	0.0014
Conversión de resistividad neta $k_n (5.678) = k_u$ Conversión de resistividad específica $k_{u, pulg.} (0.142) = k_n$				

Se ve que las diferencias son muy notorias en cuanto a volumen y consumo de energía, en los refrigeradores domésticos, de país a país, debido a los diferentes hábitos de uso, costumbres y educación y clima.

FIGURA 2.2.3 COMPONENTES DE UN REFRIGERADOR DOMESTICO



La tabla 2.2.4 hace una comparación de los refrigeradores típicos utilizados en E.U. y México donde se aprecia esta diferencia.

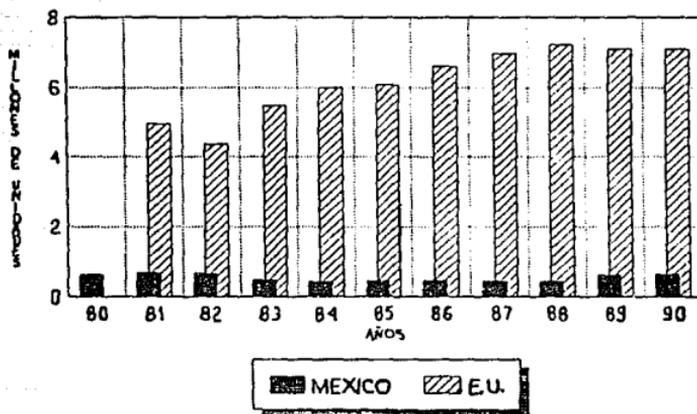
**TABLA 2.2.4 REFRIGERADORES TIPICOS EN MEXICO Y E.U.**

CARACTERISTICAS	MEXICO	E.U.
CAPACIDAD (pies <sup>3</sup> )	9	18
No. PUERTAS	1	2
TIPO DESHIELO	MANUAL	AUTOMATICO
CONSUMO DE ENERGIA PROM. (kWh/año)	618	1500
TIPO AISLAMIENTO	POLIURETANO	POLIURETANO
EER COMPRESOR	2.3 A 3.1	3 A 4

Hay también diferencias en cuanto a niveles de producción y desarrollo de tecnologías.

La industria de refrigeradores domésticos en México, en la última década, el año en que se tuvo el mayor volumen de ventas fue 1982, en el cual se vendieron aproximadamente de 760,000 unidades, ésta cantidad es muy pequeña comparada con la de E.U. que es en promedio de 7 millones de unidades como se muestra en la gráfica 2.2.5.

## COMPARACION VOLUMEN DE VENTAS DE REF. DOMESTICOS EN E.U. Y MEXICO



GRAFICA 2.2.5 VOLUMENES DE VENTAS DE REFRIGERADORES DOMESTICOS EN MEXICO Y ESTADOS UNIDOS

## CAPITULO 3

## TECNOLOGIAS EN EL USO EFICIENTE DE ENERGIA

### 3.1 Potenciales de ahorro

Los potenciales de ahorro se refieren a la energía que se puede dejar de utilizar en los refrigeradores domésticos; este ahorro de energía se logra en mayor parte de dos maneras que son:

- Disminuyendo la transferencia de calor con el exterior.
- Eficientizando el sistema de refrigeración.

La primera opción se logrará incrementando la resistividad térmica del aislante y disminuyendo las fuentes de calor del aparato.

La segunda, se logrará modificando algunos elementos del sistema de refrigeración; el principal es el compresor que tiene gran posibilidad de ahorro.

Existen un gran número de variables, opciones de diseño e innovaciones tecnológicas a nivel internacional que repercuten directamente en la disminución del consumo de energía en refrigeradores electrodomésticos; entre ellas se pueden anotar las siguientes:

- Espuma aislante mejorada.
- Incremento del espesor del material aislante en puerta y gabinete.
- Doble sello en las puertas.
- Uso de paneles evacuados.
- Uso de compresores de alta eficiencia.
- Motores eficientes para ventiladores.
- Incremento en el área del evaporador.
- Utilizar evaporador híbrido.
- Nuevos refrigerantes o mezclas de gases refrigerantes.
- Mejoras a la válvula de expansión.
- Sistema de dos compresores.
- Compresores de velocidad variable.
- Utilización de controles electrónicos.

Cada una de estas opciones, aplicándose en forma individual o en combinación con otras, producen diferentes niveles de consumo de energía y obviamente afectan en mayor o menor grado el costo de producción de los refrigeradores.

Adicionalmente, aunque algunas de ellas pueden desarrollarse fácilmente, otras opciones de diseño requieren disponer de tecnologías de alto nivel para poder madurarse y utilizarse en prototipos. Además, una vez desarrollados los prototipos es necesario realizar grandes inversiones para poderlos producir en gran escala.

Se realizan estudios, dirigidos a los siguientes componentes debido a su gran potencial de ahorro de energía y su problemática ambiental:

- I) Compresores de alta eficiencia de velocidad variable o sistemas de doble compresor; considerando que aproximadamente el 75% del total de la energía consumida en el refrigerador se utiliza precisamente en el sistema de compresión del gas refrigerante.
  
- II) El material aislante; ya que entre el 50 y el 60% de las pérdidas de calor en el refrigerador salen a través de las paredes de puerta y gabinete.
  
- III) El gas refrigerante, ya que pertenece a la familia de los CFC (freón 12).
  
- IV) Localización y mejoras en áreas del evaporador y condensador; debido a que tiene una influencia importante en el desempeño del refrigerador y su aplicación no involucra altas tecnologías.

## 1.2 Tecnologías viables.

Las tecnologías que se presentan aquí se están desarrollando a nivel internacional y se centran principalmente en el aislamiento y el compresor.

Existe una regulación a nivel internacional respecto a el uso de sustancias que contienen CFC. Estos compuestos deberán dejar de utilizarse para el año 2000 por destruir la capa de ozono.

Está regulación afecta directamente a los refrigeradores domésticos ya que estas sustancias se utilizan comúnmente como gas refrigerante, y como agente espumante dentro del aislamiento de poliuretano. VER ANEXO A

### **3.2.1 AISLAMIENTO:**

La espuma de poliuretano es usada casi universalmente en todos los refrigeradores como aislante dentro de las paredes y puerta (algunos usan fibra de vidrio), si la fibra de vidrio es reemplazada por la espuma con el mismo grosor el flujo de calor a través de las paredes se decrementa, así se ve que EL aislamiento térmico con alta resistividad térmica tiene el potencial para una substancial conservación de la energía, conservación que se logra sin pérdida del espacio útil si se incorpora dentro del refrigerador.

Muchos potenciales útiles de materiales y sistemas aislantes térmicos están disponibles comúnmente. Existe también un gran número de artículos y patentes sobre estos.

Como ya se dijo un refrigerador tiene comúnmente aislamiento de espuma rígida de poliuretano con un espesor promedio de 1.5 pulg. con una resistividad térmica de  $R=7.7$ \*pulg. un ahorro de la energía eléctrica consumida por el refrigerador resulta directamente de aumentar la resistividad del aislamiento.

Esto se puede obtener por el aumento del espesor del aislante o por el mejoramiento de la resistividad térmica del aislante que se utilice.

#### *Aumento de espesor:*

Adicionando al espesor del aislamiento de .5 a 1 pulg se puede incrementar la eficiencia global del refrigerador como en un 10%; la tecnología para implementar este cambio esta disponible, y la mejora en eficiencia es significativa, se requerirá invertir en herramental y moldes para ajustar el nuevo grosor del aislamiento.

Pero el aumento de la resistividad no está en función directa con el aumento de espesor del aislante y llegará un momento en el que cualquier adición en el espesor significa pequeñas reducciones adicionales en el consumo de energía o sea que no disminuye

proporcionalmente; otra desventaja de esta opción es desde el punto de vista de diseño, al aumentar el espesor se sacrifica el volumen interno del refrigerador, Además como las dimensiones de las cocinas son limitadas, hay restricciones en las dimensiones exteriores del refrigerador.

Así que se han hecho estudios en el campo de los materiales aislantes y existen técnicas innovadoras al respecto como:

#### *Polvos aislantes al vacío.*

Un camino que está siendo explorado en cuestión de bajos vacíos es el uso de polvos muy finos como material llenador en un panel al vacío. Una gran variedad de materiales ha sido probada para este fin y la producción de paneles ha sido hecha por compañías norteamericanas, francesas, alemanas y japonesas. Para aplicaciones en los refrigeradores, estos paneles de 1 pulgada (2.5 cm) de espesor podrán ser colocados en la cavidad del gabinete y el espacio sobrante llenado con espuma (presumiblemente sin CFC's) como material estructural, incrementando moderadamente los valores de resistividad.

Los materiales que se han usado como polvos aislantes, incluyen Espuma de sílica, polvo de sílica, perlita, fibra y lana de vidrio, y varias combinaciones. Estos cubren un amplio rango de costos, tamaño del polvo, densidad y resistividad térmica.

La resistividad térmica de estos materiales es altamente susceptible a la presión dentro de panel contenedor.

Un experimento del desempeño de estos polvos es probar su conductividad térmica en un rango de presiones decrecientes, esta prueba es llevada a cabo en una cámara de presión radial, en la cual el polvo es empaquetado entre cilindros concéntricos con una diferencia de temperatura entre ellos, esto es usado para medir la transferencia de calor a través del polvo aislante a niveles variables de vacío y una de estas pruebas arrojo los resultados mostrados en la figura 3.2.1

En la figura 3.2.1 la curva muestra que, conforme la presión disminuye, en el polvo aumenta moderadamente la resistividad térmica, hasta cerca de 100 Torr, punto donde la curva empieza a ascender muy rápido de aquí en adelante la mayor medición de resistividad ocurre a la menor presión y un pequeño incremento en la presión puede resultar en un gran decremento en la resistividad.

Para un polvo de relleno dado, la presión requerida para alcanzar  $R=20$  esta frecuentemente referida como la presión máxima del material. Para aplicaciones prácticas esta presión es un determinante excelente de factibilidad comercial, esta establece los niveles de vacío necesarios para: su instalación con implicaciones de costo de producción, integridad y duración del producto, y funcionamiento sobre fallas de vacío.

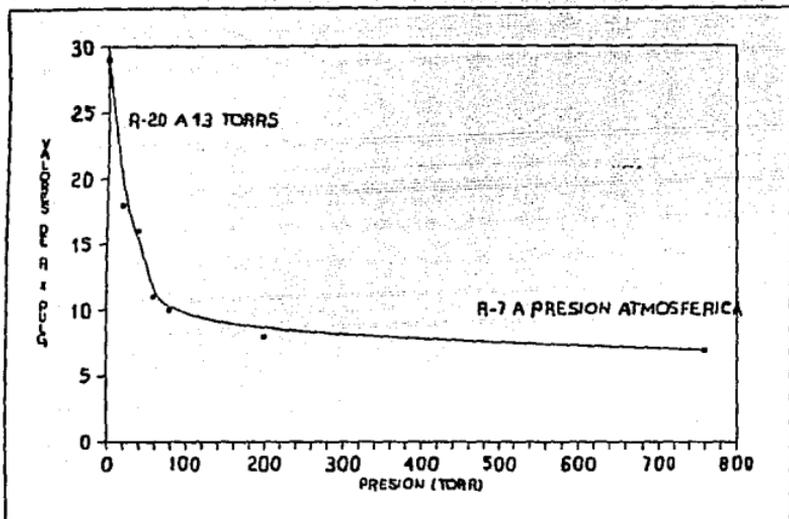


FIGURA 3.2.1 VALORES DE AISLAMIENTO CONTRA PRESION  
(Para polvos aislantes al vacío de precipitado de sílica)

Se han probado varios materiales en los laboratorios del Oak Ridge National Laboratory para determinar su funcionamiento como aislante esto se hace como se describe anteriormente y en general se puede decir que los productos de espuma de sílica han trabajado muy bien pero son muy caros, materiales baratos han trabajado bien (precipitado de sílica, perlita) pero su presión máxima es muy baja.

En la G.E. se han probado paneles al vacío con polvos llenadores en refrigeradores con precipitado de sílica que es formado por la

interacción del silicato de sodio (water glass) y ácido sulfúrico, que es comercialmente disponible y relativamente barato (aprox. \$0.8 USD por pie tabla (board foot)<sup>(4)</sup>); la sílica es secada en una membrana porosa de polipropileno y comprimida para formar una especie de bolsa con la densidad deseable (10-13 lb/ft<sup>3</sup>[-0.16-0.28 kg/litro]), esta bolsa es entonces sellada dentro de otra cubierta de un plástico metalizado.

Los primeros paneles desarrollados por G.E. fueron adaptados con una válvula y posteriormente sellados, más tarde fueron sellados directamente en una vasija al vacío, un proceso más accesible para producción a gran escala, los paneles pueden entonces ser sujetos a la estructura de los refrigeradores.

En las pruebas de G.E., paneles de 1" de espesor (2.5 cm) fueron puestos en su sitio a mano y después el espacio sobrante llenado con espuma estandar estructural. Estos prototipos fueron algunos vendidos y otros apartados para pruebas. G.E. dice que la energía que se ahorra es menor a la proyectada.

La transferencia de calor en el aislamiento térmico puede ocurrir por conducción y radiación en los componentes sólidos del aislamiento y por conducción, convección y radiación en los componentes gaseosos.

---

<sup>(4)</sup> Un board foot es un volumen igual a una pulg. de espesor de un área de un pie cuadrado (equivalente a 2.36 litros)

Todos los modos de transferencia de calor deben ser reducidos para hacer un material super-aislante.

La convección dentro del aislamiento es minimizada confinando el gas dentro de celdas las cuales son suficientemente pequeñas para prevenir movimiento del volumen de gas en ellas.

La conductividad térmica del gas dentro del aislamiento puede ser reducida de una manera similar: Reduciendo el tamaño de las celdas o poros dentro del aislamiento a un tamaño que es menor que a la principal ruta libre de las moléculas de gas.

#### *Aislamientos compactos al vacío.*

El Instituto de Investigación de Energía Solar (SERI) en E.U., ha estado buscando desde 1985, un acercamiento completamente diferente al aislamiento al vacío, teniendo en cuenta las ventajas de un casi vacío completo, un equipo de SERI ha desarrollado un número de aislamientos compactos al vacío: A paneles en vacío se les incorpora capas exteriores de hojas delgadas de acero inoxidable, dentro de estos un espaciador de vidrio, con una presión interna de  $10^{-4}$  torr ( $0.133^{-4}$  bar).

La meta de este programa es alcanzar valores de aislamiento de  $R=10$  en secciones delgadas (compactas)  $\approx 0.1''$  ( $\approx 2.5\text{mm}$ ) de espesor. Si bien ha habido pocos retrasos en el progreso de esta tecnología, se

han alcanzado valores de  $R=54$  por pulgada en una serie de paneles apilados, y un prototipo de refrigerador se ha estado ensamblando.

Aunque el principal mercado para estos esta en la industria de los aparatos electrodomésticos, como un material altamente aislante y delgado podría también ser útil en la transportación de la comida congelada, rama espacial, etc. La apertura de este aislamiento a estos mercados podría acelerar su desarrollo beneficiando la industria de los aparatos electrodomésticos.

Este aislamiento sostiene la promesa de alcanzar niveles de aislamiento de  $R=60$  en todo el gabinete del refrigerador el cual se ha propuesto por ser el valor económicamente deseable y así un refrigerador podría tener un compresor mucho menor para incrementar su eficiencia.

Una sección de un panel compacto al vacío se muestra en la figura 3.2.2.

Con un material no llenador el camino libre para las moléculas de gas es más difícil, así una muy baja presión debe ser mantenida dentro del panel para que funcione correctamente, cuando esto ocurre la conducción y la radiación de los gases son casi eliminadas, La conducción por sólidos es limitada al espaciador de vidrio (el cual tiene una área de contacto muy pequeña) y la conducción bidimensional en el metal se envuelve en los rincones hacia las soldaduras de laser de las orillas del panel.

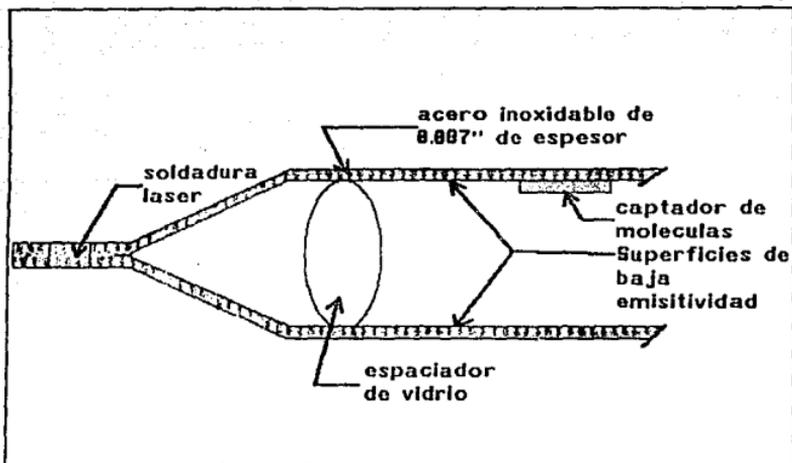


FIGURA 3.2.2 SECCION DE UN AISLAMIENTO COMPACTO AL VACIO  
(Desarrollado por SERI)

El principal medio de transferencia de calor en el panel es la radiación, esta puede ser disminuida teniendo paneles hechos o cubiertos con un material de baja emitancia.

Mantener el vacío es el mayor problema de estos paneles de alto vacío pero puede solucionarse con la inclusión de un material reactivo que atrae a las moléculas de gas extraviadas en una tira delgada de metal de bario, titanio y/o aleación de circonio que es una técnica barata y bien establecida.

Las fugas de vacío extremadamente pequeñas pueden ser toleradas pero las fugas pequeñas pueden inducir a que falle el panel con severas reducciones en el valor del aislamiento (de  $R=10$  a  $R=2$  [ $\times 1/10$ "]) así que el diseño de los fabricantes debe ser construido tomando en consideración lo anterior para que este aislamiento dure unos 20 años, que es el tiempo promedio de vida de un refrigerador.

*Paneles llenos de gas (superaislantes):*

Este tipo de aislamientos alcanzan valores de resistividad de 8 a 15 por pulgada; como se muestra en la figura 3.2.3 consisten en algunas hojas paralelas planas de película polimérica, impermeables al gas, metalizadas. (.001 a .005 pulg de espesor). Estas hojas metalizadas de baja emisión eliminan virtualmente la transferencia de calor por radiación. Las hojas están estructuradas para formar una capa exterior para que ellas se soporten entre si, estas crean múltiples huecos que son llenados con gas de baja conductividad.

Los espacios huecos son óptimos para este gas, esto minimiza la transferencia de calor por conducción.

Los deflectores de baja emitancia, son construidos usando película corrugada de .0005 pulgadas de espesor puestas entre cada conjunto de placas paralelas, esto minimiza la convección y además baja la radiación.

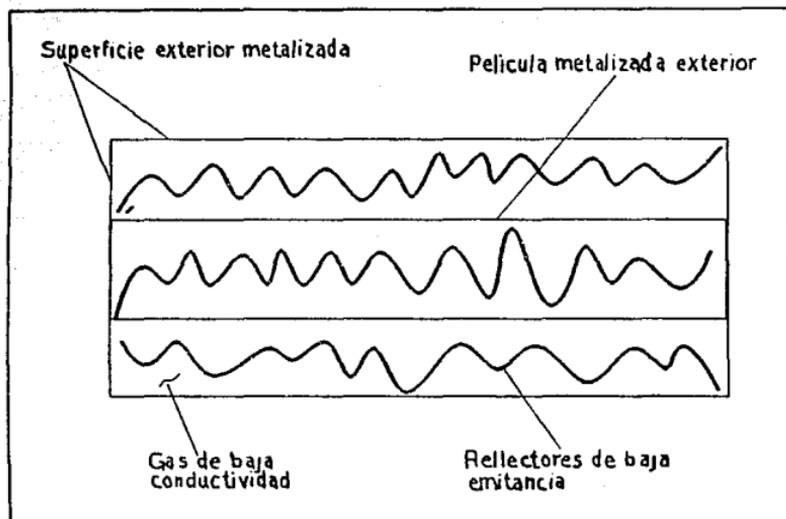


FIGURA 3.2.3 SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN PANEL QUE CONTIENE GAS DE BAJA EMITANCIA

Los deflectores también sirven para sostener el material de toda la estructura. Debido al grosor y a la baja conductividad del material aislante en placas las pérdidas en la orilla son insignificantes. Este material está todavía en desarrollo.

Los valores de resistividad varían de acuerdo al gas que se utilice para llenarlos. Puede ser Argón o Krypton siendo el último más caro.

## Aerogel.

Desde hace 50 años, las técnicas han venido evolucionado para conseguir que los geles con base de silicón puedan secarse sin encoger, substituyendo el aire por agua en el gel. El material resultante es en extremo poroso, con celdillas de muy baja densidad, las cuales al hacerles un vacío de  $\frac{1}{10}$  de una atmósfera, alcanzan un valor de aislamiento de R=20 por pulgada.

Siendo descubierto a principios de los 30' en la Universidad de Staford, el aerogel, fue estudiado y mejorado por grupos de franceses, alemanes, suecos y americanos para usos que van desde un medio para poder almacenar explosivos hasta para detectores de radiación Cerenkov (la aplicación comercial más común).

El tamaño del poro del aerogel es muy pequeño (solo 10 nm  $<10^{-8}$  m), por eso casi elimina la convección de la fase gaseosa, mientras que las tenues celdillas dan un camino muy pequeño para la conducción en sólido, por eso el modo dominante de transmisión de calor, a través de un panel de aerogel, es por radiación. Si se adiciona una capa que sea opaca o reflectiva a la radiación infrarroja, mejorará el funcionamiento del panel; mientras que el potencial técnico para el funcionamiento del aerogel, es más limitado que el aislamiento al alto vacío, éste está en un estado de avance relativo de desarrollo y tiene varias ventajas: aísla bastante bien aún cuando

tenga fallas de vacío suave, es más fácil de procesar y cuenta con menos materiales de alta tecnología y fabricación.

Las placas de aerogel son hechas en tinas mezclando tetraetilortosilicate (TEOS) con etanol y agua, el fluido resultante es entonces calentado a presión en un molde para eliminar el agua, obteniéndose un enrejado de sílica ocupando casi el volumen original.

Las mejoras en estos proceso han acortado el tiempo de producción de un par de meses hasta cerca de 24 horas y han eliminado el uso de metanol, un solvente particularmente flamable (aunque sigue usándose).

La más reciente investigación en aerogel se ha enfocado a sus propiedades como aislamiento térmico en aplicaciones a ventanas (el material es translúcido) y para aislamiento en aparatos domésticos.

Para usos en los refrigeradores domésticos, placas de aerogel de  $\frac{1}{4}$  a 1 pulgada de espesor (20 a 25 mm) podrán ser empaçadas en un panel o bolsa de plástico laminada, los paneles cubrirán todos los lados de un refrigerador y el espacio sobrante dentro de las paredes podría ser llenado con una espuma estructural aislante. Si los paneles de aerogel pueden alcanzar el aislamiento necesario por si solos, entonces la espuma estructural puede ser de un material que no contenga CFC's y tenga una baja resistividad.

Paneles del tamaño de un lado del refrigerador (pared entera) podrían ser producidos en serie y sellados, minimizando penetraciones a través de la capa aislante (como son los tubos del condensador, conexiones eléctricas, etc.) facilitando su construcción y mejorando su funcionamiento.

El aerogel es un material ligero, rígido y frágil; este puede fácilmente resistir la presión atmosférica externa conservando su forma y puede ser modelado o cortado a formas y tamaños especiales.

Un buen factor en el funcionamiento del aerogel es su densidad, la cual puede ser fácilmente controlada en el proceso de manufactura, además, como el material es cohesivo y tiene relativamente bordes limpios, este puede ser sellado en una bolsa al vacío sin usar el liner permeable requerido para contener las pérdidas del aislamiento como en los polvos al vacío.

Basados en un estudio de costos, los paneles de aerogel de 0.75 pulg. (1.9 cm) de espesor y con una R de 15 podría costar a los fabricantes de refrigeradores \$1-2 USD. por pie<sup>2</sup>. Gran parte de este costo es debido al material, en particular el costo del producto final es muy cambiante conforme al costo de existencias de TEOS, que es la materia prima para el aerogel.

Lo que mayor interés causa a los fabricantes es que los paneles pueden eventualmente perder su vacío resultando un menor desempeño.

Como el aislamiento de aerogel solo necesita un vacío de 0.1 atmósfera (76 Torr) para conseguir una  $R=20$  por pulg., para mantener el vacío se puede dar un sobre-vacío al panel inicialmente. así este podrá tolerar una difusión gradual y elevar la presión fuera del alcance de las pérdidas del funcionamiento del aislante (a diferencia de los polvos al vacío aislantes, hacer un vacío mayor a 76 Torr solo mejora un mínimo el funcionamiento del aislamiento).

Cuando el vacío falla completamente la resistividad del aislamiento cae de  $R=20$  a  $R\leq 7$  por pulgada que es el mismo valor que el de la espuma rígida de poliuretano corrientemente utilizada para este fin, este aspecto de pérdida, hace de la tecnología de bajo vacío tal como la del aerogel muy atractiva.

### 3.2.2 COMPRESORES

<sup>(1)</sup>Dos medidas útiles para conocer el desempeño del compresor son su capacidad (la cual es relacionada con el volumen de desplazamiento del compresor) y su eficiencia.

La capacidad es la razón de calor removido por el refrigerante bombeado por el compresor en el sistema de refrigeración. La capacidad es igual al producto del flujo másico del refrigerante producido por el compresor y la diferencia de las entalpías

---

<sup>(1)</sup> Fundamental Handbook; Cap 38 Compressors.

especificas del vapor refrigerante en su estado termodinámico cuando este entra al compresor y el refrigerante líquido a la temperatura de saturación correspondiente a la presión del vapor de salida del compresor, esto es medida en BTU/h. (Watts).

El Coeficiente de desempeño (COP [Coefficient Of Performance]) para un compresor hermético incluye las eficiencias de operación combinadas de el compresor y el motor.

COP = Capacidad (BTU/h)[W] / potencia de entrada al motor (BTU/h)[W]

La capacidad del compresor en una condición de operación dada es una función de la masa de gas comprimida por unidad de tiempo, idealmente la razón de flujo másico es igual al producto del desplazamiento del compresor por unidad de tiempo y la densidad de gas, como se muestra en la ecuación:

$$w = \zeta V_c$$

donde:

w= razón de masa ideal de gas comprimido lb/h (kg/s)

$\zeta$ = densidad de entrada al compresor del gas lb/pie<sup>3</sup> (kg/m<sup>3</sup>)

V<sub>c</sub>= desplazamiento geométrico del compresor pies<sup>3</sup>/h (m<sup>3</sup>/s)

Recientemente el factor de comportamiento ha sido importante para la industria a causa de la conservación de la energía. Ahora se le llama EER (Energy Efficiency Ratio [relación de eficiencia energética])<sup>(4)</sup>

---

<sup>(4)</sup> EER se define como kBTU/h de enfriamiento suministrado por kW de electricidad de entrada. Dividiendo EER por 3.413 obtenemos el COP (coeficiente de desempeño).

Las desviaciones en el funcionamiento del compresor ocurren por varias pérdidas, resultando en el decremento de capacidad y el incremento de la energía de entrada. dependiendo del tipo de compresor algunos de los siguientes factores tienen que ver en el funcionamiento del compresor:

fugas de presión en el compresor:

A través de válvulas cerradas (succión, descarga o ambas)

Todas estas pérdidas son difíciles de calcular individualmente, sin embargo se puede agrupar y considerar por categorías.

Sus efectos en el funcionamiento ideal del compresor es medido por las siguientes eficiencias:

**EFICIENCIA DE COMPRESION:** Es una medida de la desviación de compresión real respecto al ciclo de compresión perfecto y se define como el trabajo hecho dentro del cilindro.

**EFICIENCIA MECANICA:** Es la razón del trabajo entregado a el gas a el trabajo de salida de la flecha del compresor .

**EFICIENCIA VOLUMETRICA:** Es la razón del volumen del gas actual entrando al compresor al desplazamiento teórico del compresor.

**EFICIENCIA ISENTROPICA (ADIABATICA):** Es la razón del trabajo requerido para la compresión isentrópica del gas al trabajo de salida de la flecha del compresor.

**CAPACIDAD ACTUAL:** Es una función de la capacidad ideal y la eficiencia volumétrica total.

El comportamiento del compresor se evalúa por medio de estas definiciones y es el resultado del diseño de este que envuelve ciertas limitaciones físicas del refrigerante, el compresor y el motor entre otras cosas.

<sup>17</sup>Para cumplir con las regulaciones de 1990 de normas de eficiencia de E.U VER ANEXO A los refrigeradores deberán usar un compresor con una relación de eficiencia energética (EER) de 4.5 a 5 que es mucho mejor que el EER de 3 a 4 de los años anteriores.

Se prevee que en E.U. el 25% de los modelos de 1990 tendrán compresores de EER=5 o mayor. Mientras que compresores de EER=5 son disponibles en capacidades grandes (>600 BTU/h o >176W) un representante industrial dice que lo más que se espera ver en las unidades pequeñas es de EER = 4.5.

Hay un considerable debate acerca de el paso que hay que seguir para mejorar la eficiencia en los compresores especialmente en los modelos pequeños y particularmente ahora que el refrigerante predominante, el CFC-12 ha sido prohibido totalmente a partir de el año 2000.

---

<sup>17</sup> The state of the art: Appliances COMPETITEK pag 61.

En un estudio realizado por el DOE se determina que para alcanzar los niveles máximos de consumo el compresor debe tener un EER=5.3 y estos deberán estar disponibles para incorporarlos en los refrigeradores para 1993.

Los fabricantes están inconformes porque dicen que reemplazar el refrigerante CFC-12 requerirá substanciales rediseños en el compresor con significativas bajas de eficiencia.

Los dos fabricantes más importantes de compresores en E.U. Han encontrado de 6 a 8% de pérdida en eficiencia cuando sustituyen el gas refrigerante CFC-12 por el HCFC-134a, además las diferentes propiedades químicas del HCFC-134a lo hacen incompatible con algunos materiales y lubricantes usados en los modelos corrientes. El rediseño y la verificación de los componentes tomará tiempo haciendo que esto sea difícil o imposible de estar en el año de 1993.

Serán necesarios rediseños considerables para abstenerse totalmente de los CFC's, pero la pérdida de eficiencia por sustitución de CFC's será normal.

Una mezcla de tres componentes de HCFC-22, HCFC-152a y HCFC-124 que se espera equiparará la eficiencia del CFC-12 ha estado desarrollándose recientemente por Du Pont. Este es un sustituto sin problemas de compatibilidad con el aceite, falta la prueba de toxicidad.

### *Compresores de alta eficiencia.*

Hoy en día los compresores utilizan el CFC-12 como fluido de trabajo. La eficiencia del compresor ha mejorado considerablemente durante los pasados 10 años, y los avances continúan todavía.

El compresor es el elemento que consume mayor cantidad de energía dentro del refrigerador, los avances en la eficiencia del compresor tienen un efecto significativo sobre la eficiencia global del refrigerador. Los compresores comúnmente usados en los E.U. tienen una EER de 4 o mayor. Se cree que estará disponible un compresor con una EER=5.3 para los próximos 4 años.

### *Sistemas de doble compresor.*

En un refrigerador, se utiliza típicamente un solo compresor para enfriar a través del serpentín del evaporador, el aire que circula a través de ambos compartimientos; este arreglo resulta barato pero no muy eficiente, porque la humedad de los alimentos se condensa y se congela en el serpentín, reduciendo así la eficiencia de transferencia de calor y acrecenta la necesidad de deshielo (en modelos con deshielo automático), además de que aumentan el gasto de energía y produce baja humedad en el refrigerador deshidratando la comida rápidamente.

Usando un moto-compresor y evaporador separado por cada compartimiento en un refrigerador-congelador se lograría un ahorro

considerable de energía (más del 20% de la energía consumida por el compresor).

El evaporador en el compartimiento de comida fresca es considerablemente más caliente que un evaporador en el congelador que tiene que servir para ambos compartimientos.

La eficiencia del ciclo de refrigeración depende en gran medida en minimizar la diferencia de temperaturas entre el condensador y el evaporador.

Así teniendo un compresor exclusivo para el compartimiento de comida fresca este trabajará solo el tiempo necesario para estabilizar la temperatura en el compartimiento. Porque un sistema de doble compresor trabajará menos tiempo al día que un sistema de un solo compresor.

Adicionalmente esto reducirá la necesidad de deshielo (por que el congelador estará totalmente aislado del compartimiento de comida fresca), se mantendrá una mejor temperatura en ambos compartimientos y se conservarán los alimentos por mayor tiempo debido a la mayor humedad y menor necesidad de circulación de aire.

El sistema de dos compresores elimina la necesidad de deshielo y equipo de circulación del aire en el compartimiento del refrigerador reduciendo el tamaño del ventilador y evaporador en el

congelador, eliminando la necesidad de ductos de aire que conectan los dos compartimientos así como el termostato que controla el flujo de aire entre los compartimientos.

#### *Compresores de velocidad variable*

Ordinariamente los motores de inducción son óptimos para operación a plena carga en sus diseños de frecuencia y rango de velocidad particulares, así ellos no pueden rendir lo máximo si se les reduce la frecuencia y la velocidad.

Ahora que los controladores de velocidad variable (Adjustable-speed drives (ASD)) han mejorado la eficiencia y rentabilidad de motores para aplicaciones comerciales e industriales, ellos pueden mejorar el funcionamiento del motocompresor del refrigerador, reduciendo el uso y desgaste de los componentes eléctricos y mecánicos del compresor, esto debido a que trabajan en conjunto la velocidad del motor y la carga.

Otra opción sería combinar motores convencionales con controladores de factor de potencia los cuales reducen la corriente de magnetización durante las partes de cada ciclo de enfriamiento cuando el compresor esta substancialmente sin carga.

### *Compresor y condensador montados en la parte de arriba.*

El condensador actualmente se encuentra ubicado en la parte posterior del refrigerador y el compresor en la parte de abajo, se puede mejorar el uso de la energía si se colocarán el compresor y condensador en la parte de arriba, esto tiene sentido puesto que el calor se logra disipar con mayor eficiencia que estando atrás estos componentes.

No solo reduce la ganancia de calor en el espacio enfriado sino que mantiene frío al compresor, incrementando así su eficiencia y tiempo de vida, también hace que el condensador quede accesible para limpiarse y permitirle una buena transferencia de calor.

### **3.2.3 OTROS**

#### *Mejorar sellos de puertas.*

La ganancia de calor alrededor de las orillas de la puerta y a través de los sellos es parte importante de la carga de refrigeración. La geometría y los materiales que sellan mejor y han mejorado el valor del aislamiento están investigándose por algunos fabricantes, otra razón para esto es que un funcionamiento deficiente del sello provoca condensación entre este y la pared provocando fugas de aire, mayor infiltración, congelamiento interior e incremento de energía por la necesidad de deshielo.

### *Mejorar ventiladores.*

Los ventiladores son usados en el refrigerador para mejorar la transferencia de calor del condensador y el evaporador y circular el aire para mayor uniformidad de temperaturas a través del compartimiento de comida fresca. Los ventiladores del condensador y el evaporador generalmente consumen de 10 a 16 W contribuyendo directamente al uso de electricidad, y adicionando calor que el sistema de refrigeración debe remover.

Los ventiladores se pueden hacer más eficientes, poniéndoles motores de alta eficiencia, mejorando los controladores o diseños al refrigerador para minimizar o eliminar el uso de estos.

### *Válvulas de control de fluido.*

Para controlar el flujo de refrigerante, especialmente en condiciones de mucha carga, se podría utilizar una válvula de expansión ajustable en lugar del tubo capilar, esto daría por resultado un mejor funcionamiento.

### *Uso de corrientes de convección natural.*

El uso de corrientes de convección natural en el refrigerador-congelador eliminaría la necesidad de usar ventiladores con el consiguiente ahorro de energía y reducción de la carga refrigerante.

### *Refrigerantes alternativos.*

Las regulaciones de EPA (Environmental Protection Agency (E.U)) con respecto a la producción de CFC's ~~VER ANEXO A~~ han promovido la investigación hacia refrigerantes que puedan reemplazar al CFC-12.

El fluido de trabajo en un sistema de refrigeración por compresión debe satisfacer un número de requerimientos tales como estabilidad química, tener baja o nula toxicidad, no ser inflamable y tener un alto calor latente de evaporización.

Los productores de CFC's, actualmente, investigan las propiedades físicas y termodinámicas de cada posible refrigerante alternativo y los fabricantes de compresores los prueban en sus productos para determinar la eficiencia y su compatibilidad con los lubricantes.

Algunos de estos substitutos que tienen un bajo potencial de destrucción de ozono son HCFC-22, HCFC-134a y una mezcla desarrollada por Du Pont, esta mezcla esta compuesta por HCFC-124, HCFC-22 y HCFC-152a.

## CAPITULO 4

## EVALUACION DE RENDIMIENTOS

### 4.1 Metodología.

Esta investigación esta basada en un estudio que se desarrollo en el IIE VER ANEXO C con respecto al ahorro de energia en refrigeradores domésticos.

Las etapas que se consideran son las siguientes:

- I. Información sobre ahorro de energía, métodos de prueba y regulaciones en refrigeradores domésticos a nivel internacional.
- II. Análisis de las tecnologías viables en refrigeradores domésticos en México.
- III. Comparación de las normas nacional e internacional para el método de prueba en la determinación de consumo eléctrico en refrigeradores.
- IV. RESULTADOS: A partir de las tecnologías factibles, se determinaron valores de consumo de energía máximos para cada

tipo de refrigerador que podrían incluirse en la norma oficial Mexicana referente a refrigeradores domésticos, además de que se hará correcciones a los métodos de prueba en concordancia con las normas internacionales más completas en este aspecto.

En E.U. existe una regulación a nivel federal donde se determina el consumo máximo permisible para diferentes clases de aparatos tales como refrigeradores, refrigeradores-congeladores y congeladores, esta clasificación se determino tomando en cuenta el tipo de deshielo, la colocación del compartimiento congelador y los accesorios de servicio.

La regulación federal en E.U. para refrigeradores y congeladores, entro en vigor el 1º de enero de 1990. El Departamento de Energía de los E.U. (DOE) estableció posteriormente otros valores más exigentes que entrarán en vigor el 1º de enero de 1993. Esta revisión federal de normas se encuentra en la tabla 4.1.1.

De acuerdo a esta clasificación se desarrollo un estudio para conocer los consumos máximos permisibles para cada clase y de acuerdo a su capacidad refrigerante (Volumen ajustado {VA}).

**TABLA 4.1.1 CLASIFICACION Y CONSUMOS MAXIMO PERMITIDO DE REFRIGERADORES DOMESTICO EN E.U.**

CLASE DE PRODUCTO	Evaluación de consumos máximos permitidos y fecha de entrada en vigor (kWh/año)	
	1/1/1990	1/1/1993
Refrigerador y refrigerador-congelador con deshielo manual	16.3 VA + 316	13.5 VA + 269
Refrigerador-congelador con deshielo parcialmente automático	21.8 VA + 429	18.0 VA + 396
Refrigerador-congelador con deshielo automático, congelador en la parte superior sin servicios a través de la puerta.	23.5 VA + 471	18.0 VA + 355
Refrigerador-congelador con deshielo automático, congelador en parte lateral sin servicio a través de la puerta.	27.7 VA + 498	21.8 VA + 501
Refrigerador-congelador con deshielo automático, congelador en la parte inferior sin servicios a través de la puerta.	27.7 VA + 458	16.3 VA + 467
Refrigerador-congelador con deshielo automático congelador en la parte superior con servicios a través de la puerta	26.4 VA + 535	17.6 VA + 391
Refrigerador-congelador con deshielo automático, congelador en parte lateral con servicios a través de la puerta	30.9 VA + 547	16.3 VA + 527

El consumo de energía de un refrigerador depende del volumen del compartimiento de comida fresca y del compartimiento congelador.

$$VA = V_{ccf} - V_{cc} (FC)$$

Donde:

*VA* = Volumen ajustado.

*V<sub>ccf</sub>* = Volumen del compartimiento de comida fresca.

*V<sub>cc</sub>* = Volumen del compartimiento congelador.

*FC* = Factor de corrección.

El factor de corrección se define como la relación entre el flujo de calor a través de las paredes del congelador y el flujo de calor a través de las paredes del compartimiento de comida fresca.

El factor de corrección extiende el volumen del congelador, considerando la diferencia de temperatura con el compartimiento de comida fresca e indica el volumen equivalente que tendría a la temperatura de este último.

$$\text{Factor de corrección} = \frac{\text{Temperatura ambiente} - \text{Temperatura}_{cc}}{\text{Temperatura ambiente} - \text{Temperatura}_{ccf}}$$

La norma ANSI-AHAM determina que estos valores son aproximadamente para:

Refrigerador convencional:

$$V_A = V_{ca} + V_{cc} \quad (1.44)$$

Refrigerador-congelador:

$$V_A = V_{ca} + V_{cc} \quad (1.63)$$

Se da un panorama del tipo de refrigeradores producidos en México (tabla 4.1.2 y 4.1.3) donde se encontró que los refrigeradores que se producen caen dentro de las dos primeras clases establecidas por la regulación americana.

De acuerdo a esta información y a sus volúmenes ajustados se determino que su consumo de energía en la mayoría de los modelos es mayor que los permitidos por la regulación americana, sin embargo, los aparatos de exportación si cumplen estos niveles de consumo.

En todos los casos el material aislante es espuma rígida de poliuretano que tiene valores de resistividad de 7.88 a 8 por pulgada, y los espesores de paredes son de hasta 2 pulgadas.

Las eficiencias de los compresores (EER's) se encuentran desde 2.7 hasta 3.78 para el mercado nacional, llegando hasta 4.27 para modelos de exportación.

TABLA 4.1.2 CARACTERISTICAS DE LOS REFRIGERADORES DE FABRICACION NACIONAL

Capacidad (ft <sup>3</sup> )	CONSUMO NACIONAL							EXPORTACION	
	3.7	7.6	8.6	9.6	10.6	11	13	3.7	9.6
Volumen cong. (ft <sup>3</sup> )	0.34	0.93	0.93	0.93	0.93	3.20	3.20	0.34	0.93
Volumen refrig. (ft <sup>3</sup> )	3.42	6.561	7.560	8.62	9.58	8.04	8.92	3.42	8.62
Volumen ajustado (ft <sup>3</sup> )	3.91	7.89	8.89	9.95	10.91	13.61	14.13	3.91	9.95
Tipo	R	R	R	R	R	R/C	R/C	R	R
No. puertas	1	1	1	1	1	2	2	1	1
Tipo de deshielo	manual	manual	manual	manual	manual	auto deshielo	auto deshielo	manual	manual
Cons. energía (kWh/año)	430	430	515	520	430	701	694	368	470
% de integración nacional.	93.36	91.9	92.4	92.5	93.2	93.2	95	69	69
Cap. compresor (BTU/hr)	369	369	369	369	369	714	814	280	360
EER compresor	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	3.74	3.78	3.2	3.6
Esp. aislante de pta de ref. (pulg.)	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.5	1.5	1.25	1.25
Esp. aislante de lat de ref. (pulg.)	1.25	1.5	1.5	1.5	1.5	1.75	1.75	1.25	1.5
Esp. aislante de pta de cong. (pulg.)	-----	-----	-----	-----	-----	2	2	-----	---
Esp. aislante de lat de cong. (pulg.)	-----	-----	-----	-----	-----	1.75	1.75	-----	-----
Aislamiento térmico	Espuma rígida de poliuretano								
K(BTU-pulg/hr °F pie <sup>2</sup> ) [R]	.1269 [7.88]								

TABLA 4.1.3 CARACTERISTICAS DE LOS REFRIGERADORES DE FABRICACION NACIONAL

Capacidad (ft <sup>3</sup> )	CONSUMO NACIONAL				EXPORTACION E.U	
	8	9	10	12	12	14
Volumen cong. (ft <sup>3</sup> )	1.16	1.16	1.16	1.5	2.85	3.77
Volumen refrig. (ft <sup>3</sup> )	6.84	7.84	8.84	10.5	8.79	10.3
Volumen ajustado (ft <sup>3</sup> )	8.51	9.51	10.51	12.66	12.99	16.44
Tipo	R	R	R	R	R/C	R/C
No. puertas	1	1	1	1	2	2
Tipo de deshielo	manual y auto-deshielo	manual y auto-deshielo	manual y auto-deshielo	manual y auto-deshielo	auto-deshielo	auto-deshielo
Cons.energía (kWh/año)	415	538	639	756	780	812
% de integración nacional.	---	----	---	---	---	---
Cap. compresor (BTU/hr)	345	345	345	470	710	710
EER compresor	3.1	3.1	3.1	3.6	4.27	4.27
Esp. aislante de pta de ref. (pulg.)	1.185				1.41	1.41
Esp. aislante de lat de ref. (pulg.)	1.42				1.69	1.69
Espesor aislante de pta de congelador	-----					
Espesor aislante de lat de congelador	-----					
Aislamiento térmico	Espuma rígida de poliuretano					
K(BTU-pulg/hr °F ft <sup>2</sup> ) [R]	0.125 [8]					

#### 4.2 Opciones de eficiencia energética.

Para estimar el uso de energía con algún cambio de diseño se desarrolló en Lawrence Berkeley Laboratory (LBL) (The University of California), por contrato del Departamento de Energía (DOE), el modelo de energía residencial, un modelo para la determinación del consumo de energía por cada mejora tecnológica para refrigeradores<sup>(9)</sup>.

##### Explicación del modelo de energía residencial:

Este modelo calcula fugas de calor dentro del gabinete y determina la energía necesaria para que el sistema de refrigeración mantenga su temperatura específica interior.

Las cargas internas de las resistencias calentadores y los motores de los ventiladores del evaporador son adicionadas a la ganancia de calor externa; y la energía para que funcione el compresor, ventiladores, resistencias antisudado y resistencias calentadores de deshielo es calculada.

Se requiere información detallada de las dimensiones del gabinete, niveles y tipo de aislamiento, funcionamiento del compresor (EER),

---

<sup>(9)</sup> Technical Support Document. Energy conservation standards for consumer products: Refrigerators and Furnaces DOE Nov.1989 (DOE/CE-0277)

efectividad de los intercambiadores de calor y equipo eléctrico auxiliar; para poder correr este modelo de simulación.

El modelo de simulación para el refrigerador casero esta compuesto por dos submodelos: una rutina de cálculo de carga de calor en el gabinete y un análisis de funcionamiento de la unidad refrigerante los resultados del cálculo de carga de calor son suministrados automáticamente al análisis de funcionamiento del circuito refrigerante para predecir el funcionamiento del refrigerador que esta siendo analizado.

#### MODELO DE ANALISIS DE FUGAS DE CALOR:

El modelo utilizado para calcular las fugas de calor en el gabinete esta basado en los principios básicos de transferencia de calor, con correcciones especiales para tratar con superficies no planas y efectos de esquinas y orillas. Esta relación es usada en el análisis de varias secciones, como lo son cada uno de los compartimientos que comprende cada unidad, para que el modelo corra requiere los siguientes datos:

- Temperatura ambiente.
- Temperatura del compartimiento congelador.
- Temperatura del compartimiento de comida fresca
- Temperatura del aire interior
- Temperatura del compresor

- Coeficiente de película exterior
- Coeficiente de película de paredes interiores
- Conductividades térmicas:
  - \* Aislamiento de gabinete
  - \* Separaciones internas
  - \* Fugas de calor de sellos.
- Dimensiones totales del refrigerador.

#### MODELO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION:

Un compresor y una unidad de condensación suministran el refrigerante líquido comprimido al dispositivo de expansión (tubo capilar) donde el refrigerante es enfriado y suministrado a la sección del evaporador, el calor de salida del evaporador entra al intercambiador de calor donde este enfría el líquido descargándolo en el condensador y finalmente retorna al compresor.

Las ecuaciones que gobiernan principalmente el funcionamiento del sistema son resueltas en el submodelo del sistema de refrigeración donde se requiere saber:

- Razón del flujo másico del compresor
- Consumo de energía del compresor
- Temperatura media del condensador
- Temperatura media de evaporador
- Disipación del calor del compresor.

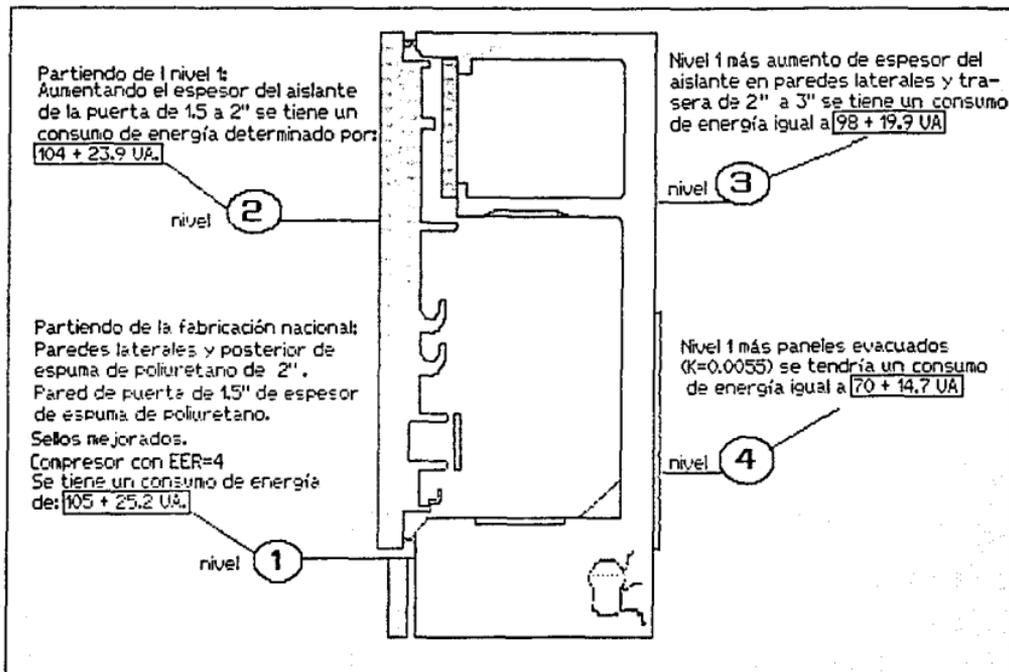


FIGURA 4.2.2 CONSUMOS DE ENERGÍA PARTIENDO DE LA FABRICACIÓN NACIONAL PARA UN REFRIGERADOR CONVENCIONAL.

- Diferencia de entalpías del refrigerante en el condensador.
- Capacidad del sistema de refrigeración

Los resultados obtenidos de este modelo son mejoras donde se considera que las tecnologías utilizadas son las que mayor impacto tienen en el consumo de energía y van en orden creciente de acuerdo a su disponibilidad económica y factibilidad tecnológica.

La disponibilidad económica en este estudio, se determinó con datos de fabricantes de E.U..

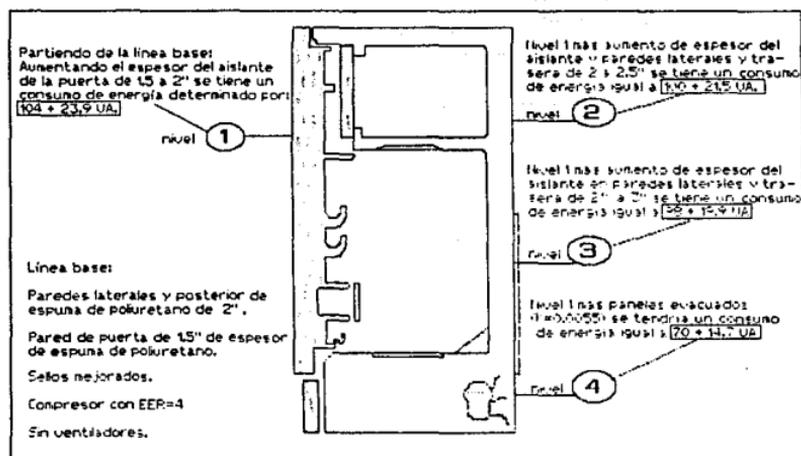


FIGURA 4.2.1 RESULTADOS DEL MODELO DE LBL PARA UN REFRIGERADOR CONVENCIONAL

Los resultados de este estudio se muestran en la figura 4.2.1 que son niveles de consumo exclusivos para un refrigerador convencional con deshielo manual, que son los de mayor fabricación en México.

La mayoría de las opciones de cambio se encuentran en el compresor, aumentando su EER, y en el aislamiento aumentando su grosor y al último cambiándolo totalmente.

En los datos de las tablas 4.1.2 y 4.1.3 se ve que la fabricación nacional esta abajo de la línea base propuesta así que se determino manejar los niveles de acuerdo a la figura 4.2.2 para estudiar los aparatos en México

Para la figura 4.2.2 vemos estos resultados con su correspondiente consumo de energía y los niveles de mejoras corresponden a lo siguiente:

- Para el primer nivel de mejora:  
Cambio de compresor con eficiencia de  $EER = 4$ , espesor de pared de puerta a 1.5 pulg., espesor de paredes de gabinete a 2 pulg, sellos mejorados.
  
- Para el nivel 2 de mejora:  
Incremento de espesor de pared de puerta a 2 pulg.

- Para el nivel 3 de mejora:  
Incremento de espesor de paredes de gabinete a 3 pulg.
  
- Para el nivel 4 de mejora:  
Cambio de material aislante en las paredes del gabinete de espuma de poliuretano a paneles evacuados con una resistividad de  $R = 18.18$  ( $k = 0.055$ )

A continuación se desarrolla un ejemplo para determinar los incrementos en eficiencia y en costo:

*Análisis para la determinación de incremento en eficiencia y costo de un refrigerador de 9.6 pies' basándonos en los resultados del modelo de LBL y resumidos en la figura 4.2.2.*

**Incremento en eficiencia:**

Para sacar su volumen ajustado tenemos los datos en la tabla 1:

$$V_{cc} = 0.93 \text{ pies}^3$$

$$V_{cd} = 8.62 \text{ pies}^3$$

$$CE = 618 \text{ kWh/año}$$

Por ser refrigerador convencional de una sola puerta:

$$VA = V_{cd} + V_{cc} \quad (1.44)$$

$$VA = 8.62 + 0.93 \quad (1.44)$$

$$VA = 9.9592 \text{ pies}^3$$

De la figura 4.2.2 sacamos el consumo de energía para el nivel 1:

$$CE = 105 + 25.2 (VA) \quad 618 \rightarrow 100$$

$$CE = 105 + 25.2 (9.9592) \quad 355.9 \rightarrow x$$

$$CE = 355.9 \text{ kWh/año} \quad x = 42\%$$

Para el nivel 2:

$$CE = 104 + 23.9 \text{ (VA)} \quad 618 \rightarrow 100$$

$$CE = 104 + 23.9 \text{ (9.9592)} \quad 342 \rightarrow x$$

$$CE = 342 \text{ kWh/año} \quad x = 45\%$$

Para el nivel 3:

$$CE = 98 + 19.9 \text{ (VA)} \quad 618 \rightarrow 100$$

$$CE = 98 + 19.9 \text{ (9.9592)} \quad 296 \rightarrow x$$

$$CE = 296 \text{ kWh/año} \quad x = 52\%$$

Para el nivel 4:

$$CE = 70 + 14.7 \text{ (VA)} \quad 618 \rightarrow 100$$

$$CE = 70 + 14.7 \text{ (9.9592)} \quad 216 \rightarrow x$$

$$CE = 216 \text{ kWh/año} \quad x = 64\%$$

**Incremento en costo:**

Los datos para incrementos en costo se tomaron en forma de porcentaje del mismo estudio por no tener datos de costos de

fabricación para equipos nacionales, (excepto el dato para cambio de compresores).

La fabricación nacional no esta a la altura de la línea base del estudio del LBL, por lo que para poder hacer el estudio de incremento en costo debemos tomar en cuenta los siguientes datos que se encuentran en la tabla 4.1.2. para el modelo de 9.6 pies<sup>4</sup>.

Espesor de puerta: 1.25 pulg.

Espesor de lat de gab.: 1.5 pulg.

EER del compresor: 2.73

Del estudio LBL:

Precio del refrigerador: 154 USD.

Para alcanzar el nivel 1:

Pared de puerta de 1.25 a 1.5 pulg: falta 0.25 pulg.

Si cuesta 3.7 USD aumentar 0.5 pulg. el espesor de la puerta entonces:

$$0.5 \rightarrow 3.7 \text{ USD} \quad 154 \rightarrow 100$$

$$0.25 \rightarrow x \quad 1.85 \rightarrow y$$

$$x = 1.85 \text{ USD.} \quad y = 1.24$$

Paredes de gabinete de 1.5 a 2 pulg: falta 0.5 pulg.

Si cuesta 8 USD aumentar 0.5 pulg. el espesor de las paredes del gabinete entonces:

0.5 → 8 USD	154 → 100
	8 → y
x = 8 USD.	y = 5.19%

Compresor de EER = 2.71 a EER = 4

Para el compresor, datos de un fabricante nacional indican que cuesta 6 USD incrementar en un 20% la eficiencia del compresor:

% eficiencia nec.	costo de efic.	para un ref de fab. nacional el % incremento en costo sería:
4 → 100	6 → 20	1,230,100 → 100
2.73 → x	y → 31.75	29,051 → z
x = 31.75%	y = 9.525 USD	z = 2.36%
	y = \$29,051	

Entonces el incremento en costo para llegar al nivel 1 sería:

1.2%

5.19%

2.36%

8.75%

Para alcanzar el nivel 2:

un incremento en costo de 3.7 USD entonces:

154 → 100

3.7 → x

x = 2.4%

Para alcanzar el nivel 3:

un incremento en costo de 11.9 USD entonces:

154 → 100

11.9 → x

x = 7.72%

Para alcanzar el nivel 4:

un incremento en costo de 42.4 USD entonces:

$$154 \rightarrow 100$$

$$42.4 \rightarrow x$$

$$x = 27.53\%$$

En la tabla 4.2.3 se ilustra todos estos cálculos y en general se puede decir que el aumento de eficiencia es mayor al aumento de costo, lo que resulta deseable tanto para el usuario como para el fabricante.

TABLA 4.2.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE MEJORA DE EFICIENCIA EN UN REFRIGERADOR CONVENCIONAL DE 9.6 PIES<sup>3</sup>

NIVEL	CONSUMO ENERGIA	% INCREMENTO	
		EFICIENCIA	COSTO
LINEA BASE	618	0	0
1	355.9	42	8.75
1+2	342	45	11.15
2+3	296	52	18.87
2+4	216	64	38.68

# ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

El proceso de fabricación del refrigerador es el siguiente:

(Ver diagrama esquemático del proceso de fabricación: Figura 4.2.4)

## *Línea de armado y preparado de gabinete y puerta.*

La lámina para hacer el gabinete se pone en el tren de formado del gabinete el cual pasa, posteriormente, al equipo de fosfatizado.

La puerta y otros componentes metálicos se fabrican en una sección de prensas troqueladoras pasando posteriormente a soldadura, pulido y finalmente entran al equipo de fosfatizado.

Este es un proceso de 5 pasos que son: desengrasado, enjuague, fosfatizado, enjuague y sellado.

Pasando enseguida al horno de secado y de ahí al equipo de pintura el cual consta de una cabina para "primer" y otra para acabado, terminando en un horno para el cocido de pintura.

## *Línea de termoformado:*

La materia prima en esta etapa, son placas de poliestireno, las cuales se pasan a un horno precalentador integrado a la termoformadora en la que se inyecta aire a presión y bajo vacío entre a una matriz que da forma al forro (liner), posteriormente unas cuchillas hacen el perfilado del mismo.

Al terminar este se les quita la rebaba y se pasa a la zona de espumado en la que el liner es sujetado al gabinete pasando a las estaciones de llenado donde existen moldes en los cuales se monta la pieza, se precalienta y bajo vacío se inyectan simultáneamente el isocianato y un agente espumante lo cual genera el material aislante que también sirve como estructural. Un proceso similar se hace con la puerta aún cuando en este caso no se ensambla el forro sino hasta después que ha sido puesto el material aislante.

#### *Línea de ensamble:*

En un paso anterior se hace el subensamble de la unidad refrigerante constituida por el evaporador, el condensador y el compresor que se integran y se soldan a mano, pasando a ensamblarse con el gabinete, ensamblando también la puerta, controles y otros accesorios. Se pasa a la estación de llenado del refrigerante y se verifica que no existan fugas de este.

Se hacen una serie de pruebas para determinar si la unidad alcanza valores de temperaturas requeridos por la norma oficial mexicana NOM-J-411, en el compartimiento del congelador y el de comida fresca.

Finalmente se colocan todos las charolas e instructivos para su posterior empaque y embarque.



FIGURA 4.2.4 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE UN REFRIGERADOR DOMÉSTICO.

Los cambios que se harían al proceso de fabricación por las mejoras antes mencionadas serían:

El cambio de compresor no representa, en el proceso de manufactura, ningún cambio, para el aumento de espesores de puerta y gabinete representaría cambio en la línea de armado y preparado de puerta y gabinete en el tren de formado donde la lámina tendría que ser más ancha a la entrada, para no sacrificar el volumen interno.

Para el último nivel de mejora si representa un cambio radical en el método de fabricación del gabinete, liner y puerta pues implica cambiar materiales, herramientas, procesos de fabricación de los mismos y del ensamble final.

El incremento en costo determinado anteriormente podrá variar para el fabricante nacional principalmente en el último nivel de mejora ya que las tecnologías requeridas están disponibles o en estudio avanzado en E.U. y otros países desarrollados, por lo que para llegar a México requeriría un sobrecosto al producto, todavía no determinado.

Después de considerar todas las tecnologías factibles es conveniente aclarar que estas mejoras evaluadas están apoyadas en el método de prueba ANSI/AHAM HRF-1-88, utilizado por DOE para hacer sus estudios y establecer estos consumos de energía.

#### 4.3 Criterios y referencias normativas.

Los refrigeradores consumen mucho más energía que ningún otro aparato electrodoméstico, (excepto calentadores de agua y equipos de aire acondicionado) su eficiencia energética es de particular importancia. En un intento para predecir cuanta energía usarán los actuales refrigeradores domésticos, se han desarrollado métodos de pruebas normalizados.

Existen métodos de prueba para determinar el funcionamiento y el consumo energético de los refrigeradores, en el análisis de estos se han encontrado diferencias importantes en cuanto a los resultados obtenidos por unos y otros, y esto hace más difícil predecir el consumo energético de los refrigeradores, por lo que no se puede determinar aún, cual de estos es el más exacto para predecir el uso real actual de energía.

Por lo anterior existen problemas al comparar las eficiencias de los refrigeradores entre los diferentes países que los producen.

Las normas mexicanas que determinan el funcionamiento y el consumo energético de los refrigeradores domésticos son:

- NOM-J-411-1981 "Aparatos electrodomésticos para la conservación de alimentos a bajas temperaturas"

- NOM-J-503/2-1991 "Requisitos y métodos de prueba para refrigeradores domésticos".

En E.U. la regulación de uso de energía para refrigeradores domésticos se basa totalmente en el método de prueba descrito en la siguiente norma:

- ANSI/AHAM HRF-1-1988 "Household refrigerators /household freezers"

Aunque esta norma no es obligatoria, el DOE la ha tomado como referencia para los métodos de prueba para la determinación de consumos, para poder evaluar los consumos máximos permisibles en E.U. (ver Tabla 4.1.1.)

La determinación de los consumos de energía, en Japón se basa en la siguiente norma.

- JIS C 9607-86 "Household electric refrigerators, refrigerator-freezers and freezers"

Estas normas toman diferentes criterios de uso, funcionamiento, etc, respecto al refrigerador por lo que sus resultados de pruebas difieren considerablemente.

**Clasificación:**

Las diferentes clasificaciones de refrigeradores con o sin congelador, sirven para saber cuales de estos presentan características semejantes y así identificar, por normas, los distintos protocolos que se siguen a refrigeradores de un mismo tipo (Tabla 4.3.1).

Algunas normas establecen condiciones de funcionamiento diferentes en las pruebas para cada tipo de aparatos por lo que es importante tener claro como se les tiene clasificado para realizarle la prueba que le corresponderá e interpretar correctamente sus resultados.

En las diferentes normalizaciones los aspectos preponderantes en la clasificación son:

1. La temperatura ideal a que se debe(n) encontrar el(los) compartimiento(s).
2. El tipo de compartimiento (refrigerador o congelador) y la existencia de estos en el aparato (uno o ambos).
3. La situación, si hay, del compartimiento congelador (independiente o incorporado) con respecto al compartimiento refrigerador.

**TABLA 4.3.1. CLASIFICACION**

TIPO	N O R M A S		
	ANSI	JIS	NOM
REFRIGERADOR (R)	R solo	R	R solo
REFRIGERADOR CON CONGELADOR	R básico: clase I clase II	R/C * R/C **	R convencional
REFRIGERADOR/CONGELADOR	R/C	R/C *** R/C ****	R/C

*Cuarto de pruebas:*

Es requisito para realizar las pruebas de desempeño (Tabla 4.3.4), y determinación del consumo de energía (Tabla 4.3.5) contar con un cuarto de pruebas en el que se controlen las variables que afectan el desempeño del aparato.

Las variables presentadas en la Tabla 4.3.2 son las variables a controlar en estas 3 normas.

Las normas americana (ANSI) y mexicana (NOM) no tienen previsto el control de la humedad, un error si se considera que es un factor que afecta el desempeño de los aparatos, así lo han demostrado estudios realizados y publicados en E.U.<sup>(4)</sup>

<sup>(4)</sup> CONSUMER REPORTS, nov 1989, pp. 731 y 736.

La normas ANSI y NOM no describen el mueble protector del aparato ni la plataforma sobre la que hay que montar en caso de ser necesario, situación prevista en la otra norma.

La norma japonesa (JIS) no explica bajo que criterio se hace necesario proteger al aparato de radiaciones externas de calor.

La presentación más clara y completa del cuarto de pruebas es la que realiza la norma JIS, es igualmente clara pero no cubre todas las variables la norma ANSI, la que se encontró más general e incompleta es NOM, por lo que se puede interpretar de una forma muy amplia los resultados obtenidos.

TABLA 4.3.2. CUARTO DE PRUEBAS

CUARTO DE PRUEBAS	N O R M A		
	ANSI/AHAM HRF-1-1988	NOM J-411-1981	JIS C 9607-86
TEMPERATURA (T)	Según prueba $\pm 0.1^{\circ}\text{F}$ ( $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ )	Según prueba: $\pm 2^{\circ}\text{C}$	Según prueba: $\pm 1^{\circ}\text{C}$
GRADIENTE DE TEMPERATURA	Menor a $0.5^{\circ}\text{F}/\text{pie}$ ( $0.9^{\circ}\text{C}/\text{m}$ )	Menor a $2^{\circ}\text{C}/\text{m}$	Menor a $3^{\circ}\text{C}$ entre extremos de altura
FUENTES EXTERNAS DE CALOR	Proteger si: $T_x \geq T_{amb} + 10^{\circ}\text{F}$ ( $5.6^{\circ}\text{C}$ )	Proteger si: $T_x > T_{amb} + 5^{\circ}\text{C}$	En caso de ser necesaria
HUMEDAD RELATIVA	Reportarla	Nada especifica	$45 \leq \text{HR} \leq 85\%$
VELOCIDAD DEL AIRE	Proteger si: $v > 50^{\text{m}}/\text{min}$ ( $0.254\text{m}/\text{s}$ )	Evitar: $v > 0.25\text{m}/\text{s}$	Proteger para evitar
PLATAFORMA	Utilizar si: $T_{plata} > T_{amb} + 1.7^{\circ}\text{C}$	Utilizar si: $T_{plata} > \text{gradiente}$ T	Utilizar si: $T_{plata} > \text{gradiente T}$

### **Instrumentación:**

Se puede observar en la Tabla 4.3.3 los instrumentos con que se deberán de realizar la medición de variables a controlar, tanto para el cuarto de pruebas como para el aparato.

En algunos casos las normas indican:

- **Resol:** es la resolución mínima requerida al instrumento de medición.
- **Lect:** indica la exactitud en la(s) lectura(s) exigida por la norma.

En el caso de la norma ANSI la resolución se indica como ANL (analógico) y como DGT (digital), dependiendo de cual de estos dos tipos de lecturas utilice el instrumento.

LA norma ANSI tiene prevista la cobertura de todos los puntos muy claramente; la selección de instrumentos realizada por las otras normas queda más abierta porque no se especifican la resolución ni la exactitud requerida de las lecturas en las pruebas a que se somete al aparato.

La norma JIS se respalda en otras fuentes, que no se localizaron, para definir algunos de los instrumentos que es necesario utilizar.

TABLA 4.3.3. INSTRUMENTACION.

INSTUMENTO	N O R M A		
	ANSI/AHAM HRF-1-1988	NOM J-411-1987	JIS C 9607-86
TEMPERATURA (1)Term.de vidrio (2)Termopar (3)Termistor o term.resist.el ec.	(1) Solo ambiental (2) (3) Cualquier caso DGT: $\pm 0.1^{\circ}\text{F}(0.1^{\circ}\text{C})$ Lect: $\pm$ $1^{\circ}\text{F}(0.6^{\circ}\text{C})$ CT $\leq$ 20g de agua	(1) Solo ambiental (2) (3) Cualquier caso Lect: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ CT < 20g	(2) y (3) Unicamente CT < 20gr de agua <sup>(1),(2)</sup>
VOLTIMETRO	ANL: 1V DGT: 0.1V Lect: $\pm 0.5\%$	Resol: 1V	Exactitud de grado 0.5 (JIS C 1102)
WATTHORIMETRO	ANL: 0.01 kWh DGT: 0.001 kWh Lect: $\pm 0.5\%$	Wattmetro Resol: 5W	Especificado en: (JIS C 1211) Resol: 0.01 kWh Lect: $\pm 2.5\%$
AMPERIMETRO	$\pm 0.05\%$ cuando indica 0.5 mA con 1500 R y 0.15 mfd capacitancia	No Especifica	Exactitud de grado 0.5 (JIS C 1102)
TIEMPO	Reloj sincrónico con arranque automático	Reloj sincrónico con arranque automático	No Especifica
PESO	El instr. que incluya 0.01lb (4.54)	No Especifica	No Especifica
HUMEDAD RELATIVA	lect: $\pm 0.5^{\circ}\text{F}$ ( $0.3^{\circ}\text{C}$ ) o $\pm 2\%$ HR	No Especifica	No Especifica

CT = Capacidad Térmica (de una masa metálica)

**Prueba de desempeño:**

En la siguiente tabla (4.3.4.) se presenta esta prueba ya que en ella se incluye, como parte del reporte, el consumo de energía eléctrica del aparato durante el período de tiempo de la prueba.

En la norma mexicana (NOM), en la determinación del consumo de energía eléctrica, establece un método único, como se observa en la Tabla 4.3.5

La norma JIS no tiene incluida esta prueba.

La norma NOM es la que sigue un procedimiento más ambiguo y el reporte de resultados más pobre.

La norma ANSI es la que ofrece el reporte de resultados con una cobertura mayor al de todos los demás protocolos e incluye una amplia gama de desempeños a diferentes temperaturas ambiente, cada una con diferente disposición de los controles internos del aparato.

Es común el empleo de carga en los congeladores; esta carga consiste en paquetes especiales, en algunos se incluyen termopares para registrar la temperatura del congelador.

Existen dos clasificaciones de paquetes especiales, el descrito en ANSI que es de un tamaño únicamente y el que se maneja internacionalmente que maneja tres tamaños diferentes. Varía también el contenido de los mismos.

En lo referente a la norma mexicana (NOM) no tiene previsto el uso de paquetes (carga) para la prueba de desempeño.

TABLA 4.3.4. PRUEBA DE DESEMPEÑO

REQUISITOS	N O R M A		
	ANSI "Interpolación"	ANSI "Controles en función especifica"	NOM J-411-1981
TEMPERATURA AMBIENTE ( $T_{amb}$ )	55, 70, 90 y 110 °F (12.8, 21.1, 32.2, 43.3 °C)		43°C
TEMPERATURA CONGELADOR ( $T_c$ )	5°F (-15°C)	5°F (-15°C) R/C de control sencillo o múltiple $\pm 1^\circ\text{F}$	- $T_c \leq -12^\circ\text{C}$ para cong. incorporado - $T_c \leq -16^\circ\text{C}$ para cong. indep.
TEMPERATURA REFRIGERADOR ( $T_r$ )	34, 36, 38, 41 °F (1.1, 2.2, 3.3, 5 °C) Con control único cumplir con $T_c$ , o con control múltiple $\pm 1^\circ\text{F}$		$T_r \leq 7^\circ\text{C}$
EQUILIBRIO TERMICO	$T_r$ y $T_c \pm 0.042^\circ\text{F}$ ( $0.023^\circ\text{C}$ ) por h, lect. cada 4 min y se debe cumplir a) o b) a) $T_{prom}$ por 2h y compararlo con otro período igual 3h después. b) Por 2h previas a un ciclo de deshielo, comparar con el tiempo previo a otro ciclo de deshielo.		Uso continuo (sin ciclos) $T_r$ y/o $T_c \pm$ $1^\circ\text{C}$ en 5 lect. cada 30 min.
SUMINISTRO DE ENERGIA	115 $\pm$ 1v, 60Hz		127v, 60Hz

CONTINUA...

TABLA 4.3.4. (CONTINUACION)

CONTROLES DEL APARATO	Control sencillo: C,F,I Control múltiple: C-C, C-F, F-F, F-C, C-I,F-I. (C=caliente; F=frío; I=intermedio)	Colocarlo para alcanzar las T requeridas para 70 o 90°F y repetir sin cambiar controles para la otra T <sub>amb</sub>	No Especifica
PROCEDIMIENTO	Prueba para cada T <sub>amb</sub> : Por cada T <sub>amb</sub> cada posición de controles. Tiempo de prueba: 2 ciclos o 3h si no hay ciclos	Tiempo de prueba:2h. Hacer 5 pruebas a 55, 70, 90 y 110°F con carga simulada; y 70 o 90°F resp. controles	Tomar 5 lecturas de Temperaturas cada 30 min.
REPORTE	Datos fabricante; T <sub>amb</sub> , V y Hz; T promedio de cada compartimiento; T paq. especial + caliente; energía consumida en 24h; (%) tiempo operación compresor; No. de ciclos en 24h. Para resp. controles tabular; Tmax vs. Tmin del comp. refrigerador	Lect. final de cada termopar; T, y T, promedio	

**Método para la determinación del consumo de energía:**

La Tabla 4.3 5 indica las temperaturas ambiente, del congelador y refrigerador requeridas para llevar a cabo la prueba.

Así mismo incluye el voltaje y corriente a suministrar, la colocación de los controles del aparato, un resumen del procedimiento de la prueba y el reporte o resultado que arroja el protocolo.

ANSI es la que ofrece las condiciones de prueba que mejor cobertura tiene de los aparatos, porque dependiendo de las características de funcionamiento (tipo de deshielo y control anticondensación) es que se miden los consumos de energía. Es también la que presenta el protocolo más claro.

El método establecido por el Departamento de Energía de los E.U. (DOE) para determinar el consumo de energía, es el seguido por la norma ANSI, con la salvedad de que incluye pruebas a aparatos con control de deshielo variable y a aparatos con doble sistema de compresor, cada uno con control de deshielo automático; existe, además, una prueba optativa para aparatos con control variable de deshielo.

Los japoneses tratan de hacer sus pruebas más reales basados en el uso típico del refrigerador, aunque esto no es necesariamente más exacto.

El método de prueba japonés, requiere medir dos temperaturas ambiente para simular las condiciones de verano e invierno, las condiciones son las siguientes: 73% de las veces a 15°F, la humedad relativa es mantenida a 75%. Durante las primeras 10 horas de prueba, la puerta del compartimiento de comida fresca es abierta 50 veces y la puerta del congelador 15 veces, cada una con una duración de 10 seg, y es mantenida totalmente abierta por 5 seg., el compartimiento de comida fresca es mantenido a 3°C (37°F) y el compartimiento congelador a -4°C (-18°F).

La norma NOM-J-503/2 es la que menos parámetros establece para la determinación del consumo de energía y no se especifican los instrumentos necesarios para realizar las mediciones.

TABLA 4.3.5. METODO PARA LA DETERMINACION DEL CONSUMO DE ENERGIA

REQUISITOS	NORMA		
	ANSI/AHAM HRF-1-1988	NOM J-503/2-1991	JIS C 9607-86
TEMPERATURA AMBIENTE (T <sub>amb</sub> )	90 ± 1°F (32.2°C)	32°C	15°C y 30°C
TEMPERATURA CONG. (T <sub>c</sub> )	R básico: T <sub>c</sub> = 15°F (-9.4°C) R/C: T <sub>c</sub> = 5°F (-15°C) Sin carga de paquetes	No especifica	T <sub>c</sub> * = -6°C T <sub>c</sub> ** = -12°C ± 0.5°C T <sub>c</sub> *** = -18°C Con carga
TEMPERATURA REFRIGERADOR (T <sub>r</sub> )	R solo: T <sub>r</sub> = 38°F (3.3°C) R básico y R/C: T <sub>r</sub> = 45°F (7.22°C)	T <sub>r</sub> = 3.5 ± 0.5°C	T <sub>r</sub> = 3 ± 0.5°C
EQUILIBRIO TERMICO	Descrito en la prueba de desempeño	T <sub>c</sub> estabilizada y haciendo ciclos normales	La T <sub>cc</sub> requerida ± 1°C en 2h o T <sub>c</sub> media ± 1°C en 24h
SUMINISTRO DE ENERGIA	115 ± 1v, 60Hz	127 ± 1v	El requerido y V <sub>1</sub> ± 2% Frec: ± 1%
CONTROLES DEL APARATO	Seleccionados en más frío, caliente y media tratando de cumplir con T <sub>c</sub> ; si no es posible esto se hacen 2 pruebas	En la posición que alcance la T <sub>c</sub> requerida	En la posición en que alcance las Tem. req. o el prom. entre T <sub>c</sub> y T <sub>r</sub> ; si T <sub>c</sub> *** mayor a -18°C, lo más cerca posible
PROCEDIMIENTO	Tiempo de prueba: 3 ó 4h ó periodo de deshielo; registrar tem. cada 4 min y consumo de energía; la T del comp. será el prom. de 1 ó varios ciclos	Al arrancar un ciclo inicia el tiempo de prueba por 3 ó 4h con sist. deshielo automático	Tiempo de prueba: 24h Abrir y cerrar las puertas como indica el apéndice 3, en la tabla 3, de la norma referida
REPORTE	Datos del producto y fabricante; T <sub>cc</sub> ; V y Frec; consumo en kWh/día total por ciclo	Consumo de energía; costo del consumo anual	Consumo de energía anual; promedio anual de consumo por mes

Aunque todas las normas, al realizar los protocolos de pruebas prevén el control de las mismas variables, varía considerablemente la manera en que esto se hace.

Se ve que la norma mexicana es la que presenta el protocolo de pruebas más confuso, que se puede presentar a interpretación o iniciativa personal.

La norma americana es la que cubre mejor todos los aspectos que involucran los protocolos de prueba, (instrumentación, cuarto de pruebas, procedimientos, preparación del aparato y reporte). Además presenta en la prueba de desempeño el reporte con rango de funcionamiento más amplio.

En la Tabla 4.3.6 se hace una comparación de las normas mexicana y americana.

**TABLA 4.3.6. Diferencias principales entre NOM y ANSI**

ANSI	NOM
La prueba depende del tipo de aparato, control T, y T <sub>c</sub> .	Prueba única, solo controla T.
Establece 3 posiciones del control de temp. y combinaciones de estas para cumplir con las condiciones dadas, pruebas con control antisudado en "on" y "off". Se hacen por lo menos 4 pruebas.	Solo una condición, alcanzar la T requerida, con la posición de controles necesaria, control antisudado en "on" únicamente.
Estabilidad del aparato bajo condiciones muy estrictas	Estabilidad térmica con un método muy ambiguo.
Lectura de temp. por lo menos cada 4 min.	No establece intervalo de lect.

La norma vigente en México presenta un procedimiento de prueba que en términos generales presenta muchos puntos oscuros, libres a la interpretación personal de la norma; algunos de los más importantes son:

La temperatura de referencia (3.5°C) controla únicamente el funcionamiento del compartimiento de alimentos, dejando libre de control la temperatura del compartimiento congelador, punto particularmente importante en los refrigeradores/congeladores.

Se permite utilizar un rango de tolerancia alrededor de la temperatura de referencia, por lo que el consumo de energía resultante se afectará también con un intervalo de tolerancia aún no determinado.

De acuerdo al análisis anterior se ve que la norma mexicana esta en desventaja con la normas a nivel internacional.

El IIE determino que una propuesta de modificación a la norma NOM-J-503/2 debe buscar:

- Aclarar a que tipos de aparatos aplica la norma, las condiciones que debe reunir el lugar de la prueba y la instrumentación que se requiere.

- Establecer las condiciones de carga y funcionamiento del aparato antes y durante la prueba
- Aplicar un procedimiento de prueba cuyos resultados sean comparables con los resultados de otros métodos de prueba.

(Después de estudiar los principales métodos de prueba vigentes en el mundo se determinó en orientar el procedimiento de prueba de la norma mexicana a la metodología que se sigue en Estados Unidos (la misma que se sigue en Canadá y Brasil) es lo más recomendable, en virtud de la cada vez más estrechas relaciones comerciales que se tiene con estos países, que también son importantes productores de refrigeradores.)

- Asegurar que el método de prueba seguido para determinar el consumo de energía es compatible con los potenciales de ahorro estudiados y propuestos.

Dado que las relaciones comerciales de nuestro país en la actualidad y en un futuro próximo son y serán mayoritariamente con Estados Unidos y Canadá y las normas de dichos países guardan el mismo procedimiento de prueba, al que se acerca también la norma de Brasil, se ve que las normas de estos países (ANSI/AHAM HRF-1-1988 y CAN/CSA-C300-M89) son las más convenientes para considerarlas como la base de armonización en México.

## **ANALISIS, DIAGNOSTICO Y PROPUESTA.**

La norma nacional actual (NOM-J-503/2) es superficialmente parecida a las normas internacionales que toman como referencia el método de prueba descrito por ISO<sup>(10)</sup> (Francia, Japón, España, Reino Unido, Arabia Saudita e India) pero aún así los consumos de energía que estas normas reportan son difícilmente comparables directamente ya que cada país adapta las condiciones de prueba, y a veces también la metodología de la prueba, a sus necesidades particulares.

La poca afinidad que hay entre la norma mexicana y las normas de los países mencionados arriba y su deficiencia al no asegurar solo un consumo energético, debido a las tolerancias que se manejan, hacen necesario hacer modificaciones y adiciones a la norma mexicana, de forma y de fondo, complementando los faltantes a fin de que el método de prueba establecido para determinar el consumo de energía sea comparable al de E.U., Canadá y Brasil.

Por lo anterior, se desarrollo una propuesta de cambio casi completa de la NOM-J-503/2, que incluye las Tablas de fórmulas para la determinación de valores máximos de consumo permitidos, en función de los volúmenes ajustados de los refrigeradores.

Contendrá dos juegos de valores, con fechas de vigencia diferentes;

---

<sup>(10)</sup> International Organization for standardization (ISO)

los primeros se considera que son alcanzables a corto plazo, con relativa facilidad y los otros son más ambiciosos y suponen avances tecnológicos mayores, por lo que serán alcanzables a largo plazo.

En los E.U. existe un método de prueba claro, normalizado y fácilmente reproducible para los refrigeradores domésticos.

El refrigerador se prueba en un cuarto muy caliente (90 F) con las puertas cerradas y sin carga (sin comida en su interior). Esta prueba es relativamente fácil de aplicar pero se ha cuestionado mucho sobre la aparente sobreestimación de uso de energía que arroja en sus resultados .

Los investigadores de LBL compararon datos de uso de energía de varios cientos de refrigeradores, medido en hogares, con el uso de energía predicho por las pruebas DOE y se encontró que se gasta un 22% menos de lo predicho por DOE.

La exactitud de la prueba DOE puede variar debido a las diferentes zonas climáticas, o simplemente la temperatura interior de la cocina, por ejemplo se encontró que bajando la temperatura de la cocina en un 5% resultará un ahorro de energía de aproximadamente un 30% consecuentemente manteniendo una baja temperatura en la cocina se ahorrará electricidad por concepto de refrigeración.

## CAPITULO 5

## CONCLUSIONES

En el presente estudio se obtuvieron los siguientes resultados:

1.- Las tecnologías de ahorro de energía en refrigeradores domésticos están encaminadas hacia:

a) El incremento en la resistividad térmica del aislamiento, como:

- aumentando el espesor del aislante: En esta alternativa se emplean los mismos materiales utilizados actualmente y lo que se requiere para su aplicación es el cambio del herramental para fabricar gabinetes de mayor tamaño que los actuales.
- el cambio en la formulación de la espuma aislante no está contemplado a corto plazo; y para mediano y largo plazo no se ha definido que tipo de aislante se empleará, porque los sustitutos de los CFC's aún se están evaluando (VER ANEXO B).
- el desarrollo de nuevos materiales: Estos tipos de materiales innovadores todavía presentan algunos problemas técnicos pero su estudio ya se encuentra muy avanzado. Algunas de las características y costos de los posibles materiales son:

AISLAMIENTO	RESISTIVIDAD (PIE <sup>3</sup> -hr/BTU-IN)	VALOR ACTUAL O ESPERADO (1990)	
		S/PIE-TABLA <sup>(1)</sup>	S/PIE <sup>3</sup> RESISTIVIDAD
FIBRA DE VIDRIO	3.5	0.04-0.05	0.01-0.015
ESPUMA CON CFC	7.3	0.20-0.50	0.03-0.07
PANEL C/ARGON	8	0.35-0.50	0.04-0.06
PANEL C/CRIPTON	15	1.00-2.00	0.07-0.13
AEROGEL	20	1.33-2.66	0.07-0.13
PANEL VACIO/POLVOS	20	1.00-4.00	0.05-0.25
VACIO COMPACTO	100	10.00-40.00	10.00-40.00

b) Cambio de compresores.

En esta alternativa para poder alcanzar valores máximos de consumo de energía en refrigeradores se deberá sustituir los compresores actuales por otros de alta eficiencia.

El principal problema que se presenta en los compresores es la sustitución del refrigerante, ya que cualquier otro que no sea el CFC-12 repercute en problemas de baja eficiencia en los compresores. Actualmente están en estudio varios.

El estudio de LBL encontró que para alcanzar sus valores de consumo se deberían tomar las siguientes acciones:

---

<sup>(1)</sup> UN PIE TABLA ES EL VOLUMEN EQUIVALENTE A UN PIE POR UNA PULGADA DE ESPESOR (2.36 dm<sup>3</sup>)

**ACCION****OBSERVACIONES**

---

**Alcanzar DOE 90**

Cambio de compresores de EER's 3.0-4.0 a EER's ~4.5-5.0 Por HFC-134a se pierde 6-8% de eficiencia y es incompatible con algunos materiales y lubricantes.

**Sustitución CFC-12  
y alcanzar DOE 93**

Por mezcla HCFC-22, HFC-152a y HCFC-124 no se pierde eficiencia y es compatible. Se realizan pruebas de toxicidad.

Por HFC-152a se gana 3-7% de eficiencia, pero presenta problemas de flamabilidad.

Existen compresores de capacidades grandes (900-1200 BTU/h) con EER-5.3.

---

Falta aún realizar más investigaciones para definir con que acciones se logra alcanzar el DOE 93 y al mismo tiempo sustituir el refrigerante CFC-12.

Otras alternativas tecnológicas que se encuentran bajo investigación son:

- Sistema de doble compresor      Se aplica a refrigeradores / congeladores y se usa ya en algunos modelos comerciales, la disminución de consumo energético es hasta del 20%.
  
- Compr. de vel. variable      Empleado en algunos refrigeradores japoneses y equipos supereficientes de aire acondicionado. Se calcula que los ahorros que se tendrían serían de entre 20 y 25%.

**c) Mejorar sellos de las puertas.**

Aunque es un elemento en el que se pierde hasta el 27% de la energía que consumen los refrigeradores y se sabe por diferentes fuentes que se realizan esfuerzos por mejorar o cambiar este elemento, no fue posible encontrar datos concretos de estudios para mejorar este elemento.

2.- Las tecnologías anteriores ayudarán en mayor o menor medida a mejorar la eficiencia de los refrigeradores, hay que hacer notar que el consumo de energía del refrigerador doméstico también se debe en gran parte a los hábitos de uso de los consumidores por lo que las siguientes indicaciones son útiles para racionar el consumo eléctrico y así ir creando actitudes de ahorro dentro del núcleo familiar:

- Una buena selección del volumen del refrigerador:

Esto es que de acuerdo a las necesidades y tamaño de la familia se podrá determinar el volumen de refrigerador que se tenga que adquirir, porque se ha demostrado por medio de pruebas en laboratorio<sup>(17)</sup> que para efectos prácticos se puede considerar que el volumen no utilizado requiere de la misma energía que el que tiene carga.

- La temperatura exterior del refrigerador:

La temperatura exterior del refrigerador es un factor importante en su consumo de energía porque entre mayor sea la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior, mayor energía requerirá para establecer su temperatura interior.

---

<sup>(17)</sup> "Medición de consumo de energía de refrigeradores domésticos". Eduardo Campero Littlewood, Luis Sosa

- **La posición del termostato:**

Se debe determinar cual es la posición óptima del termostato porque si se selecciona una más alta el refrigerador tenderá a gastar mayor energía, pero si se escoge una menor, el alimento que se este guardando podrá descomponerse.

- **Apertura de la puerta:**

No se puede conocer con exactitud la influencia de este factor pero es lógico que el intercambio de temperaturas del refrigerador con el exterior será proporcional al tiempo que permanezca abierta la puerta, por lo que requerirá mayor energía para estabilizar la temperatura interior.

- **Limpieza regular del condensador:**

El condensador por estar en la parte posterior del refrigerador, queda expuesto al ambiente que contiene partículas de polvo, estas se acumulan formando una capa aislante, que dificulta la transferencia de calor. Por lo que se debe procurar limpiarlo con regularidad para eficientizar su funcionamiento.

Los consumos de energía en refrigeradores, calculados por ejemplo como, los resultados de la tabla 4.2.3 donde se determinó que de un aumento de eficiencia, no se incrementa drásticamente el costo del producto.

Los impactos que tendrán con la mejora de la eficiencia en los refrigeradores, tanto en el producto como en el consumidor, fabricante y suministrador de energía eléctrica serán los siguientes:

**IMPACTOS DE LA TECNOLOGIA EN EL CONSUMO DE ENERGIA  
EN REFRIGERADORES**

IMPACTO AL PRODUCTO	IMPACTO AL CONSUMIDOR
<p>Se pueden generar opciones de diseño que produzcan refrigeradores eficientes a un costo aceptable.</p> <p>Un incremento de eficiencia del 52% representa un incremento en costo del 18.87% Con tecnologías convencionales.</p>	<p>Dispone de equipos con un costo de operación más bajo y mejores características básicamente sin incremento en el precio<sup>(1)</sup>.</p> <p>De 1972 a 1897 se ha reducido el consumo de energía en E.U. aprox. 48% con un efecto muy bajo en el precio, en algunos casos el efecto en el precio del consumidor es casi nulo.</p>
IMPACTO AL FABRICANTE	IMPACTO AL SUMINISTRADOR
<p>Oportunidad de desarrollar nuevos y mejores productos.</p> <p>Proyección hacia nuevos mercados.</p> <p>Mejorar rentabilidad de sus inversiones.</p>	<p>El uso de diseños más eficientes y de aislamientos mejorados permitirá en E.U. un ahorro potencial de energía de entre 21 y 44%.</p>

<sup>(1)</sup>THE STATE OF DE ART: APPLIANCES, 2.3 THE COST OF EFFICIENCY GAINS TO DATE. COMPETITEK

- 3.- En el caso de los métodos de prueba para determinar consumos de energía de refrigeradores la armonización es muy importante, pues se ha identificado que el manejo diferente de las variables en cada norma resulta en consumos de energía que varían notablemente para un mismo aparato.

Aunque todas las normas al realizar los protocolos prevén el control de las mismas variables, varía considerablemente la manera en que esto se hace.

La norma mexicana presenta protocolos que en algunos casos son confusos, generales o que se prestan a interpretación o iniciativa personal.

La norma ANSI es la que cubre mejor todos los aspectos que involucran los protocolos de prueba (instrumentación, cuarto de pruebas, procedimientos, preparación del aparato y reporte). Además presenta el reporte con rango de desempeño mas amplio.

Se ha encontrado que el protocolo japonés reporta un consumo menor de energía que el reportado por el método ANSI, para un aparato probado por los dos métodos. El mismo estudio demuestra que la energía perdida al abrir y cerrar puertas del refrigerador, es poco significativa, y es esto precisamente en lo que se basa la norma JIS para evaluar el consumo energético.

## BIBLIOGRAFIA

## ARTICULOS

- Donald E. Knoop y Andrew T. Tershak y Michael Thieneman, **An adaptive demand defrost and two-zones control and monitor system for refrigeration products.** Institute Electric and Electronic Engineers, IEEE Transactions on industry applications, vol.24, núm.2, Mar/Apr, 1988, pags. 337-342, sin refs.
- Michael Shepard y Howard Geller, **Appliance Efficiency on the Fast Track.** Electrical Power Research Institute, EPRI Journal, vol.12, núm.2, march 1987, pags. 33-41, 4 refs.
- Bill D'alessandro, **Appliances for cool savings.** Solar Age, vol.8, núm.12, December 1983, pags. 37-39, 6 refs.
- Kasuo Sekigami y Shigerato Tagawa y Masahiro Takebayashi, **Compact Rotary Compressors for Refrigerators and Dehumidifiers.** Hitachi, Hitachi Review, vol.36, núm.3, 1987, pags. 169-176, sin refs.
- Vera Lucia Antunes, CEPEL y Alexandre Novgorodcev, INMETRO y Howard Geller, ACEEE, **Conservação de energia eléctrica em refrigeração.** V Congresso Brasileiro de Energia "desafios nos anos 90", 5 al 9/nov/1990. Brasil. pags. 11, 16 refs.

- Isaac Turiel, LBL y Mark D. Levine, LBL, Energy-efficient refrigeration and the reduction of chlorofluorocarbon use. Annu. Rev. Energy, vol. 14, 1989, pags. 173-204, 40 refs.
- Yoshihiro Hayashi, Direct cooling refrigerator-freezers. Toshiba, Toshiba Review, núm. 106, Nov-Dic 1976, pags. 34-37, sin refs.
- Howard S. Geller, Energy-efficient Residential Appliances: Performance Issues and Policy Options. Institute of Electric and Electronic Engineers, IEEE Technology and Society Magazine, vol. 5, núm. 1, March 1986, pags. 4-10, 28 refs.
- Rafael Friedmann, University of California, Estimación preliminar del potencial de ahorro de electricidad para iluminación y refrigeración en el sector residencial. 2ª Reunión de Ingeniería en Energía y Recursos Energéticos, 13-15/Mar/1991. San Luis Potosí, México. pags. 7, 25 refs.
- Eduardo Campero Littlewood, UAM, Estudio comparativo del consumo de energía de refrigeradores domésticos. Comité Técnico de la Academia Nacional de Ingeniería, XVII Congreso Nacional de la Academia Nacional de Ingeniería, septiembre 1991. Monterrey, Nuevo León, México. pags. 9, 7 refs.

- P. W. Likes, Hussmann Corporation, Impact of CFC regulations on comercial refrigeration equipment manufacturers. Int. J. Refrig., vol. 11, núm. 4, July 1988, pags. 222-223, sin refs.
- Jorgen S. Norgard, Technical University of Denmark, Improved efficiency in domestic electricity use. Energy Policy, vol. 7, núm. 1, 1979, pags. 43-56
- Eduardo Campero Littlewood, UAM y Luis Sosa González, UAM , Medición del consumo de energía en refrigeradores domésticos. Universidad Autónoma Metropolitana, Depto. de Energía, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Unidad Azcapotzalco, pags. 353-357, 5 refs.
- Kouji Kawashima, Osaka y Isamu Matsukoa, Osaka y Ryuichi Masuya, Osaka, Microcomputer controlled Freezer-Refrigerator. Toshiba, Toshiba Review, núm. 120, sep-oct 1980, pags. 36-40, sin refs.
- Eduardo Campero Littlewood, UAM y Angelica Careaga, UAM. y Jorge Ortiz, UAM, Posibilidades de ahorro de energía en el uso de refrigeradores domésticos. II Revisión Nacional de Ingeniería en Energía y Recursos Energéticos, 13-15/Mar/1991. San Luis Potosí, México . pags. 5, 3 refs.

- Katsuaki Kikuchi, Hitachi y Kenji Tojo, Hitachi, Recent Technological Trends and Line-up of Hitachi Compressors. Hitachi, Hitachi Review, vol. 36, núm. 3, 1987, pags. 103-108, 2 refs.
- Robert A. Hoskins y Eric Hirst y W. S. Johnson, Residential refrigerators: Energy conservation and economics. Energy, vol. 3, núm. 1, 1978, pags. 43-49, 5 refs.
- E. A. Vineyard, Oak Ridge National Laboratory, Review from ASHRAE Symposium, Nashville, June 1987 Energy testing of refrigerators and freezers. Rev. Int. froid, vol. 11, Septiembre 1988, pags. 305-307, sin refs.
- M. K. Addy, Electronic energy saving in refrigeration equipment. Rev. Int. froid, vol. 10, Mayo 1987, pags. 175-177, sin refs.
- Hidehiko Takahashi, Hitachi y Kenjiro Matsuda, Hitachi y Masao Hosoba, Hitachi, Trends in Hitachi Air Conditioning and refrigerating equipment. Hitachi, Hitachi review, vol. 30, núm. 1, 1981, pags. 1-5, sin refs.

- John W. Grimes y William Mulroy, ASHRAE, *Effect of usage conditions on household refrigerator-freezer and freezer energy consumption*. ASHRAE, ASHRAE Trans., vol. 83, núm. 1, 1977, pags. 818-828, 2 refs.
- John E. Sterling, General electric Company, *Energy factor: A measure of the efficiency of a household refrigerator*. ASHRAE, ASHRAE Trans., vol. 83, núm. 1, 1977, pags. 829-836, sin refs.
- *Fundamentals Handbook*. ASHRAE , E.U.: 1989, (ME90-069), Capítulos 1,13,22,23,25,28,29. 51 refs.
- *Equipment Handbook*. ASHRAE, E.U.. 1988 Capítulo 12 Compressors, 18 ref.
- *How to choose a top-freezer refrigerator*. Consumer Reports, November 1989, pags. 729-737, sin refs.
- *Energy consevation standards for consumer products: refrigerators and furnaces*. Department of Energy, Technical support document:, E.U.: DOE, 1989, (DOE/CE-0277), , 28 refs.
- J. S. Norgard, University of Denmark y C. R. Lloyd, University of the South Pacific, *Household refrigeration efficiency*. Australian Refrigeration, Air Conditioning and Heating, vol. 39, núm. 2, December 1985, pags. 34-36, 8 refs.

- Alan K. Meier, LBL y Jack Whittier, New Mexico State University, Consumer discount rates implied by purchases of energy-efficient refrigerators. Energy, vol. 8, núm. 12, 1983, pags. 957-962, 6 refs.
- Trends in the energy efficiency of residential electric appliances. Science Applications International Corporation, La Jolla, California. E.U.: EPRI, April 1986, (P87-0187), pags. 50, 27 refs.
- Refrigerators. Consumer Reports, vol. 50, núm. 7, 1985, pags. 432-437, sin refs.
- Gustav Lorentzen, Techn. NTH, Refrigeration and energy economy Conferencia AIRAH "Tech'85", 1985. Melbure, Australia. pags. 7, 9 refs.
- H. Alan Fine, University of California, Advanced Evacuated Thermal Insulations: The State of the Art. Journal of Thermal Insulation, vol. 12, January 1989, pags. 183-209, 48 refs.
- DOE, Environmental assessment for proposed energy conservation standards for two types of consumer products; refrigerators, refrigerators-freezers, and freezers; small gas furnaces; and a proposed ". DOE, (DOE/EA-0372), pags. 27, 8 refs.

- **Design Option for Energy Efficiency Improvement of Residential Appliances.** Isaac Turiel, LBL, E.U.: U.S. Department of Energy, october 1986, (LBL-22372 UC-95d), pags. 70, sin refs.
  
- **Memoria ANFAD 89' Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Electrodomésticos, México: 1989, pags. 12, sin refs.**
  
- **Memoria ANFAD 40 Aniversario 1951-1991. Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos electrodomésticos, México: 1991, pags. 12, sin refs.**
  
- **COMPETITEK (volumen 3) The state of the art: Appliances.** Michael Shepard; Amory B. Lovins; Joel Neymark, E.U.: Rocky Mountain Institute, August 1990, pags. 463
  
- **El sector eléctrico residencial mexicano: Principales usos finales y potenciales de ahorro.** Rafael Friedmann, Energy and Resources Group, pags 12, 34 refs.
  
- **Programa de ahorro de energía en refrigeradores., Organización MABE (tecnología y desarrollo), pags 8, sin refs.**
  
- **La voz del consumidor., volumen IX. num. 1 enero/marzo 1991. Organización internacional de Uniones de Consumidores., Pags 12, 31 refs.**

- Consumer guide to home energy savings. Chapter 6 Food storage., E.U. 1991, pags 165-178, sin refs.
- Comisión Federal de Electricidad, 1991. Informe de labores 1989-1990.
- III Curso sobre planeación energética, vol VII Planes energéticos, Acciones, resultados y perspectivas en su ambito externo Jul-Agos 1985.
- José Goldemberg Center for energy and environmental studies. Princenton N.Y., Energy for sustaniable world, 1985.

#### NORMAS

- Aparatos electrodomésticos para la conservación de alimentos a bajas temperaturas. Dirección general de normas (SECOFI) , México: 1981, (NOM-J-411-1981), pags. 32, 2 refs.
- Requisitos de seguridad en aparatos electrodomésticos y similares. Dirección general de normas, México : 1987, (NOM-J-152-1987), pags. 230, 6 refs.
- Household Refrigerators/ Household Freezers. American National Standards Institute, E.U.: 1988, (ANSI/AHAM HRF-1-1988), pags. 94, 1 refs.

- **Standard for safety household refrigerators and freezers.**  
Underwriters Laboratories (UL), June 11 1987, (UL-250).
- **Household electric refrigerators, refrigerator-freezers and freezers.** Japanese Industrial Standard, Japan: 1986, (JIS C 9607), pags. 60, 11 refs.
- **Household refrigerators - Methods of test for the information.** International Organization for Standardization, Suiza: 1973, (ISO 2410-1973 (E)), pags. 4, 3 refs.
- **Code of Federal Regulations (10 CFR CH.11 -1/1/91) parts 400 to 499.** DOE, E.U.: 1991, sin refs.
- **DOE, Energy conservation program for consumer products.** (Incluye corrección de las actas de conservación nacional de energía ). DOE, Energy (chapter II, subchapter D), (DOE/CE-0220 UC-95d), pags. 21, sin refs.
- **DOE, Energy conservation program for consumer products: Energy conservation standards for two types of consumer products; Final rule and determinations and analyses of competitive impacts.** DOE, Federal Register (Part III, 10 CFR, part 430), vol. 54, núm. 221, Nov/17/1989, pags. 17-45, sin refs.

- **Norma Oficial Mexicana: Ahorro de energía. Parte 1 etiquetado.** Dirección general de Normas, México, 1991, (NOM-J-503/1-1991), , sin refs.
  
- **Ahorro de energía Parte 2: Requisitos y métodos de prueba para refrigeradores domésticos.** Dirección general de Normas, Norma Oficial Mexicana, México: 1991, (NOM-J-503/2-1991), , sin refs.

## ANEXO A

## CLOROFLUOROCARBONOS

Dos recientes acciones han sido tomadas por el Congreso de E.U., El Acta Nacional de Conservación de la Energía en Aparatos Electrodomésticos (NAECA [National Appliance Energy Conservation Act]) y la ratificación del Protocolo de Montreal, sobre sustancias que degradan la capa de ozono, estas afectan profundamente a los mayores fabricantes de aparatos electrodomésticos en este país.

En septiembre de 1987 los E.U y otras 23 naciones firmaron el Protocolo de Montreal y desde entonces otras 13 naciones lo han firmado. El Protocolo pide a las naciones que firman, restringir la producción y el consumo de ciertos CFC's (clorofluorocarbonos) y halógenos (compuestos de bromo también implicados en la destrucción de la capa de ozono).

Los E.U. consumen alrededor del 30% de la producción mundial de los CFC's, otras naciones desarrolladas incluyendo Europa Occidental, Japón y Canadá consumen otro 41% y las naciones en desarrollo consumen el 14%.

Las regulaciones específicas de E.U. que surgieron del Protocolo fueron promulgadas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), pero antes fue necesario contar con 11 naciones responsables de  $\frac{2}{3}$ ,

de la producción total de CFC's para ratificar el Protocolo.

En 1988 suficientes países habían ratificado el protocolo para que este entrará en vigor en los E.U. Las regulaciones de EPA entraron en vigor el 1º de julio de 1989, para este año la producción de CFC's en 1986 en E.U. fue de aproximadamente 680 millones de libras. A mediados de 1993 esta producción deberá ser reducida al 80%, de la cifra anterior y a mediados de 1998 al 50% de la misma. Estas reducciones fueron consideradas por los potenciales de destrucción del ozono, de los componentes y los cambios que son permisibles entre los CFC's.

En Junio de 1990 en una reunión en Londres los firmantes del Protocolo de Montreal agregaron un número de revisiones a está, limitando la producción de sustancias que degradan la capa de ozono, estas han abarcado implicaciones en la industria de todos los aparatos electrodomésticos, como las limitaciones y las prohibiciones de un amplio número de refrigerantes así como agentes espumantes que sirven para obtener la alta resistividad de espuma. Los términos que en esta se acuerdan son los siguientes:

Sumario de revisiones de Londres a el Protocolo de Montreal	
1.	<p>Clorofluorocarbonos</p> <p>20% de reducción para 1993</p> <p>50% de reducción para 1995</p> <p>85% de reducción para 1997</p> <p>100% de reducción para 2000</p>
2.	<p>Compuestos halogenados</p> <p>50% de reducción para 1995</p> <p>100% de reducción para 2000 <small>(con excepción de los gases inactivos)</small></p>
3.	<p>Otros Clorofluorocarbonos Halogenados</p> <p>20% de reducción para 1993</p> <p>85% de reducción para 1997</p> <p>100% de reducción para 2000</p>
4.	<p>Tetracloruro de carbón</p> <p>85% de reducción para 1995</p> <p>100% de reducción para 2000</p>
5.	<p>Metil Cloroformo</p> <p>Congelado en 1993</p> <p>30% de reducción para 1995</p> <p>70% de reducción para 2000</p> <p>100% de reducción para 2005</p>
6.	<p>HCFC (sustancias transitorias)</p> <p>Una solución fue dada, llamando a su uso solo cuando otras alternativas no sean posibles con su reducción total para 2020, si es posible y no después de 2040.</p>
7.	<p>Mecanismos financieros.</p> <p>Se formo un fondo para financiar el costo incremental en el que incurrirán los países desarrollados para suspender la producción de estas sustancias. Entre los organismos de este fondo están el Banco Mundial, Programa Ambiental de Naciones Unidas y un Comité Ejecutivo de los firmantes.</p>

Por otra parte varias naciones decidieron promulgar leyes que son más exigentes a esta o que cubren un mayor número de sustancias. Un análisis reciente del EPA ha demostrado que un inmediato alto al uso de CFC's deberá ser necesario para estabilizar las concentraciones de Cloro y Helio en la atmósfera . EPA a indicado que una total prohibición en el uso de CFC's es posible para el fin

de siglo. Los mayores productores de CFC's han anunciado sus intenciones de cesar la producción de estos para fines de siglo.

Algunas naciones tales como Suecia y Canadá han decidido emprender reducciones más fuertes en el uso de CFC's que las que establece el Protocolo de Montreal.

La conexión entre NAECA y las regulaciones de EPA restringiendo el uso de CFC's, es que ellos son en el presente, materiales esenciales en los refrigeradores, se usan para producir el gas refrigerante y su aislamiento térmico.

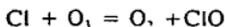
Los substitutos disponibles hasta ahora reducirán la eficiencia del refrigerador y esto hará más difícil cumplir con las regulaciones de uso de energía eficiente.

#### Los Clorofluorocarbonos y la capa de ozono.

El ozono se encuentra en lo más alto de la atmósfera (cerca de 56 Km). La radiación solar puede destruir o crear las moléculas de ozono, por lo que estos procesos están ocurriendo constantemente en las partes más altas de la atmósfera, la proporción de estos procesos se ha visto afectada por componentes químicos en la atmósfera que actúan como catalizadores. estos compuestos son entre otros los CFC's, el óxido de nitrógeno y compuestos de bromo; que incrementan la proporción de destrucción del ozono .

Las moléculas de CFC's son relativamente estables y pasan a través de la atmósfera sin descomponerse alcanzando las partes más altas de ésta, ahí son destruidas por los rayos ultravioleta esto ocasiona que el átomo de cloro sea liberado y reaccione con la molécula de ozono esto produce oxígeno y moléculas de monóxido de cloro. El átomo libre de oxígeno reacciona con una molécula de monóxido de cloro para liberar el cloro, permitiendo que el proceso de destrucción del ozono inicie otra vez.

Algunos CFC's tienen un tiempo de vida muy largo así que estos pueden estar destruyendo la capa de ozono por más de 100 años.

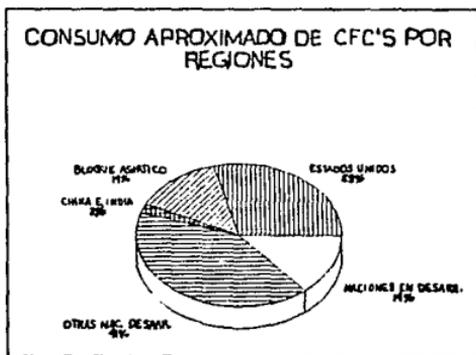


Las mediciones de la concentración de ozono en la atmósfera han demostrado que existe ya, un porcentaje de destrucción de ozono en la atmósfera teniendo la mayor lectura arriba del antártico, En el polo sur en la primavera, se midió que el porcentaje de ozono ha disminuido en un 50 por ciento desde 1960. Un reporte revela que el promedio de disminución de ozono en todo el mundo ha sido del 2% durante la pasada década, así que los cambios observados en todo el mundo en las concentraciones de ozono se deben en gran medida a los índices, cada vez mayores en la atmósfera, de gases como los CFC's.

#### USOS DE CFC's<sup>(14)</sup>

los CFC's son usados por muchas industrias y en muchos productos, sus propiedades físicas y termodinámicas los hacen muy útiles como refrigerantes y materiales aislantes. Estos no son tóxicos y su estabilidad química aumenta sus atractivos para estos propósitos, esta estabilidad es la que permite a los CFC's hacer su recorrido a través de la atmósfera sin ser degradados hasta llegar a lo más alto y permanecer ahí por muchos años.

La figura muestra estimaciones de EPA de 1985 de uso por áreas de los CFC's.

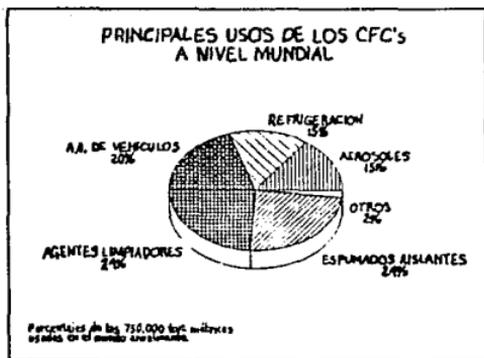


FUENTE: Energy-efficient refrigeration and the reduction of chlorofluorocarbon use.; Turiel and Lavine; Annu. Energy 1989; LBL.

(14) Energy-efficient refrigeration and the reduction of chlorofluorocarbon use.

Los principales usos de los CFC's son para productos espumados, Aires acondicionados de los coches, solventes de limpiadores y refrigeradores.

En los refrigeradores el uso de los CFC's es muy significativo ya que se usa en el sistema refrigerante como fluido refrigerante (CFC-12), y en el aislamiento de espuma rígida de poliuretano como gas hinchante (CFC-11).



**FUENTE:**The ozone vanishes.; Michel D. Lemonick; Time international; No. 7; February 17, 1992.

La industria en E.U. está desarrollando algunos sustitutos de CFC's uno de ellos son los HCFC's los cuales contienen hidrógeno, cloro y flúor. El hidrógeno disminuye la estabilidad del compuesto lo que hace que el compuesto tenga un menor tiempo de vida en la atmósfera. La destrucción de los HCFC's en la atmósfera resulta de la reacción de los radicales de hidróxilo presentes como componentes de la atmósfera y que impide que lleguen a las partes más altas en menor porcentaje que los CFC's.

El HCFC-134a es un sustituto prometedor del CFC-12 y tiene un potencial de destrucción de ozono muy pequeño, sin embargo este tiene un potencial de energía eficiente menor que el CFC-12.

**Clorofluorocarbonos regulados y su potencial de degradación de ozono**

QUIMICO	POTENCIAL DE DEGRADACION
CFC-11	1.0
CFC-12	1.0
CFC-113	0.8
CFC-114	1.0
CFC-115	0.6
HALON 1211	3.0
HALON 1301	10.0
HALON 2402	6.0
* HFC 134a	0.0
* HFC 152a	0.0

**FUENTE:** US. Environmental Protection Agency.

\* 1992 International refrigeration conference- Energy efficiency and new refrigerants.

Otra regulación importante a nivel internacional es el acta que promulgo el congreso de los E.U. llamada NAECA (National Appliance Energy Conservation Act) la cual crea un programa de conservación de energía para productos que la consumen (a excepción de automóviles) entre los que se incluyen los refrigeradores domésticos.

El programa del acta es dirigida hacia tres cosas:

- Pruebas
- Etiquetado
- Mandato de normas de conservación de energía

Este ya esta cumplido para refrigeradores domésticos en sus tres partes, de donde el DOE ya saco la regulación en su totalidad para los refrigeradores en estos tres puntos y hasta el año 2000.

## ANEXO B

## REFRIGERANTES ALTERNATIVOS

En 1974, la famosa teoría de destrucción de ozono en donde Rowland y Molina, dijeron que los CFC's que estaban difundidos en la estratosfera se descomponían para dejar libre átomos de cloro que en contacto con el ozono lo descomponen.

Hasta aquí el entendimiento de la ciencia es aún limitado, se sabe que los CFC's juegan un papel importante en el fenómeno del hoyo de ozono sobre el antártico y la disminución del ozono en el resto del mundo.

Otro factor que ha tomado gran importancia, es el potencial de los CFC's para cambiar la temperatura de la tierra y modificar el clima, aunque el principal impacto provenga del incremento de las concentraciones de dióxido de carbono.

En un esfuerzo por responder a la problemática mundial un protocolo de CFC's fue adoptado durante una conferencia diplomática en Montreal. Este documento conocido como el protocolo de Montreal, fue ratificado por un número suficiente de países en 1988 y puesto en vigor el 1º de enero de 1989.

De acuerdo al artículo 6 de este protocolo, los países que firmaron el acuerdo deben imponer las medidas de control contempladas en él. Como parte de los procesos contemplados, la refrigeración doméstica fue investigada para determinar la factibilidad del reemplazo de los CFC's.

Se encontró que muchos progresos se han hecho en cuestión de reemplazos de CFC's

Compresores diseñados para el refrigerante HFC-134a tienen eficiencias comparables con los actualmente eficientes que utilizan CFC-12 y las pruebas muestran resultados confiables con diferentes lubricantes (esteres).

Existen otros sustitutos tales como R152a y mezclas de refrigerantes, pero estos requerirán más estudio.

El impacto de los nuevos refrigerantes se espera que resulte en la eliminación del consumo del CFC-12, en países desarrollados en 1997 y en países en desarrollo en 2005.

La refrigeración doméstica, con un mercado mundial de aproximadamente 56 millones de ventas anuales, es un importante uso final de los CFC's debido al servicio que suministran en la conservación de la comida.

El ciclo de compresión de vapor, el cual es usado en la mayoría de las unidades, usa CFC-12 como fluido de trabajo.

El tiempo que este se ha usado como fluido de trabajo ha permitido el desarrollo de compresores de alta eficiencia y componentes del sistema de refrigeración con una duración de 15 años.

Estudios muestran que el refrigerador promedio será usado por su propietario original por 10 o 15 años y continuará dando un servicio satisfactorio por otro considerable periodo de tiempo, hasta arriba de 30 años en algunos casos.

Este tipo de confiabilidad ha permitido al consumidor esperar de las unidades herméticas de 15 a 20 años de vida.

Sobre un periodo de tiempo, el compresor promedio puede operar de 60,000 a 90,000 horas sin fallar.

El uso eficiente de energía se ha convertido en lo más importante así como la capacidad de almacenamiento y el alza del costo de energía, han manejado el costo de operación hacia abajo.

En algunos países, las normas de uso de energía están obligando que el consumo de energía sea drásticamente reducido en un periodo corto de tiempo, así el requerimiento adicional de reemplazo del CFC-12 se convierte en una demanda exigida a los fabricantes.

El impacto del lubricante en el funcionamiento del compresor y el sistema de refrigeración es muy importante porque afecta las características de sellado en el compresor y la transferencia de calor en los intercambiadores de calor. Un mal sellado puede provocar reflujo a través de pistones y válvulas, con lo cual se obtienen pérdidas de capacidad y eficiencia.

Generalmente los lubricantes de mayor viscosidad ayudan a conservar la presión del gas, Obviamente esta propiedad depende mucho de la viscosidad de la mezcla del lubricante con el refrigerante así como del diseño del compresor.

Refrigerantes alternativos en nuevos equipos:

HFC-134a. Es una de las alternativas probadas primeramente, esta disponible desde 1991, principalmente para aires acondicionados de coches, tiene niveles de presión y propiedades comparables con el CFC-12, las pérdidas de eficiencia de este en los refrigeradores, con un cambio de lubricante es de 1-7%.

En una unidad de refrigeración el simple cambio del tamaño del capilar, para ajustar la caída de presión; y la modificación de los intercambiadores de calor para acomodar las diferencias de los coeficientes de calor de los refrigerantes mencionados, ha permitido eficiencias de un 8% mayores que el CFC-12.

**HFC-152a.** Se han desarrollado pocas pruebas de este sustituto, pero resultados preliminares arrojan de -4 a +3% de eficiencia sobre el CFC-12.

**HCFC-22.** Este refrigerante es comúnmente utilizado como refrigerante en refrigeración comercial y en bombas de calor, pruebas en refrigeración doméstica indican un uso de energía de -1 a +13% más.

**HFC-134.** Este es más difícil de sintetizar que el HFC134a, y su consumo de energía es un 6% mayor que el CFC-12, cambiando el lubricante.

**Mezclas ternarias.** Son mezclas de tres diferentes sustancias para poder alcanzar el punto de ebullición y capacidad del CFC-12. Este requerirá mínimos cambios en el diseño del sistema, los resultados de prueba determinan que se requiere de un -1 a +6% del consumo actual de energía.

## ANEXO C

**"ESTUDIOS PARA LA FORMULACION DE NORMAS DE AHORRO DE ENERGIA  
EN APARATOS ELECTRODOMESTICOS E INDUSTRIALES"**

**ANTECEDENTES**

A partir de los estudios de ahorro de energía en México, elaborados por la Secretaría de Energía, Minas e Industrias Paraestatales (SEMIP) y la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) se ha detectado un potencial importante de ahorro derivado de la disminución en los consumos de energía eléctrica de los refrigeradores domésticos, consumos que actualmente constituyen el 20% del consumo residencial de energía y aproximadamente el 4% del total nacional. Es por esto que la CONAE, en coordinación con la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), la Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos electroDomésticos (ANFAD) y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), han decidido realizar un estudio para la formulación y aplicación de normas de ahorro de energía aplicables a refrigeradores.

**OBJETIVO**

Definir los niveles de consumo energético máximos de refrigeradores técnicamente factibles y económicamente justificables para propiciar la conservación del energía.

## ALCANCE

El campo de aplicación del estudio comprende:

- Los refrigeradores de fabricación nacional para venta en México, en todas sus capacidades, tipos de deshielo y tipos de aparato.
- La elaboración de un inventario de normas internacionales relacionadas con la determinación del consumo energético de refrigeradores.
- La definición de consumos energéticos máximos para establecer normas de ahorro de energía en refrigeradores y el análisis de los impactos de la aplicación estas normas en los consumidores, suministrador de energía y fabricantes de refrigeradores.
- El formular el convenio de concertación entre los fabricantes y la SECOFI para establecer las metas de eficiencia en los refrigeradores.
- Elaborar guías de selección de materiales y componentes relacionados con el ahorro de energía en refrigeradores.
- Elaborar proyectos de modificación de normas vigentes para incorporar conceptos de ahorro y uso eficiente de energía.

## PRODUCTOS ESPERADOS

Anteproyectos de norma para la fabricación de refrigeradores con especificaciones más precisas de los niveles de eficiencia y consumos unitarios de energía esperados.

Bases para convenios de concertación con fabricantes y usuarios, para que las normas puedan hacerse efectivas.