



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
ENERGÍA – PROCESOS Y USO EFICIENTE DE ENERGIA

DESARROLLO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE DESHIELO EN  
REFRIGERADOR POR ASPERSIÓN DE AGUA

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
RICARDO OSVALDO RODRÍGUEZ TORRES

DIRECTORA  
DRA. GUADALUPE HUELSZ LESBROS,  
INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES

MÉXICO, D. F. ENERO 2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Eduardo Ramos Mora  
Secretario: Dra. Guadalupe Huelsz Lebros  
Vocal: Dr. Jorge Alberto Andaverde Arredondo  
1<sup>er.</sup> Suplente: Dr. Mauricio de Alba Rosano  
2<sup>do.</sup> Suplente: Dr. Jorge Antonio Rojas Menéndez

Lugar donde se realizó la tesis: Mabe S.A. de C.V.

**TUTOR DE TESIS:**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'G. Huelsz', written in a cursive style.

Dra. Guadalupe Huelsz Lebros

## Índice

### Resumen

#### 1. Introducción

1.1. Revisión bibliográfica

1.2. Patentes

1.3. Objetivo y alcance de la tesis

#### 2. Descripción de alternativas

2.1. Descripción del sistema de deshielo convencional

2.2. Descripción de la propuesta de nuevo sistema de deshielo

2.3. Desarrollo analítico de mejora en consumo de energía con deshielo por aspersion de agua

#### 3. Desarrollo del prototipo con deshielo por aspersion de agua

3.1. Desarrollo de la idea y concepcion del prototipo

3.2. Diseño y fabricacion del prototipo

3.3. Evaluaciones previas y mejoras del prototipo

#### 4. Comparacion del desempeño del refrigerador de línea base con el refrigerador prototipo

4.1. Evaluaciones de funcionamiento general

4.2. Evaluaciones de consumo de energía bajo la norma NOM-015-ENER-2002

4.2.1. Resumen de la norma NOM-015-ENER-2002

4.2.2. Resultados de evaluaciones en posición media

4.2.3. Resultados de evaluaciones en posición mínima

4.2.4. Cálculo de consumo de energía entre el refrigerador de línea base y el refrigerador prototipo

4.3. Evaluaciones de uso extremo

## 5. Análisis de factibilidad

### 5.1. Análisis de diseño

5.1.1. Diagrama de bloques funcionales

5.1.2. Análisis de modo y efecto de falla

5.1.3. Integración y cumplimiento de requisitos regulatorios y normativos

5.1.4. Análisis de confiabilidad

5.1.5. Definición de especificaciones técnicas

5.1.6. Análisis de manufacturabilidad

5.1.7. Análisis de distribución, venta y servicio post-venta

5.1.8. Costeo y precio objetivo de lanzamiento

## 6. Conclusiones

### Bibliografía

### Anexos

A Cálculo de incertidumbre de temperatura (febrero 2013)

B Cálculo de incertidumbre de consumo de energía (febrero 2013)

C Norma Oficial Mexicana NOM-015-ENER-2002

## Resumen

Hoy en día una de las principales preocupaciones y ocupaciones de diferentes organismos, gobiernos, empresas y sociedad en general, es el calentamiento global y el uso excesivo de energéticos que provocan este calentamiento. De acuerdo a un estudio de la Secretaría de Energía de México, SENER, los refrigeradores son unos de los aparatos que más energía consumen dentro de la categoría de electrodomésticos en el sector residencial. Esto se debe a la frecuencia de uso del refrigerador, al compresor que bombea refrigerante por un circuito cerrado, y a la resistencia eléctrica que elimina la escarcha que se forma en la superficie del evaporador.

En el presente trabajo se realiza un estudio de un refrigerador donde se elimina la resistencia eléctrica de deshielo y se sustituye por un sistema de deshielo por aspersión de agua. Se incluye la construcción de un refrigerador prototipo, la evaluación y validación de la reducción de consumo de energía.

Esta alternativa se basa en el uso de una bomba de agua de pequeña capacidad (40 W) que durante 3 minutos bombea agua caliente (en promedio 30°C) de un tanque y hacia el evaporador. El tanque de agua recibe calor del compresor que se encuentra junto a éste. Éste nuevo sistema reemplaza el funcionamiento y gasto energético de la resistencia de deshielo optimizando el funcionamiento térmico del refrigerador.

Para evaluar y validar dicho prototipo se realizan diferentes pruebas comparándolo con un refrigerador de las mismas características y tamaño pero con el sistema de deshielo convencional, denominado línea base. Estos dos productos se comparan a través de pruebas de funcionamiento general, bajo la normativa mexicana de consumo de energía en refrigeradores, NOM-015-ENER-2002, y con pruebas de uso extremo. Con los resultados obtenidos se realiza un análisis de factibilidad de desarrollo de este proyecto con intenciones de producirlo a gran escala en algunas de las plantas de Mabe. Este análisis incluye diseño, manufacturabilidad, requisitos regulatorios y normativos, confiabilidad y costeo.

Los resultados obtenidos demuestran un ahorro de energía del refrigerador con deshielo por aspersión del 6.2% con respecto al refrigerador de línea base. De acuerdo al estudio de la SENER, el refrigerador en promedio representa un 39% del consumo de energía eléctrica en el sector residencial, esto representa para el usuario un ahorro promedio mensual del 2.4% en su recibo de energía eléctrica.

Por otro lado, los resultados bajo condiciones extremas demuestran problemas de desempeño en el refrigerador prototipo al funcionar en un ambiente de hasta 83% de

humedad relativa y temperatura de 32°C. Bajo este ambiente y con apertura de puertas durante la prueba, el refrigerador prototipo muestra deficiencia en remover toda la escarcha del evaporador después de un ciclo de deshielo. Esto provoca formación de hielo, obstrucción de ductos de aire y calentamiento del interior de los compartimentos del refrigerador. Se hacen propuestas para que en trabajos posteriores se busque resolver este problema.

El estudio de factibilidad del proyecto para producción en masa recomienda no iniciar con su desarrollo sino hasta resolver los temas de formación de hielo en el evaporador y de sobre costo. Se recomienda encontrar otro proyecto de reducción de costos que permita integrar ambos proyectos en un mismo producto de tal manera que el ahorro de un proyecto contrarreste el incremento de costo de este proyecto para el precio de venta del producto permanezca sin cambio. Finalmente se recomienda eliminar la posibilidad de contaminación del agua del sistema de aspersion que podría provocar crecimiento de hongos y bacterias en su interior.

## 1. Introducción

El calentamiento global es uno de los problemas ambientales que desde hace varios años ha preocupado a la humanidad y al que se le ha dedicado muchos recursos para aminorarlo y de ser posible eliminarlo. Lamentablemente no ha sido suficiente y sigue siendo uno de los mayores problemas que enfrenta el hombre y que incluso amenaza nuestra propia subsistencia. Se ha reducido y eliminado en ciertos países el uso de ciertos químicos que dañan las capas de la atmosfera terrestre y que a su vez el daño de estas capas incrementa el problema del calentamiento global. El uso de combustibles fósiles como energéticos se ha tratado de racionalizar (uso eficiente de energía) y se ha tratado de ocupar energéticos alternos más limpios (uso de energías alternas) y que no agraven el problema de este calentamiento. Sin embargo, el crecimiento demográfico entre otros problemas sociales desaparece casi en su totalidad el efecto y los beneficios de lo que se ha hecho contra este problema mundial que sufre la Tierra.

Aprovechando los avances tecnológicos se han tenido mejoras significativas en cuanto a la producción y uso de energía eléctrica. Por ejemplo, cada vez es mayor la producción de energía eléctrica ocupando tecnologías alternas, como el viento (eólicas) y cada vez es menor la producción de energía eléctrica donde se queman combustibles fósiles. En cuanto al uso eficiente de energía eléctrica son mayores las opciones que se tienen de luminarias, electrodomésticos y equipos en general que consumen menos energía eléctrica y dan el mismo servicio que sus antecesores. Por ejemplo, hoy hay más focos fluorescentes o luminarias de diodos (*leds*) que sustituyen a los focos incandescentes; se tienen opciones de equipos de cómputo, de comunicación como de sonido y video cada vez más compactos que utilizan baterías más pequeñas, que a su vez son más eficientes; finalmente se tienen electrodomésticos que aprovechan los avances tecnológicos y consumen considerablemente menos energía eléctrica que equipos similares que se encontraban en el mercado hace algunos años. El refrigerador es uno de los electrodomésticos en el hogar que más consume energía eléctrica y gracias al apoyo de entidades normativas como de los gobiernos, junto con el trabajo de fabricantes y centros de investigación han reducido su consumo energético considerablemente.

El mayor consumo de energía en un refrigerador es durante el proceso de producción de frío seguido por el proceso de deshielo. Son varios los estudios y análisis térmicos que se han realizado para comprender y mejorar estos procesos (Bansal, P. *et al.*, 2010). En este trabajo se demostrará como el proceso de deshielo automático representa aproximadamente un 7% del consumo total de energía en refrigeradores del tipo “libre de escarcha”. Existen diferentes patentes y estudios sobre alternativas para reducir el

consumo de energía en el proceso de deshielo, a continuación se presenta una revisión de los mismos.

### **1.1. Revisión bibliográfica**

Comúnmente los refrigeradores del tipo “libres de escarcha” utilizan algún elemento eléctrico calefactor junto con un control electrónico para el proceso de deshielo del congelador. La gran mayoría se basa en energizar al 100% de su capacidad la resistencia eléctrica cada cierto tiempo de trabajo del compresor. Solo por poner un ejemplo, el compresor de un refrigerador de 18 pies cúbicos puede consumir alrededor de 130.0W y generalmente permanece energizado unos 50.0 minutos y descansando unos 60.0 minutos; dependiendo del uso y del tipo de control algunos refrigeradores activan su proceso de deshielo cada 36 horas, el cual dura entre 10.0 y 15.0 minutos y llegan a utilizar resistencias eléctricas que consumen unos 280.0W; esto varía entre fabricantes y diseños de refrigeradores, se menciona solo como referencia del funcionamiento y de los valores de tiempo y potencia.

En este trabajo los estudios y análisis que se han realizado para mejorar los procesos de deshielo se clasificaron en tres grupos: los que utilizan el mismo método convencional de un elemento resistivo con alguna mejora significativa (Knabben et al., 2011, Sommers et al., 2005, Melo et al., 2013), los que combinan el método convencional con alguna aportación alterna e innovadora (Ozyurt *et al.*, 2002) y aquellos que son totalmente disruptivos del método convencional (Mader *et al.*, 2012).

En muchas ocasiones el evaporador de un refrigerador se diseña con la intención de hacer más eficiente la producción de frío en un refrigerador, se han realizado estudios como el de Knabben *et al.* (2011), donde sin perder de vista la importancia del diseño del evaporador en la producción de frío, éste también se diseña con el fin de hacer más eficiente el proceso de deshielo analizando la forma, la estructura y la separación de los tubos del evaporador. En este estudio además de rediseñar el evaporador se encontró una mejora significativa en el consumo de energía durante el proceso de deshielo al aumentar de una a dos resistencias eléctricas de menor potencia que la inicial y reubicándolas en el evaporador de tal manera que se redujo el tiempo de energizado de las resistencias hasta en un 50%.

En otro estudio (Sommers *et al.*, 2005) se reduce el consumo de energía en el proceso de deshielo al modificar el flujo de aire en el evaporador. Con ayuda de un motor-ventilador y de ciertas geometrías en el evaporador se generan vórtices que optimizan la transferencia de calor durante el proceso de deshielo. En este estudio se logra el mismo resultado de

deshielo con resistencias eléctricas de menor capacidad con una reducción en su potencia entre un 35% y 42% así como un incremento en la transferencia de calor entre un 60% y 90% más que en el proceso original.

En todos los casos hasta ahora comentados en este trabajo, la resistencia eléctrica se energiza al 100% de su capacidad durante el proceso de deshielo y posteriormente se apaga completamente. En otras palabras el control del elemento calefactor solo tiene dos funciones las cuales son “Encendido” y “Apagado” donde el modo de “Encendido” es con la resistencia energizada a su capacidad total. Existe un estudio interesante (Melo *et al.*, 2013) en el cual se propone una reducción en el consumo de energía a través de agregar modos o funciones de potencia de la resistencia eléctrica de tal manera que ésta funciona al 100%, al 80%, al 60% de su capacidad; es decir, se modula la intensidad de potencia a la que funciona la resistencia eléctrica. En dicho trabajo se modula la intensidad de la potencia similar a una función a través del tiempo con forma de “diente de sierra”. La reducción de consumo de energía en este trabajo no radica solamente en menor consumo durante el proceso de deshielo sino en menor consumo del compresor en el primer ciclo de refrigeración después del ciclo de deshielo pues con esta alternativa se deshiela la escarcha sin sobrecalentar el congelador como normalmente sucede en los sistemas convencionales.

Dentro del segundo grupo de estudios que involucran casos con alguna aportación alterna e innovadora solo se encontró el de Ozyurt *et al.* (2002), donde agregan un segundo evaporador al refrigerador. Normalmente los refrigeradores cuentan con un solo evaporador dentro del congelador y ductos de aire que comunican al congelador con el compartimento de alimentos frescos para mantener la temperatura baja dentro de los diferentes compartimentos del refrigerador. En este estudio se elimina la comunicación de ductos de aire entre congelador y compartimento de alimentos frescos y se adiciona un evaporador para enfriar el compartimento de alimentos frescos. Para descongelar el evaporador del congelador se utiliza el método convencional, pero para descongelar el evaporador del compartimento de alimentos frescos simplemente se apaga el compresor y con ello se apaga la producción de frío y dado que el aire del compartimento de alimentos frescos está por encima de 0°C, el evaporador se deshiela. Aunque el resultado de este tipo de estudios conlleva a colocar más componentes en el refrigerador, sin duda esto ayuda a optimizar el consumo de energía del mismo.

En la tercera categoría de estudios tenemos dos tipos de deshielo completamente disruptivos del método convencional. El primero (Mader *et al.*, 2012) se basa en hacer pasar refrigerante caliente del compresor al evaporador; es decir, con una válvula de tres

vías se manda refrigerante caliente al evaporador directamente del compresor y sin haber pasado por el condensador.

El segundo tipo de deshielo disruptivo es precisamente el que abordaremos en este trabajo. Éste está basado en eliminar la resistencia de deshielo para colocar aspersores de algún fluido, donde se aprovecha agua en estado líquido para deshielar el evaporador. Esto incrementa el número de componentes en el refrigerador, sin embargo, reduce el consumo de energía hasta un 6% del valor total de consumo de energía de un refrigerador.

## **1.2. Patentes**

Existen algunas patentes que ya son de dominio público dado que ya cumplieron el tiempo bajo el cual se tenía que pagar una indemnización al generador de la idea por utilizar su invención. Estas patentes son de los años 60's, la mayoría de ellas se basan en una aspersión de algún fluido como alguna especie de glicol e incluso agua para deshielar el evaporador. Por ejemplo la patente de Zellner & Wis., 1954, cuyo esquema se muestra en la figura 1, consta de un sistema de refrigeración (#11) con su evaporador (#1) y un sistema alterno de un fluido que por aspersión elimina el hielo y la escarcha que se genera sobre el evaporador. El sistema de aspersión (#4) tiene una charola recolectora del fluido (#5) debajo del evaporador y una motobomba (#6) que inyecta fluido a un compartimento de precalentamiento (#7) y posteriormente a un compartimento de calentamiento (#8) por medio de resistencias eléctricas (#10) para posteriormente ser enviado al evaporador y por aspersión eliminar la escarcha del mismo.

UNITED STATES PATENT OFFICE

2,686,407

METHOD OF ELIMINATION OF REFRIGERATION FROST

Robert J. Zellner, Marinette, Wis., assignor to Ansul Chemical Company, Marinette, Wis., a corporation of Wisconsin

Application September 5, 1952, Serial No. 307,981

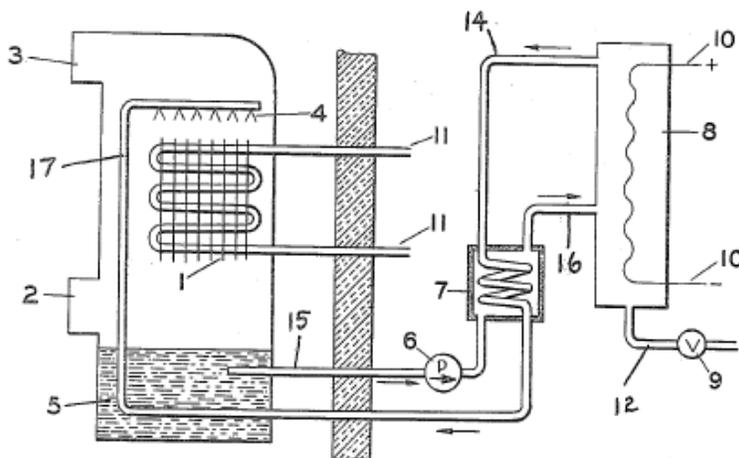


Fig. 1 Esquema original de la patente de Zellner & Wis de 1954. Se muestran los componentes de un sistema de bombeo, calentamiento y aspersión de un fluido que se utiliza para eliminar la escarcha de un evaporador.

En la figura 2 se presenta, como otro ejemplo, la patente de Stutz., 1974, se basa en un sistema de aspersión de un fluido hacia el evaporador (#38). Utiliza un sistema tipo distribuidor (*manifold*) basado en un cabezal (#40) y varias salidas o divisiones (#46) que terminan con boquillas (#48) especialmente diseñadas para abrir, en forma de abanico, un rocío (#52) que elimina, con ayuda del fluido en estado líquido, la escarcha o hielo formado sobre la superficie externa del evaporador. Se menciona el uso de un fluido que se obtiene de mezclar agua con glicol.

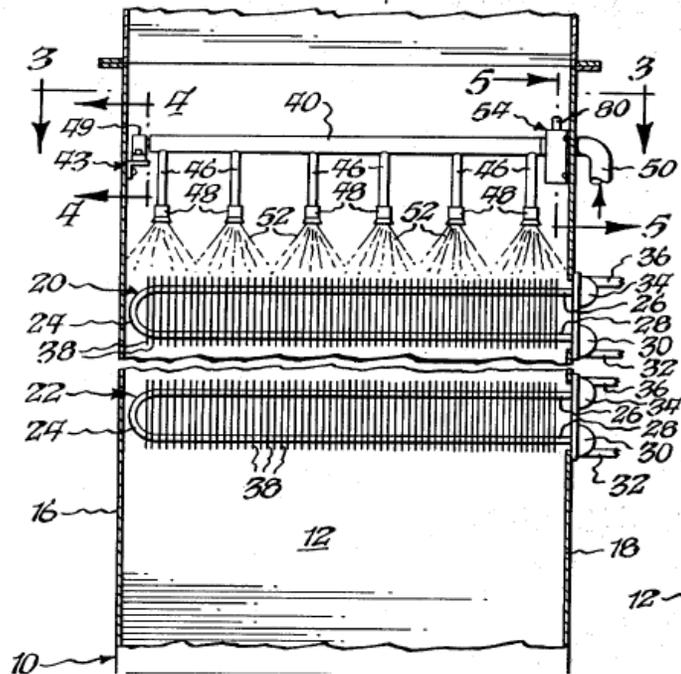


Fig. 2 Esquema original de la patente de Stutz de 1974. Se muestran los componentes de un sistema de aspersion de un fluido a través de un distribuidor o cabezal que se subdivide en diversas bifurcaciones con boquillas a la salida para rociar una mezcla de agua con glicol con el fin de eliminar la escarcha de un evaporador.

### 1.3. Objetivo y alcance de la tesis

El trabajo desarrollado en esta tesis es parte del trabajo de investigación y desarrollo que el autor realiza como empleado del Centro de Tecnología y Proyectos (TyP) de la empresa Mabe S.A. de C.V. El autor, en sus funciones de gerente de evaluación del Laboratorio de Refrigeradores de TyP, tiene como una de sus responsabilidades, la generación y desarrollo de ideas de innovación que contribuyan al crecimiento y al aseguramiento de la permanencia de la compañía en el mercado con nuevas soluciones rentables evaluadas en funcionalidad, capacidad de manufactura y beneficio para el usuario final.

El objetivo de esta tesis es el desarrollo y estudio de una de estas ideas de innovación bajo la perspectiva de un centro de desarrollo de proyectos de ingeniería de uno de los fabricantes de electrodomésticos más grandes del continente americano.

La idea que se presenta es una alternativa de deshielo de evaporador de un refrigerador que genere un ahorro de energía total superior al 5% bajo la norma de eficiencia energética mexicana para refrigeradores NOM-015-ENER-2012. Este trabajo incluye la construcción de un prototipo real, la comparación de un refrigerador convencional de la misma capacidad y modelo con los resultados de la evaluación de este prototipo en la prueba mencionada, así como una prueba de uso extremo. Se hace también un análisis de factibilidad de diseño, de manufactura, de confiabilidad, de distribución, venta, reparación y servicio, y finalmente un análisis de costeo.

## **2. Descripción de alternativas**

En este capítulo se describe cómo trabaja un sistema de deshielo convencional de un refrigerador libre de escarcha con un elemento eléctrico calefactor y se presenta la nueva alternativa de deshielo que se desarrollará a lo largo de este trabajo. Una vez descritos ambos sistemas se realiza un desarrollo analítico de la mejora en consumo de energía de deshielo esperado al rociar con agua caliente el evaporador.

### **2.1. Descripción del sistema de deshielo convencional**

El avance tecnológico ha tenido impacto en todo nuestro mundo y en todos los niveles. Los electrodomésticos de hace un par de décadas son totalmente diferentes a lo que hoy conocemos. Anteriormente los refrigeradores eran en su mayoría de deshielo manual y no tenían funciones especiales ni compartimentos especiales. Para deshielar el congelador de estos refrigeradores la gente tenía que sacar el alimento del interior y desconectarlo de la energía eléctrica, debía esperar cierto tiempo a que el hielo del interior se descongelara sobre una charola especialmente diseñada para captar este deshielo y retirarla manualmente. Posteriormente se regresaba el alimento al interior del refrigerador y se volvía a energizar. Este proceso de deshielo manual se debía repetir continuamente, con una frecuencia que variaba dependiendo del uso del refrigerador, de la temperatura y de la humedad del ambiente.

Actualmente la mayoría de los refrigeradores son de deshielo automático y tienen compartimentos especiales para determinado tipo de alimento, algunos también tienen funciones especiales, como la función de “Vacaciones” o “Enfriado Rápido” por mencionar algunas.

El deshielo automático funciona en lo general de la misma manera con los diferentes fabricantes de electrodomésticos en el mundo. Básicamente el deshielo automático se basa en un elemento calefactor, una resistencia eléctrica, que se energiza cada determinado tiempo para eliminar la escarcha que se encuentre al interior del congelador aún antes que esta escarcha empiece a formar hielo. La idea es realizar un “golpe de calor” lo suficientemente fuerte y rápido para deshielar dicha escarcha sin que el alimento del congelador sufra un descongelamiento. Internamente los refrigeradores cuentan con una especie de sistema que capta el agua del deshielo y por una tubería tipo drenaje se elimina esta agua hasta un receptor de agua que generalmente se encuentra junto al compresor para que con el calor del compresor esta agua se evapore al ambiente.

Típicamente la resistencia eléctrica se encuentra por debajo del evaporador y ambos componentes se encuentran cubiertos por una tapa plástica al interior del congelador para que no sean visibles ni riesgosos para el usuario.

## **2.2. Descripción de la propuesta de nuevo sistema de deshielo**

En este trabajo se pretende utilizar agua para irrigar la superficie externa del evaporador con un sistema de aspersión para eliminar la escarcha que se forme sobre el mismo. En un principio, el cliente o el fabricante deben suministrar agua manualmente al sistema de aspersión y el sistema se irá reabasteciendo de agua a partir de la misma producción de escarcha del refrigerador. El excedente de agua se desechará por evaporación como se realiza actualmente en los sistemas convencionales.

En este sistema se coloca un vertedero de agua sobre la charola de evaporación de los sistemas convencionales que se encuentra junto al compresor. Dentro de este recipiente tipo vertedero se coloca una bomba de agua y una red de tubos que llegan hasta la parte superior del evaporador al interior del congelador. El sistema de recolección del agua del deshielo se modifica ligeramente de tal manera que llega al recipiente tipo vertedero donde se encuentra la bomba y cuando el agua al interior del vertedero supera cierto límite entonces el agua se vierte a la charola de evaporación que mencionamos en los sistemas tradicionales.

Cada vez que se requiere realizar un deshielo, se energiza la bomba y ésta rocía con agua caliente, por estar cerca al compresor, al evaporador por cierto tiempo hasta que se elimina toda la escarcha del evaporador. Posteriormente se deja descansar todo el sistema por cierto tiempo para permitir que toda el agua del deshielo escurra hacia el sistema de captación de deshielo, a esta etapa se le conoce como etapa de escurrimiento. Es importante que durante esta etapa no se energice el compresor pues se produciría hielo fácilmente. Para hacer más eficiente el proceso de escurrimiento es posible encender y apagar el motor ventilador del evaporador repetidamente para producir cierta vibración y que con ayuda de ésta y el movimiento del aire ayudar a secar el evaporador más rápido. Esto requiere un estudio adicional a esta tesis donde se analice y confirme la conveniencia de encender este motor a pesar del calor que genera el motor y se transmite al interior del refrigerador.

### 2.3. Desarrollo analítico de mejora en consumo de energía de deshielo por aspersión de agua

En un sistema de deshielo convencional es común encontrar resistencias eléctricas de alrededor de 260.0W, que funcionan cada tercer día por aproximadamente unos 11.0 minutos a un voltaje de 127V. Como veremos más adelante este consumo de energía debido al proceso de deshielo implicará alrededor de un 7% del total del consumo de energía del refrigerador.

Por otro lado el sistema propuesto de deshielo por aspersión de agua puede utilizar una bomba de 40.0W y en un periodo de 3.0 minutos es capaz de descongelar el evaporador aprovechando el agua en estado líquido que se rocía al mismo. Por lo que, el sistema propuesto de deshielo eliminaría más de un 90% de la energía que se consume en el deshielo de un sistema convencional. Esto representaría un ahorro de energía en el consumo total del refrigerador superior al 6%.

Aunque se adicionan nuevos componentes al refrigerador como el contenedor de agua, la bomba de agua y el sistema de aspersión; también se eliminan componentes del sistema convencional, como lo es la resistencia de deshielo y varias hojas metálicas que protegen del calor de la resistencia a las piezas plásticas cercanas a la misma. En la sección 5.1.8. se presenta un análisis que en Mabe se conoce como “Adiciones y Eliminaciones” (*Add & delete*). En este análisis se cuantifica el costo de las piezas que se eliminan contra el costo de las piezas que se adicionan en la nueva propuesta.

A continuación se muestra el cálculo de la cantidad de energía necesaria para remover (fundir) la escarcha que se acumula en el evaporador de un refrigerador de 15 pies cúbicos.

La cantidad de escarcha que se acumula es variable y depende del clima, específicamente del porcentaje de humedad relativa, en el que se encuentre funcionando el refrigerador, del tiempo que se mantengan abiertas las puertas del refrigerador, así como el tipo de alimento que se mete al refrigerador y el tipo de contenedor que el usuario utiliza para guardar dicho alimento. Se han detectado casos donde se generan hasta 300 gramos (0.3kg) de escarcha en el evaporador y esta escarcha se encuentra en promedio a  $-20^{\circ}\text{C}$  (253K), cuando las perillas del control de temperatura se encuentran en posición media.

Con la información anterior es posible calcular la cantidad de energía,  $Q_1$ , necesaria para llevar 0.3 kg de agua congelada de 253K a 273K y la energía,  $Q_2$ , necesaria para fundir 0.3kg de agua congelada. La energía total requerida será:

$$Q_{tot} = Q_1 + Q_2$$

Si consideramos que el calor específico del hielo es:

$$c_h = 2,090 \text{ J/kgK}$$

Para calcular  $Q_1$ , se considera que:

$$Q_1 = mc\Delta T$$

$$Q_1 = 0.3\text{kg} * 2,090 \text{ J/kgK} (273\text{K} - 253\text{K})$$

$$Q_1 = 12,540\text{J}$$

El calor latente del hielo es:

$$L_f = 334,000 \text{ J/kg}$$

Por tanto la energía necesaria para fundir 0.3kg de hielo será:

$$Q_2 = mL_f$$

$$Q_2 = 0.3\text{kg} * 334,000 \text{ J/kg}$$

$$Q_2 = 100,200\text{J}$$

De esta manera la energía total necesaria para fundir los 300 gramos de escarcha a  $-20^\circ\text{C}$  del evaporador es de:

$$Q_{tot} = 12,540\text{J} + 100,200\text{J} = 112,740\text{J}$$

El refrigerador de línea base utiliza una resistencia eléctrica de 260.0W para realizar el deshielo y está programada para encender por 10.2 minutos.

Con la energía calculada para fundir los 300 gramos de escarcha a  $-20^\circ\text{C}$  es posible calcular el porcentaje de energía de la resistencia que se aprovecha para deshielar el evaporador y el porcentaje de la energía que se desperdicia y se inyecta al refrigerador. La energía de la resistencia que no se aprovecha en el deshielo del evaporador, calienta los alimentos del refrigerador y tiene que ser removida por el compresor una vez que éste vuelve a trabajar.

Para realizar el cálculo del porcentaje de energía de la resistencia que se aprovecha para deshielar el evaporador, se calcula el tiempo necesario de trabajo de la resistencia para que genere 112,740J (igual a 112,740 Ws). Esto se obtiene de dividir:

$$t = \frac{Q}{P}$$
$$t = \frac{112,740Ws}{260W} = 433s = 7.2 \text{ minutos}$$

Esto quiere decir que 7.2 minutos de trabajo de la resistencia eléctrica generan la energía necesaria para fundir 300 gramos de escarcha a -20°C del evaporador. Sin embargo, el sistema no es 100% eficiente y requiere generar más energía para dicho objetivo. Dado que la resistencia se enciende 10.2 minutos, esto nos indica que 3.0 minutos de encendido de la resistencia son desperdicio, esto implica una eficiencia del sistema de deshielo por la resistencia del 70%.

$$\eta = \frac{7.2 \text{ minutos}}{10.2 \text{ minutos}} = 70\%$$

Considerando que la resistencia eléctrica trabaja 30% más tiempo del estrictamente necesario, se calcula que la resistencia inyecta 46,800J adicionales al interior del refrigerador que requieren ser removidos con trabajo del compresor, lo que demanda a su vez mayor consumo de energía en el refrigerador de línea base. Los 46,800J de energía que se inyectan como excedente al refrigerador se calculan de la siguiente manera:

$$E = Pt = 260W * 180s = 46,800J$$

Por otro lado, al considerar el refrigerador prototipo con deshielo por aspersión de agua, es posible calcular la cantidad de agua necesaria para fundir los mismos 300 gramos de escarcha a -20°C.

Se considera que el contenedor de almacenamiento que proveerá agua al sistema de aspersión se ubicará en la parte trasera e inferior del refrigerador y a un costado del compresor. Dadas las condiciones de operación y la temperatura variable del compresor, el contenedor y el agua al interior del mismo se conservan a una temperatura por debajo de la temperatura del compresor pero por encima de la temperatura ambiente; se estima que el agua al interior del contenedor del sistema de aspersión estará por encima de 25°C. De esta manera, la cantidad de agua necesaria a 25°C (298K) para fundir 0.3 kg de escarcha a -20°C se calcula de la siguiente manera:

Dado que,  $Q = mc\Delta T$ ; entonces:

$$m = \frac{Q}{c\Delta T}$$

Si el calor específico del agua es de  $c = 4180 \frac{J}{kgK}$ , entonces:

$$m = \frac{112,740J}{(4,180J/kgK)(298K-273K)} = 1.07 \text{ kg}$$

Esto implica que el sistema de deshielo por aspersión de agua requiere al menos 1.07kg de agua a 25°C para eliminar la escarcha que se genera sobre la superficie del evaporador. Dado que el sistema de aspersión no es 100% eficiente, se recomienda monitorear la temperatura del agua dentro del contenedor de agua del sistema de deshielo y se recomienda mantener encendida la bomba del sistema de deshielo para que se realice una aspersión sobre el evaporador de más de 1.07kg de agua; se recomienda de inicio un factor de seguridad del 25%. El tiempo de encendido de la bomba estará sujeto al caudal de la misma.

### **3. Desarrollo del prototipo con deshielo por aspersión de agua**

En este capítulo se describen la concepción, el diseño y la fabricación del prototipo, así como las evaluaciones previas que se realizaron al prototipo inicial y las mejoras que se le hicieron.

#### **3.1. Desarrollo de la idea y concepción del prototipo**

En las últimas décadas una de las principales preocupaciones del hombre ha sido la racionalización del consumo de energía en el mundo. Los fabricantes de electrodomésticos han buscado diferentes maneras de desarrollar equipos de línea blanca que utilicen menor energía. Los organismos normativos han ido reduciendo los máximos consumos de energía permisibles por línea de producto. Uno de los intereses de mayor prioridad en TyP de Mabe es el desarrollo de electrodomésticos energéticamente eficientes. A raíz de este interés y con el apoyo del área de Patentes como del área de Innovación de la misma empresa, se investigó sobre las patentes que hacen referencia a sistemas de deshielo de evaporadores en refrigeración y nos concentramos en aquellas que nos ayudaran a sustituir la resistencia eléctrica de deshielo por algún sistema de menor consumo energético.

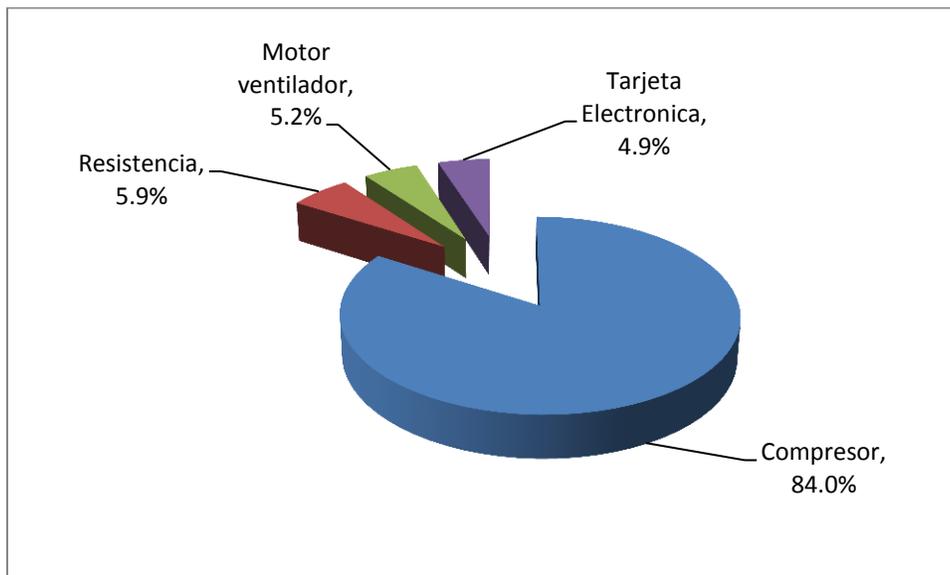
Las patentes encontradas están vencidas y por tanto son de dominio público, lo que permite el libre uso de la idea. Debido a lo anterior, se decidió adaptar y desarrollar esas ideas en uno de los refrigeradores que Mabe produce.

En esta tesis se propone un sistema de aspersión de agua sobre el evaporador con el objetivo de eliminar la escarcha que se genera sobre la superficie del evaporador durante el funcionamiento del sistema de refrigeración. Este sistema aprovecha la generación de calor de componentes del mismo refrigerador, como el compresor, para elevar la temperatura del agua que se utiliza en la aspersión. La temperatura del agua se eleva ligeramente por encima de la temperatura ambiente y funde la escarcha del evaporador más rápidamente. Esta propuesta elimina la escarcha del evaporador principalmente por transferencia de calor conductiva que a diferencia del sistema actual o línea base, elimina la escarcha del evaporador al transferir calor principalmente de manera convectiva.

La cantidad de escarcha que existe sobre la superficie del evaporador varía dependiendo principalmente de tres factores. Estos son: la humedad del lugar donde se encuentra el refrigerador, el tiempo que permanecen abiertas las puertas del refrigerador durante su funcionamiento, y el tipo de alimento que hay en su interior. Existen casos donde se llega a generar hasta 300 gramos de escarcha sobre el evaporador, dicha escarcha se encuentra a una temperatura promedio de  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Debido a que el sistema de deshielo consume el 5.9% del consumo de energía total del refrigerador y es el segundo contribuidor de consumo de energía después del compresor (84.0%); la propuesta desarrollada en este trabajo se enfoca en sustituir la resistencia eléctrica por componentes con menor gasto de energía.

A continuación se presenta en la figura 3 una gráfica con los componentes eléctricos y su respectivo de consumo de energía del refrigerador.



**Fig. 3 Porcentaje de contribución energética de los principales componentes eléctricos del refrigerador.**

La idea de un sistema de aspersión de agua para el deshielo se fue fortaleciendo y adaptando a través de reuniones que incluían a expertos en refrigeración y en diseño del mismo TyP de Mabe. En estas reuniones se generaron diversas lluvias de ideas que robustecieron la idea original, adaptándola a los refrigeradores que hoy son producidos por Mabe. Se trataron temas como calentamiento de agua, aspersión, congelamiento, escurrimientos, sistemas de bombeo y contenedores de agua. Se fueron revisando ideas totalmente nuevas con capacidad de integrarse a conceptos análogos, que ya existan y solucionen problemáticas similares.

De las reuniones mencionadas se seleccionaron aquellas ideas con mayor potencial en ahorro de energía y capacidad de manufactura. Con esta selección se obtuvo una primera

concepción del prototipo y se inició con el diseño. Se consideró el refrigerador de línea base que se tomaría de referencia para la construcción del prototipo. Las consideraciones básicas son espacios, tamaños y materiales disponibles en el refrigerador de referencia, así como las máquinas y herramientas disponibles para la fabricación del prototipo y finalmente un presupuesto que no estaba limitado pero había que cuidar, analizar y justificar cualquier gasto al mismo. Se compraron aquellos componentes que ya existen en el mercado y no había necesidad de fabricar, para que con ellos y las herramientas disponibles se adecuaran a un refrigerador de referencia para fabricar el prototipo.

### **3.2. Diseño y fabricación del prototipo**

Para la construcción del prototipo se tomó un refrigerador de producción actual marca Mabe de 15 pies cúbicos del tipo refrigerador-congelador de deshielo automático con el congelador montado en la parte superior y sin despachador de hielo. Se realizaron diferentes modificaciones a este refrigerador que comprende retirar algunos de los componentes actuales de la unidad y agregar componentes nuevos que no existen para provocar deshielos de la escarcha formada sobre el evaporador con la aspersion de agua caliente. A continuación se enlistan aquellos componentes actuales que se retiraron:

- La resistencia eléctrica de deshielo que va debajo del evaporador.
- El arnés (los cables) que alimenta a la resistencia eléctrica.
- Los protectores térmicos que van en el arnés y que protegen de un sobrecalentamiento causado por la resistencia.
- Las 4 hojas (*foils*) de aluminio que protegen a los componentes plásticos de la elevación de temperatura causada por la resistencia.

Una vez eliminados estos componentes, se agregaron nuevos componentes y se hicieron modificaciones que se describen a continuación:

Se realizaron ocho barrenos en el respaldo del refrigerador en una secuencia horizontal, de tal manera que al interior del congelador quedarán ubicados justo por arriba del evaporador.

Se utilizó manguera de 3/16" de diámetro que se utiliza en sistemas de micro aspersion para el riego de jardines. Se introdujeron ocho tramos de esta manguera por los barrenos hechos en el respaldo del refrigerador. Los tramos se cortaron a diferentes longitudes de tal manera que sus extremos quedarán justo por encima del evaporador.

Se colocó un micro aspersor de agua para jardín en cada uno de los extremos de las mangueras al interior del refrigerador para abrir el abanico de agua y cubrir la mayor área posible del evaporador. Se colocó un micro aspersor con apertura en su abanico de agua



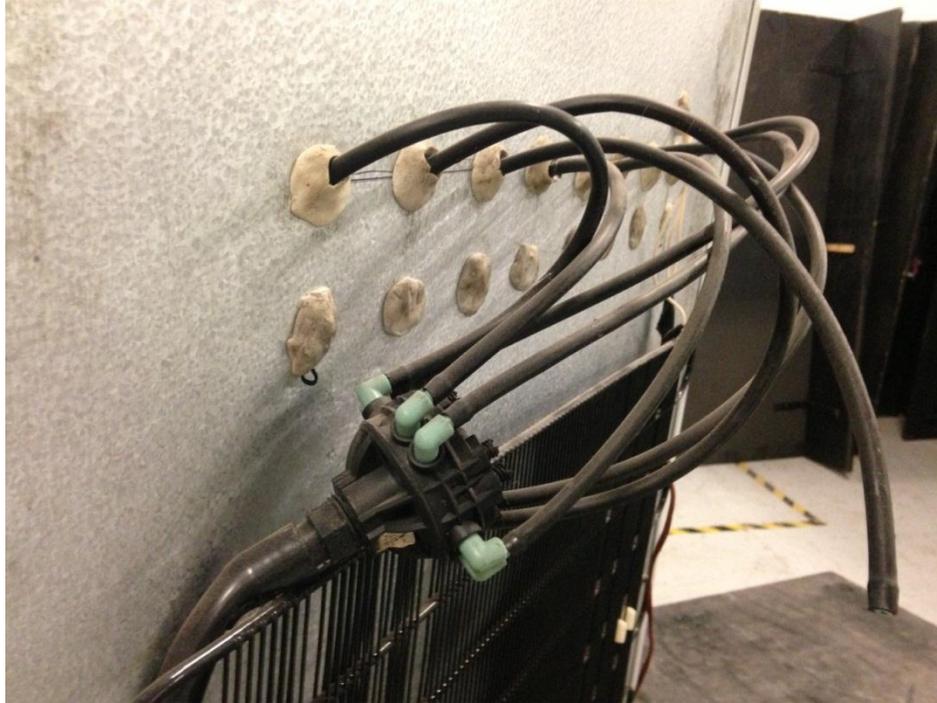
de 90°. En las figuras 4 y 5 se muestra uno de los micro aspersores de agua que se distribuyen comercialmente con la marca "Orbit" para riego automático de jardines.

**Fig. 4** Imagen del micro aspersor para jardín marca "Orbit" con apertura en el abanico de aspersión de agua de 90°.



**Fig. 5** Imagen del micro aspersor operando normalmente en el riego de jardines.

Se colocó por fuera del respaldo del refrigerador un distribuidor (*manifold*) de plástico, tal como se muestra en las figuras 6 y 7. Este distribuidor tiene una entrada para manguera de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro y tiene ocho salidas de  $\frac{3}{16}$ " de diámetro, en cada una se conectó una de las mangueras de sistemas de micro aspersión para riego de jardines, arriba mencionadas.



**Fig. 6** Imagen del distribuidor de agua ubicado en el respaldo del refrigerador. Se muestra la manguera de entrada de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro y las 8 salidas con manguera de  $\frac{3}{16}$ " de diámetro.



**Fig. 7** Ubicación del distribuidor (*manifold*) con cabezal de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro a la entrada y ocho bifurcaciones con manguera de  $\frac{3}{16}$ " de diámetro. Éste se encuentra en la parte alta del respaldo del refrigerador.

Se conectó una manguera de  $\frac{1}{2}$ " a la entrada del distribuidor (*manifold*) y se guió por el condensador del refrigerador de la parte superior del mismo a la parte inferior hasta donde se encuentra la charola de evaporación junto al compresor del refrigerador, tal como se muestra en la figura 8.

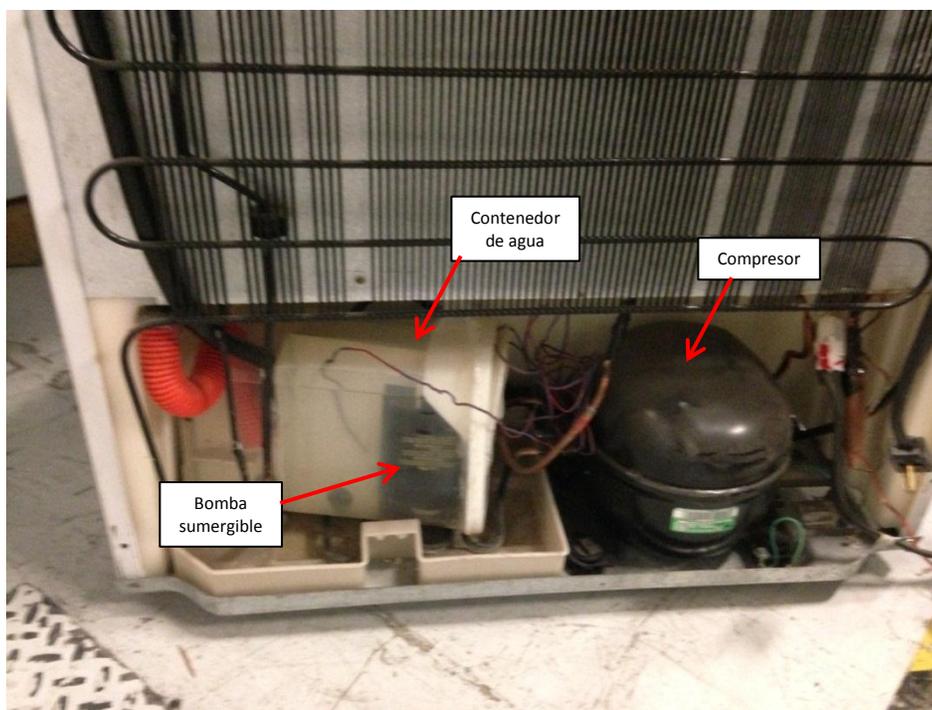


**Fig. 8 Imagen del respaldo completo del refrigerador prototipo con parte del sistema de aspersión de agua para descongelar el evaporador.**

Se diseñó y construyó un contenedor de agua “semi-hermético” utilizando una jarra de plástico con capacidad de 1 galón de agua. Este contenedor se colocó sobre el intercambiador de calor a la salida del compresor y dentro de la charola de evaporación del refrigerador. Se seleccionó esta ubicación porque en dicho lugar existe espacio disponible, y en segundo lugar, este contenedor se ubica junto a componentes, como el compresor, que se calientan por encima de la temperatura ambiente. Esta cercanía del contenedor con componentes “calientes” produce un calentamiento en el agua al interior del mismo contenedor. Se registró una elevación de temperatura de dicha agua de hasta 2°C sobre la temperatura ambiente; este calentamiento del agua utilizada en el sistema de aspersión, hace más eficiente el proceso de deshielo del evaporador. Este contenedor de agua es “semi-hermético” dado que por su diseño se evitan los derrames de agua si se inclina o incluso se recuesta el refrigerador sobre uno de sus costados; sin embargo, si es demasiada agua la que este contenedor recibe de los deshielos del evaporador entonces

tiene un vertedero para que el exceso de agua salga a la charola de evaporación y ésta se evapore a través del mismo proceso que hoy siguen los refrigeradores de producción actual, esto es, en el espejo de agua que se forma en la charola y con la ayuda del intercambiador de calor que se encuentra en la misma charola. El intercambiador de calor contiene flujo del refrigerante caliente que sale del compresor y con ayuda de ese calor se evapora el agua de la charola de evaporación.

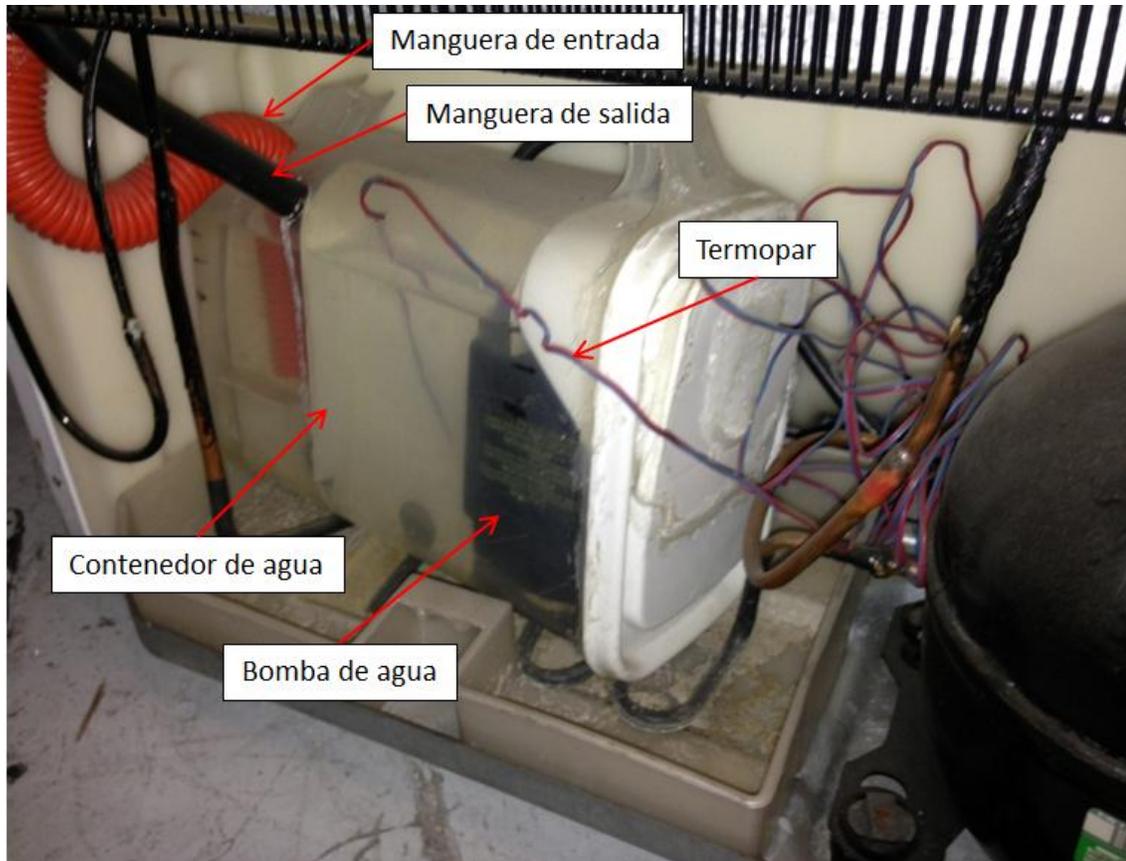
Se adquirió una bomba de agua sumergible de 40.0W para elevar el agua del contenedor a los aspersores de agua por arriba del evaporador. Esta bomba se colocó al interior del contenedor de agua y se le conectó la manguera de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro que sube el agua al distribuidor (*manifold*), de ahí a las mangueras con los micro aspersores que se encuentran por encima del evaporador. En la figura 9 se muestra el detalle del contenedor de agua sobre la charola de evaporación y junto al compresor, dentro del contenedor de agua se observa la bomba sumergible.



**Fig. 9** Imagen de la ubicación del contenedor de agua sobre la charola de evaporación y junto al compresor. Al interior del contenedor se observa la bomba sumergible.

Se colocó un cableado de la tarjeta electrónica principal a la bomba para suministrar energía eléctrica cada vez que el sistema (lógica y control electrónico del refrigerador) requiere hacer un deshielo del evaporador.

Los refrigeradores de producción actual tienen una manguera que conduce el agua de deshielo del evaporador hacia la charola de evaporación, el agua dentro de esta charola se evapora al ambiente con ayuda del calor de los componentes cercanos como el compresor y el intercambiador de calor al interior de la charola. En el refrigerador prototipo la manguera que conduce el agua de deshielo también recibe el agua que es rociada sobre el evaporador por el sistema de aspersión, en el prototipo ésta es la manguera de entrada al contenedor. El prototipo utiliza el sistema de evaporación en la charola sólo cuando el agua al interior del contenedor de agua excede un nivel máximo de agua. El contenedor tiene una manguera de salida de  $\frac{1}{2}$ ", que es la manguera que conduce el agua del contenedor al sistema de aspersión sobre el evaporador. Para las pruebas se colocó un termopar para monitorear la temperatura del agua dentro del contenedor. En la figura 10 se muestra el contenedor de agua con las mangueras de entrada y salida de agua, así como el termopar. Este sensor de temperatura se colocó solo con fines de evaluar el desempeño del prototipo y es un componente que debe eliminarse para la producción en serie del refrigerador prototipo.



**Fig. 10** Imagen del contenedor de agua, se muestra la manguera de color negro y de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro que es la manguera de salida de agua del contenedor y se muestra la manguera color naranja que es la manguera de entrada de agua al contenedor. Esta manguera naranja regresa el fluido del sistema de aspersión más los escurrimientos del deshielo del evaporador.

En la figura 11 se muestra una imagen completa del respaldo del refrigerador prototipo.



Fig. 11 Imagen del respaldo completo del refrigerador prototipo.

### 3.3. Evaluaciones previas y mejoras del prototipo

Una vez que se concluyó con la fabricación de la primera iteración del refrigerador prototipo se decidió evaluar su desempeño general. Se realizaron como referencia las mismas pruebas a un refrigerador sin modificar, denominado de línea base. En TyP se tienen definidas pruebas básicas de funcionamiento general.

En estas pruebas se requiere monitorear diferentes variables del refrigerador como lo son temperatura y variables eléctricas como voltaje de alimentación al refrigerador, corriente, potencia y consumo de energía; así como conocer en que momento opera el compresor y en que momento opera la resistencia de deshielo. Cabe señalar, que regularmente en todos los refrigeradores domésticos que se fabrican, tanto el compresor como la

resistencia de deshielo se prenden (energizan) y se apagan en ciclos definidos pero nunca simultáneamente.

Para monitorear las variables mencionadas se colocan diferentes sensores a los dos refrigeradores, estos sensores se conectaron a un sistema de adquisición automática de datos. Estos sensores son: termopares para la adquisición de temperaturas; así como transductores de variables eléctricas como voltaje de alimentación a la unidad; corriente, potencia y consumo de energía de la unidad; así como un arreglo de relevadores y un módulo de entradas digitales en el compresor y otro en la resistencia de deshielo para monitorear si están encendidos (energizados) o apagados.

Una vez instrumentados ambos refrigeradores se encontró que el refrigerador de línea base funcionaba adecuadamente y se confirmaron los datos que se conocen de potencia de compresor y de resistencia de deshielo, tiempo de trabajo de compresor y tiempo de trabajo de resistencia de deshielo, así como frecuencia entre deshielos. Sin embargo, para el refrigerador prototipo con deshielo con agua se encontraron dos problemas iniciales que requirieron ciertas mejoras.

En el prototipo se encontró que la bomba de agua operaba más tiempo del necesario. Esto se debía a que la tarjeta electrónica principal del refrigerador mandaba activar a la bomba el mismo tiempo que activaba la resistencia eléctrica de deshielo. Esto nos llevó a modificar el programa (*software*) de la tarjeta electrónica del refrigerador, reduciendo los tiempos de deshielo para la bomba. Se realizaron unas evaluaciones sencillas donde se escarchó el evaporador del refrigerador prototipo y haciendo operar el sistema de deshielo por aspersión de agua se verificó el tiempo necesario para limpiar totalmente de escarcha el evaporador. Se encontró, como se indica en el capítulo 2.3 de esta tesis, que 3.0 minutos de funcionamiento del sistema de aspersión de agua eran suficientes para garantizar la limpieza total de hielo y escarcha del evaporador. Esto implicó modificar el programa de la tarjeta de control del refrigerador prototipo para mantener funcionando la bomba de agua solo por 3.0 minutos durante cada deshielo.

Una vez superado el primer problema, se volvió a energizar el refrigerador prototipo dejándolo funcionando por varios días. Se encontró que conforme pasaban los días y después de cada proceso de deshielo permanecía cada vez mayor cantidad de escarcha en el evaporador. Se desensamblaron los componentes del evaporador y del sistema de aspersión para encontrar la causa raíz de esta falla, analizar las posibles soluciones y evitar que la falla se volviera a repetir. Se encontró que las boquillas de los micro aspersores que van en las mangueras al final del sistema de aspersión se tapaban gradualmente con hielo lo que provocaba que conforme pasaba el tiempo hubiera menos mangueras realizando la

aspersión de agua sobre el evaporador, lo que evitaba que el evaporador quedara limpio de escarcha, por lo que ésta iba creciendo sobre el evaporador.

Al analizar la falla mencionada y buscando la causa raíz de la misma, se dedujo que después de cada deshielo se quedaba, en un proceso de escurrimiento, una gota de agua en la punta de los micro aspersores. Estas gotas de agua se congelaban conforme el congelador se enfriaba nuevamente y generaban un tapón de hielo que obstruía la salida de agua de los micro aspersores.

Se realizaron unas pruebas donde se eliminaron los micro aspersores. Estas pruebas resultaron en nuevos taponamiento de hielo por gotas congeladas en las puntas de las mangueras del sistema de deshielo por aspersión de agua. Además, se encontró un problema adicional donde el evaporador no quedaba totalmente limpio de escarcha al final de cada ciclo de deshielo. Esto se debía a que la salida de agua por las mangueras del sistema de deshielo salía en forma de hilo concentrado (chorro) y no en forma de un abanico abierto. Dichas salidas de agua en forma de hilos concentrados ocasionaron la limpieza parcial de escarcha del evaporador solo en las zonas donde el agua golpeaba. Se consideró como una mejora el energizar con pulsos eléctricos el motor ventilador del evaporador para que por vibración se ayudara al proceso de escurrimiento del sistema de aspersión como del evaporador eliminando las gotas. Aunque esta mejora reducía la cantidad de gotas presentes al final del deshielo no las eliminaba por completo por lo que se buscó una solución adicional.

Se diseñaron unos aspersores *ad-hoc*, tipo aletas triangulares, que abrieran el abanico de agua a la salida de las mangueras y que limpiarán los excedentes de agua al interior de las mismas mangueras para evitar congelamientos y taponaduras de hielo. Estos aspersores son elementos triangulares de lámina metálica y forrados con tela con carga de algodón, como se muestra en la figura 12. Su forma triangular ayuda a que, durante la etapa de deshielo, el abanico de agua abra y abarque la mayor área posible del evaporador, eliminando la escarcha del mismo y haciendo más eficiente cada ciclo de deshielo. La tela en el elemento triangular ayuda a limpiar cualquier residuo de agua, ya que por capilaridad cualquier gota en las mangueras es absorbida por la tela. Se dejó funcionando por quince días el sistema con estos aspersores sin que la falla de taponamiento de mangueras por agua congelada se repitiera. A continuación se muestra uno de los aspersores diseñados con lámina metálica y forrados con tela. En la figura 13 se muestra el sistema de deshielo con los aspersores montados a cada manguera y salida de agua.



**Fig. 12** Imagen del aspersor diseñado, con lámina de metal y tela, para el refrigerador prototipo con deshielo con agua.



**Fig. 13** Imagen del sistema de aspersión para el prototipo con deshielo con agua. Se muestran los aspersores diseñados que evitan el bloqueo con agua congelada.

A continuación se muestra una serie de imágenes del sistema de deshielo por aspersión de agua en funcionamiento. Se muestra el proceso de deshielo de manera secuencial desde la figura 14 hasta la figura 20.



**Fig. 14** Imagen del congelador con el evaporador de aluminio en forma de serpentín al centro de la imagen. Encima del evaporador se muestran las mangueras y los triángulos forrados de tela del sistema de aspersión de agua para el deshielo. En esta imagen el sistema de aspersión de agua se encuentra apagado. El evaporador generalmente se encuentra oculto a la vista del usuario y se cubre con la tapa evaporador que se aprecia en todo el costado izquierdo de la imagen. En esta imagen el evaporador se encuentra limpio y libre de escarcha sobre su superficie.



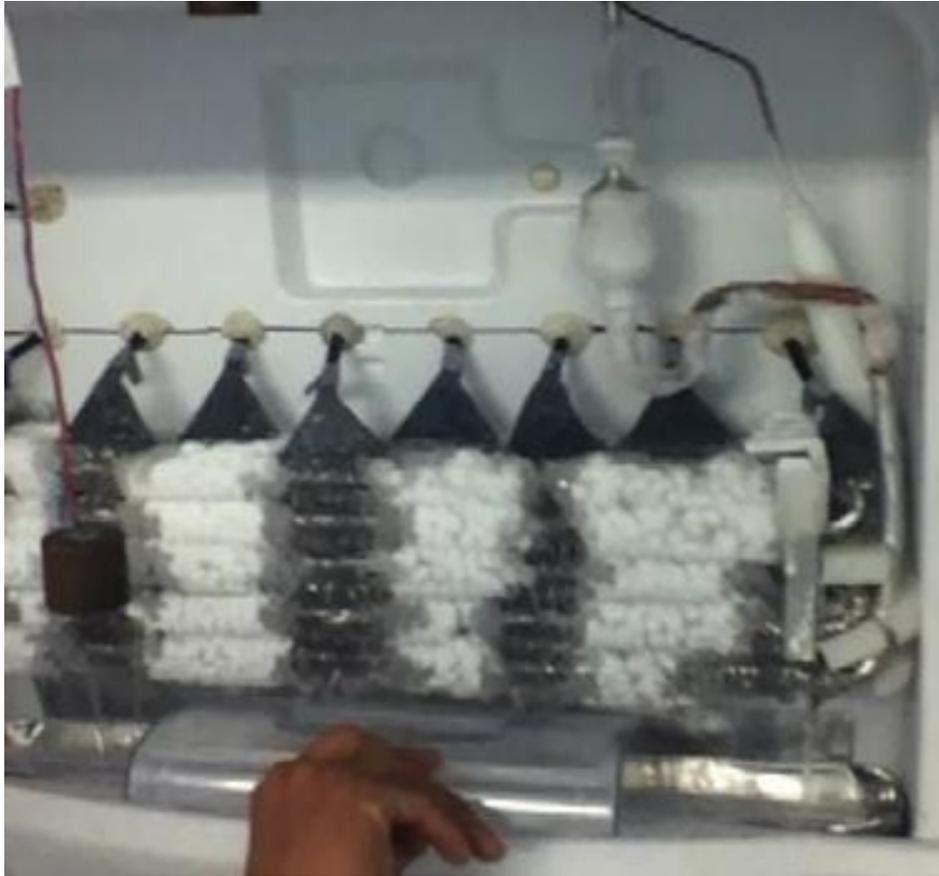
**Fig. 15 Vista frontal del evaporador “frío”, es decir, con el sistema de refrigeración funcionando. El evaporador se encuentra limpio y libre de escarcha. El sistema de aspersión de agua se encuentra apagado.**



**Fig. 16 Refrigerador prototipo con sistema de deshielo por aspersión de agua. Se muestra el evaporador completamente cubierto por escarcha. La tapa del evaporador que normalmente cubre al evaporador se encuentra desmontada para apreciar el funcionamiento del sistema de deshielo por aspersión de agua. La tapa evaporador se encuentra por fuera y en la parte superior del refrigerador. En esta imagen el sistema de deshielo por aspersión de agua se encuentra apagado y listo para iniciar a remover la escarcha del evaporador.**



**Fig. 17 Vista frontal del evaporador completamente cubierto por escarcha. El sistema de deshielo por aspersion de agua se encuentra apagado y también cubierto parcialmente por escarcha.**



**Fig. 18** Imagen del sistema de deshielo por aspersión de agua después de 10 segundos de funcionamiento. Se muestra como se ha removido una parte de la escarcha de la superficie del evaporador.



**Fig. 19** Imagen del sistema de deshielo por aspersión de agua después de 60 segundos de funcionamiento. Se muestra como se ha removido más del 50% de la escarcha de la superficie del evaporador.



**Fig. 20** Imagen del sistema de deshielo por aspersión de agua después de 120 segundos de funcionamiento. Se muestra como se ha removido por completo la escarcha de la superficie del evaporador.

## **4. Comparación del desempeño del refrigerador de línea base con el refrigerador prototipo**

Una vez que el refrigerador prototipo con deshielo por aspersión de agua funcionaba correctamente se realizaron diversas evaluaciones para comparar el desempeño del refrigerador de línea base con el del refrigerador prototipo. Las evaluaciones seleccionadas para realizar esta comparación fueron tanto procedimientos internos de evaluación, como procedimientos normalizados. Los procedimientos internos son evaluaciones de verificación de funcionamiento general y evaluaciones de uso extremo donde se verifica el funcionamiento de las unidades en un ambiente extremo de temperatura caliente y humedad relativa elevada (hasta 83% de H.R.). Los procedimientos normalizados son las evaluaciones de consumo de energía bajo la norma NOM-015-ENER-2002.

### **4.1. Evaluaciones de funcionamiento general**

El primer paso previo a iniciar las evaluaciones del refrigerador de línea base y el refrigerador prototipo con deshielo por aspersión de agua es instrumentarlos con los sensores necesarios para adquirir valores de temperatura y de variables eléctricas. Una vez instrumentados, se ingresaron a la cámara térmica donde se controla el ambiente (temperatura y humedad) para garantizar las mismas condiciones en todas las pruebas. Al interior de esta cámara térmica se tienen estaciones de prueba que tienen un sistema automático de adquisición de datos donde se monitorean y miden hasta treinta y dos puntos de temperatura, cuatro variables eléctricas y dos señales de entrada de funcionamiento de resistencia de deshielo y compresor. Estas treinta y ocho variables del refrigerador, junto con la temperatura y la humedad del ambiente de la cámara térmica, se monitorean y se graban cada 10 segundos durante la duración de cada prueba, a través del sistema de adquisición automática de datos.

El mismo sistema de adquisición de datos también sirve de control, con él se energizaron los refrigeradores a 115V y se adquirieron datos durante al menos tres días de prueba. En estas evaluaciones de funcionamiento general se revisan los tiempos de trabajo de compresor y las temperaturas de trabajo de ambos compartimentos de los refrigeradores bajo prueba, el tiempo de trabajo de la resistencia de deshielo en el refrigerador de línea base, como el tiempo de trabajo de la bomba de agua para el refrigerador prototipo con deshielo por aspersión de agua, la potencia de trabajo de los principales componentes eléctricos de ambos refrigeradores, así como la frecuencia entre ciclos de deshielo de los

refrigeradores bajo prueba. El resultado de estas pruebas sirve solamente para verificar que los valores obtenidos están dentro del rango esperado.

Es importante aclarar el funcionamiento de la lógica de control de los refrigeradores bajo prueba. Tanto el refrigerador de línea base como el refrigerador prototipo tienen la misma lógica de control solo con pequeñas excepciones que se mencionan más adelante.

La tarjeta electrónica del refrigerador permanece energizada eléctricamente y funcionando a su capacidad total durante todo el tiempo mientras los refrigeradores estén energizados y bajo prueba; la potencia promedio por la tarjeta es de 0.5W.

La tarjeta electrónica y un sensor de temperatura oculto en el techo del compartimento del refrigerador (*Fresh Food*) controlan el encendido del compresor. Cuando la perilla de control de temperatura está en posición media, el compresor se energiza cuando el sensor de temperatura en el refrigerador mide 5°C y se apaga cuando mide 3°C. Una vez que el refrigerador alcanza un estado térmico estacionario, el compresor opera en ciclos de operación donde permanece energizado un promedio de 32.0 minutos (54% de cada ciclo) y permanece apagado 27.0 minutos (46% de cada ciclo). Estos tiempos de operación y de descanso del compresor varían dependiendo del control de temperaturas que el usuario solicite con las perillas. Uno de los elementos internos del compresor es un motor eléctrico que bombea refrigerante en un circuito cerrado. La carga inductiva del motor tiene una potencia variable bajo operación; tiene un pico de potencia al arrancar y va decreciendo en forma exponencial. El compresor en promedio tiene un consumo de 93.0W.

Detrás de la cubierta del evaporador y dentro del congelador, se encuentra un motor ventilador. Este motor opera siempre al mismo tiempo que el compresor. Este motor tiene una potencia de 7.0W.

El sistema de deshielo siempre opera cada 8 horas de trabajo del compresor. Cuando el sistema de deshielo opera, tanto el compresor como el motor ventilador de la cubierta evaporador se encuentran apagados. Para el caso del refrigerador de línea base, el sistema de deshielo está basado en la resistencia eléctrica que opera por 11.0 minutos con una potencia de 259.5W; mientras que para el refrigerador prototipo el sistema de deshielo está basado en la bomba de agua que opera por 3.0 minutos con una potencia de 39.5W.

Cuando se realiza una evaluación de los refrigeradores, éstos se ingresan a un cuarto (cámara térmica) con temperatura y humedad controladas y se conectan a tableros con equipos automatizados que miden voltaje, corriente, potencia, consumo de energía y hasta treinta y dos diferentes puntos de temperatura de cada refrigerador bajo prueba. Al

interior de cada cámara térmica se tienen hasta ocho estaciones de prueba. Se le llama “Sistema de Adquisición de Datos”, SAD, al conjunto de equipos y programas computacionales (*hardware y software*) que de manera automática mide las variables mencionadas. El SAD arroja como salida un archivo con formato de hoja de cálculo (*Excel*)



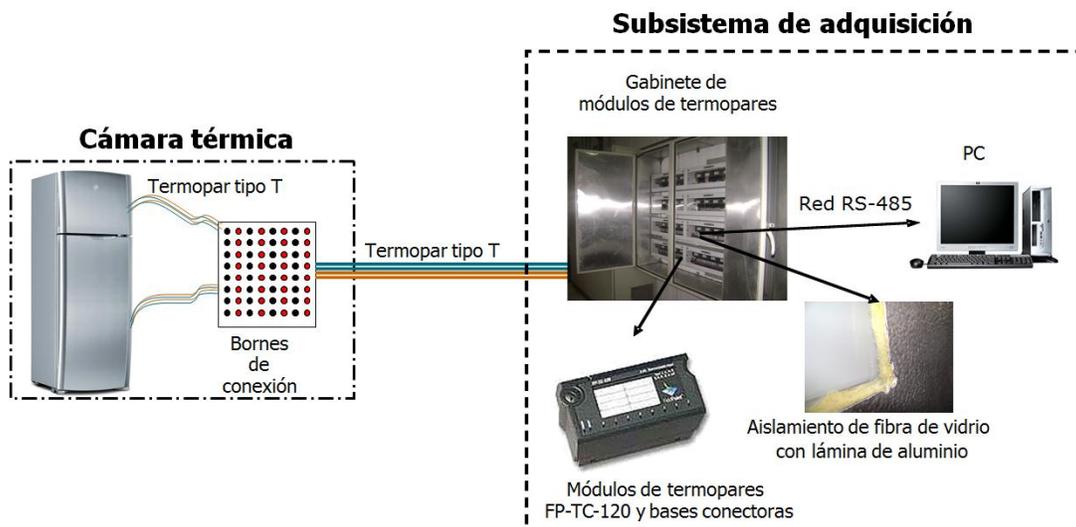
con todas las mediciones mencionadas. A este archivo se le conoce como “Datos crudos” [*Raw data*]. En las figuras 21 y 22 se muestran imágenes de una cámara térmica.

**Fig. 21 Vista externa de una de las cámaras térmicas donde se realizan evaluaciones como la de consumo de energía para México bajo la NOM-015-ENER-2002.**



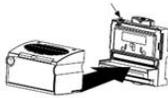
**Fig. 22** Vista interna de una de las cámaras térmicas. En la pared se aprecian tres de las ocho estaciones de prueba que se tienen habilitadas con capacidad de medir simultáneamente hasta 32 temperaturas y variables eléctricas de cada refrigerador bajo prueba.

En las figuras 23 y 24 se muestra la configuración del sistema de adquisición de datos para temperatura. Para energía el esquema es similar y los equipos utilizados se muestran en el cálculo de incertidumbre que se encuentra en los anexos de esta tesis.



**Fig. 23** Esquema del sistema de adquisición de datos para temperatura de la cámara térmica



Imagen	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Módulo y base marca "National Instruments"</li> <li>Modelo: FP-TC-120</li> <li>Modelo: FP-TB-1</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nodo de red marca "National Instruments"</li> <li>Modelo: RS-485</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fuente de alimentación marca "Weidmuller"</li> <li>Modelo: CP-SNT-70W-24V-3A.</li> </ul>
	Cable termopar tipo "T" Composición: <ul style="list-style-type: none"> <li>Cobre</li> <li>Constantán</li> </ul>

**Fig. 24 Equipos que se utilizan para la medición de temperatura al interior de las cámaras térmicas**

Dentro del laboratorio se tiene un signatario autorizado por EMA para que calcule y actualice anualmente los cálculos de incertidumbre de los métodos de prueba donde se consideran todos los equipos involucrados en el sistema de medición. Para temperatura se tiene una incertidumbre de medición de  $\pm 0.84^{\circ}\text{C}$  y para energía  $\pm 0.3\%$  del valor obtenido en Wh. En los anexos de esta tesis se agregan los formatos oficiales y aprobados por EMA para cálculos de incertidumbre de temperatura y energía. Estos formatos se entregan junto con reporte de resultados a los clientes que solicitan evaluación e incertidumbre de la medición.

Tanto las pruebas de funcionamiento general como las de consumo de energía se realizan con las puertas de los refrigeradores (*Fresh Food*) y congeladores (*Freezer*) cerradas y sin carga térmica en su interior. Los refrigeradores bajo prueba se dejan con el SAD operando por etapas; cada etapa dura por lo menos tres días. Esto produce archivos de salida del SAD con alrededor de 500,000 datos; los cuales se graban, para el objetivo de esta tesis, en lotes de 17 variables por renglón, un total de 32,500 renglones y cada lote de 17 variables se graba cada 10 segundos.

En la figura 25, se muestra una gráfica de la potencia [W] y temperaturas del refrigerador de línea base [ $^{\circ}\text{C}$ ] como función del tiempo [s]. Esta es una prueba de 284,000 segundos [3.3 días].

En color azul se observa la potencia del refrigerador y de acuerdo al funcionamiento de la lógica de control antes mencionada, es posible observar los ciclos donde opera el compresor (93.0W), el motor ventilador (7.0W) y la tarjeta electrónica del refrigerador (0.5W), cada uno de estos ciclos tiene la forma exponencial mencionada con un promedio de consumo de 100.5W. Se observa que aproximadamente cada catorce ciclos de encendido del compresor se produce un encendido de la resistencia eléctrica de deshielo (260.0W los cuales incluyen la potencia de 0.5W de la tarjeta electrónica). Es de notar que el período de encendido del compresor es más largo después de cada proceso de deshielo de la resistencia eléctrica.

En líneas punteadas se observan las temperaturas del congelador [FZ1, FZ2 y FZ3] y en líneas sólidas se muestran las temperaturas del compartimento refrigerador [FF1, FF2 y FF3]. Es fácil observar un calentamiento de todas las temperaturas durante cada proceso de deshielo. En esta gráfica se observan cinco procesos de deshielo.

En adelante y para los casos de las pruebas de consumo de energía se tomarán solo los datos de la gráfica que se encuentran del inicio de un ciclo de deshielo al próximo ciclo de deshielo como se muestra en el rectángulo color rojo de la figura 25. Se tomará como tiempo de inicio de la prueba [ $t = 0$  segundos] el momento de inicio de un ciclo de deshielo.

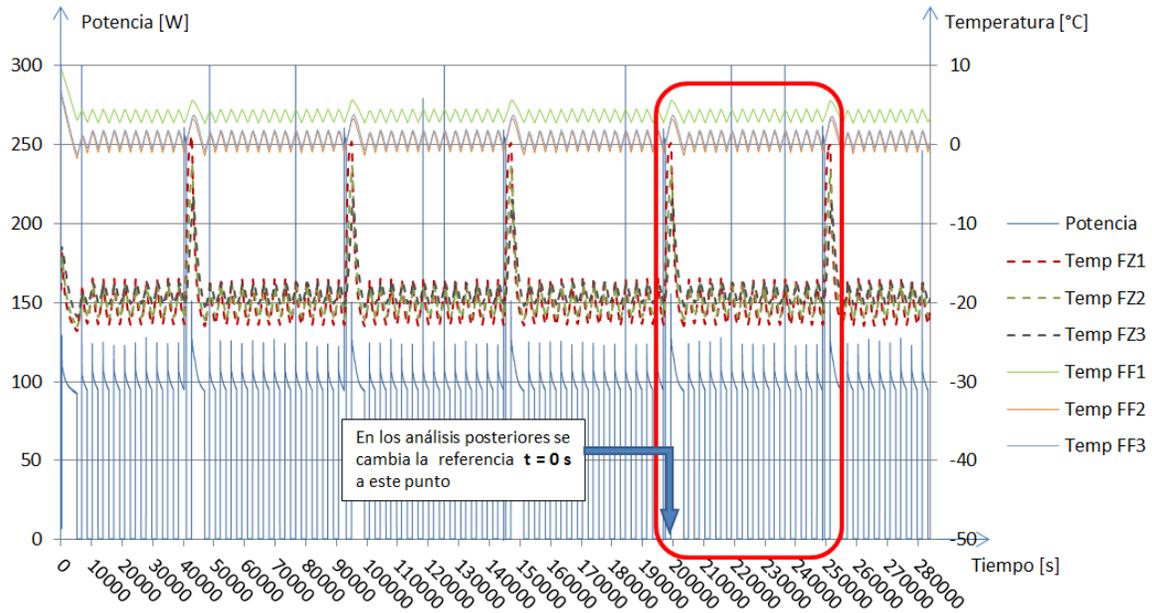


Fig. 25 Gráfica de los datos crudos del refrigerador de línea base bajo una de las pruebas de evaluación de funcionamiento general. En el eje “x” se encuentra el tiempo en segundos, en el eje “y” del lado izquierdo se encuentra la potencia en watts del refrigerador y en el eje “y” del lado derecho se encuentra la temperatura en grados Celsius de los sensores en el congelador [FZ1, FZ2 y FZ3] y en el refrigerador [FF1, FF2 y FF3].

## 4.2. Evaluaciones de consumo de energía bajo la NOM-015-ENER-2002

Posteriormente se realizaron evaluaciones de consumo de energía de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-015-ENER-2002, para el refrigerador con el sistema de deshielo convencional, es decir, con resistencia eléctrica como elemento calefactor, llamado Línea Base y para el prototipo de deshielo por aspersion de agua, llamado Prototipo. Antes de mostrar los resultados de estas pruebas, se presenta un resumen de la norma, con el fin de facilitar la comprensión de los resultados. La norma completa se incluye en el Anexo A.

### 4.2.1. Resumen de la norma NOM-015-ENER-2002

La NOM-015-ENER-2002. Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado, es la norma oficial mexicana para determinar el consumo de energía eléctrica en refrigeradores y congeladores de uso doméstico. Recientemente entró en vigencia la versión 2012 que tiene unos pequeños cambios en las consideraciones de los cálculos como en algunas definiciones. Se utiliza la

versión 2002 dado que las evaluaciones de este trabajo se iniciaron antes que se liberara la versión 2012.

En esta norma se define el método de prueba donde en primer lugar se debe identificar qué tipo de refrigerador se está evaluando. En este caso se evalúa un refrigerador clasificado en el punto 3 de la Tabla 1 de la norma “Límites de consumo de energía máximos para refrigeradores y congeladores”, página 9, como refrigerador-congelador de deshielo automático con congelador montado en la parte superior y sin despachador de hielo. En este tipo de refrigeradores las evaluaciones tienen ciclos normales completos del motorcompresor e inician con condiciones térmicas estacionarias (denominadas en la norma como estabilizadas).

La evaluación se realiza con puertas de refrigerador y congelador cerradas sin carga térmica en ninguno de los dos compartimentos. El refrigerador se coloca (de acuerdo al inciso 9.6.2 de la página 13 de la norma) dentro de un ambiente de 90°F (32.2°C +/-0.6°C).

Los termopares se colocan en unas masas de cobre para reducir las fluctuaciones, se colocan tres dentro del compartimiento del refrigerador y tres dentro del compartimiento del congelador, en las posiciones mostradas en la figura 26.

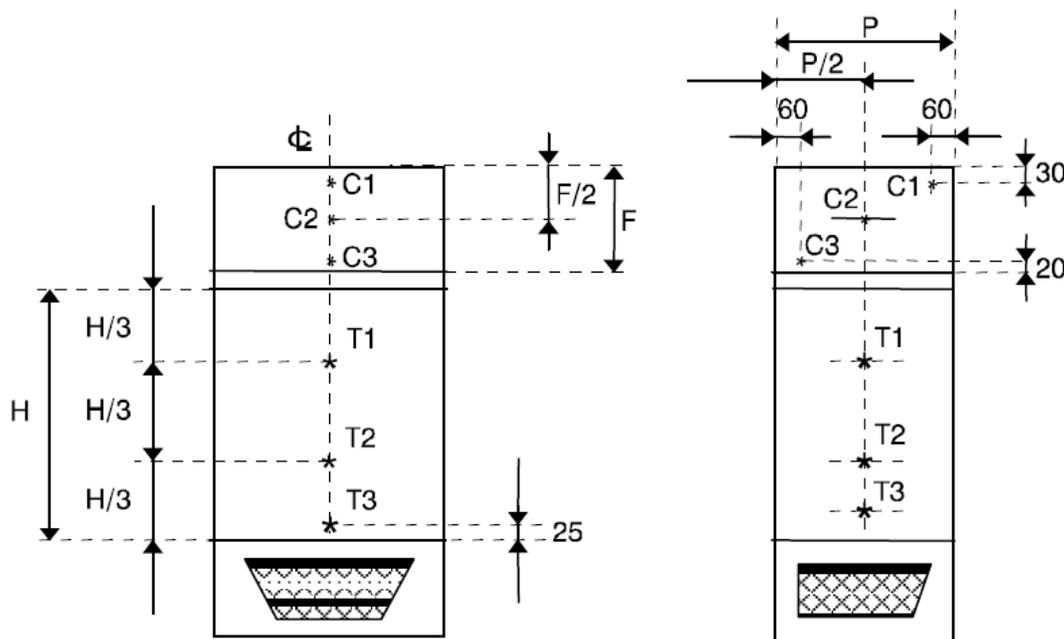


Fig. 26 Colocación de los sensores de temperatura en refrigeradores-congeladores con el congelador montado en la parte superior. T1, T2 y T3 dentro del compartimiento del refrigerador y C1, C2 y C3 dentro del compartimiento del congelador (figura 29, página 51 de la NOM-015-ENER-2002).

Generalmente se realizan dos pruebas de consumo de energía en diferentes niveles de temperatura. La primera prueba se realiza con el nivel de temperatura del refrigerador en la posición media y la segunda prueba se realiza en la posición mínima o máxima, dependiendo del resultado de la primera prueba. Los controles de temperatura se manipulan de acuerdo al inciso 9.12.2 de la página 20 de la NOM-015-ENER-2002. Al finalizar la primera prueba se calcula el promedio de C1, C2 y C3 durante el periodo de prueba que se registren ciclos completos del compresor. Este cálculo se realiza de acuerdo al segundo párrafo del inciso 9.12.3 de la página 20 de la NOM-015-ENER-2002. Dicho promedio,  $\bar{C}$ , se compara con  $-15^{\circ}\text{C}$ , que es la temperatura de referencia para un refrigerador-congelador. Si  $\bar{C}$  es menor a  $-15^{\circ}\text{C}$ , entonces la segunda prueba se realiza con el nivel de temperatura en la posición mínima. En cambio, si dicha temperatura es mayor a  $-15^{\circ}\text{C}$ , entonces se selecciona la posición de temperatura máxima del refrigerador.

Las dos pruebas arriba mencionadas se inician una vez alcanzado un estado térmico estacionario descrito en el inciso 4.11, página 6 de la NOM-015-ENER-2002.

Para cualquiera de las dos pruebas mencionadas, la prueba inicia en cuanto inicia de manera automática un ciclo de deshielo y se termina en cuanto inicia el siguiente ciclo de deshielo. La energía consumida en ese periodo se considera el consumo de energía por ciclo de funcionamiento.

Una vez que ambas pruebas finalizan y se obtienen los respectivos valores de consumo de energía y sus promedios de temperaturas  $\bar{C}$  de cada prueba, se realiza una interpolación del consumo de energía que se tendría para una temperatura de referencia de  $-15^{\circ}\text{C}$  en el congelador. El valor obtenido de consumo de energía es el consumo de energía durante el periodo de prueba, denominado "EP" en la fórmula de la NOM-015-ENER-2002 que se muestra a continuación en la figura 27. De esta fórmula se obtiene el consumo de energía durante un ciclo, en kWh/día y denominado "EC".

$$EC = \frac{(EP \times 1440 \times K)}{t}$$

Donde:

EC -	Consumo de energía durante un ciclo, en kWh/día
EP -	Consumo de energía durante el periodo de prueba, en kWh
1 440 -	Factor de conversión para ajustar el tiempo de prueba a un periodo de 24 h
K-	Factor de corrección adimensional; 0,70 para congeladores horizontales, 0,85 para congeladores verticales, y 1,00 para refrigeradores electrodomésticos.
t -	Tiempo total de la prueba en minutos

**Fig. 27** Fórmula para el cálculo del consumo de energía del refrigerador-congelador en kWh/día y referenciado a  $-15^{\circ}\text{C}$  en el congelador, de acuerdo a la NOM-015-ENER-2002.

A partir del valor de consumo de energía en kWh/día se obtiene el consumo de energía anualizado denominado “CA”, al multiplicar por el factor de conversión de 365 como lo muestra la figura 28.

$$CA = E \times 365$$

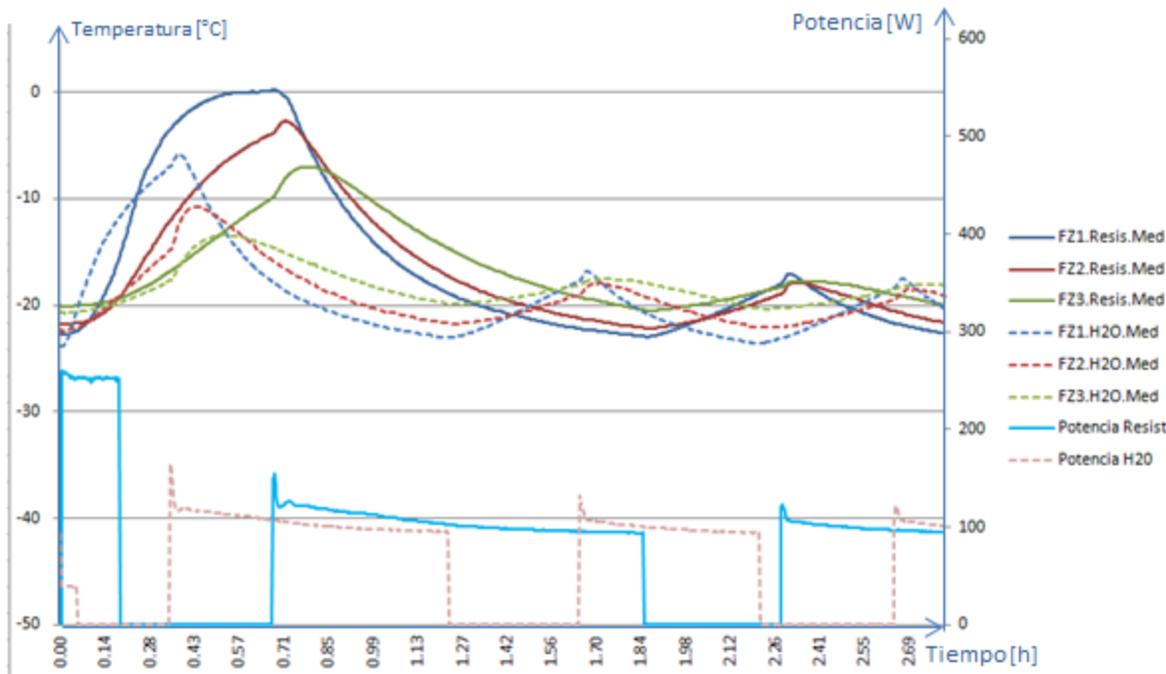
Donde:

- CA = Consumo de energía anual, en kWh/año.
- E = Consumo de energía en un ciclo, en kWh/día.
- 365 = Factor de conversión de días a año.

Fig. 28 Fórmula para el cálculo del consumo de energía anualizado en kWh/año de acuerdo a la NOM-015-ENER-2002.

#### 4.2.2. Resultados de evaluaciones en posición media

En la figura 29 se presenta la gráfica de la temperatura [°C] y potencia del refrigerador [W] en función del tiempo [h]. Los datos del refrigerador de línea base (FZx.Resis.Med) se representan en líneas sólidas y los del prototipo de deshielo con agua (FZx.H2O.Med) se representan en líneas punteadas. Ambos refrigeradores tienen su control de temperatura en posición media de acuerdo al inciso 9.12.2 de la página 20 de la norma NOM-015. En esta gráfica se presentan las temperaturas de los sensores del congelador FZ1, FZ2 y FZ3 colocados en las posiciones C1, C2 y C3 de acuerdo a la NOM-015 (figura 26).



**Fig. 29** Gráfica de temperatura y potencia en función del tiempo. Los datos del refrigerador de línea base se representan en líneas sólidas y los del prototipo de deshielo con agua en líneas punteadas. Ambos refrigeradores tienen el control de temperatura en posición media.

En la figura 29 se muestra la potencia del refrigerador de línea base como del refrigerador prototipo. Es posible identificar la potencia de ambos refrigeradores durante su periodo de deshielo. Durante la operación del sistema de deshielo también opera la tarjeta electrónica de 0.5W. Durante el ciclo de deshielo la potencia del refrigerador de línea base es de 260.0W; donde 259.5W corresponden a la resistencia eléctrica de deshielo y el resto a la tarjeta electrónica. Se observa una duración del proceso de deshielo en el refrigerador de línea base de 0.18 horas [10.9 minutos].

Para el refrigerador prototipo se observa una duración de su proceso de deshielo de 0.05 horas [2.9 minutos]. La potencia de este refrigerador durante el ciclo de deshielo es de 40.0W que corresponden al funcionamiento de la bomba de agua (39.5W) y de la tarjeta electrónica (0.5W).

De acuerdo a la lógica de control de los refrigeradores, al terminar el proceso de deshielo viene un proceso de descanso donde solo opera la tarjeta electrónica. En la figura 25 se observa una caída en la potencia de ambos refrigeradores después de finalizado el ciclo de deshielo. A esta etapa se le conoce como etapa de escurrimiento (*dwell*) y tiene como objetivo esperar que concluyan los escurrimientos de agua del evaporador hacia el

sistema de drenaje antes de iniciar el proceso de enfriamiento al operar el compresor; evitando así congelamientos sobre la superficie del evaporador.

El primer ciclo de operación del compresor después de la etapa de escurrimiento (*dwell*) dura más tiempo que el resto de los ciclos de operación del compresor. Esto se debe a que el compresor debe eliminar el calor extra generado por el sistema de deshielo. En la gráfica de potencia de la figura 25 se observan los períodos donde el compresor se energiza (93.0W) y simultáneamente se encuentran funcionando el motor ventilador de la cubierta evaporador (7.0W) y la tarjeta electrónica (0.5W).

En el refrigerador de línea base se observa el primer ciclo de trabajo del compresor después de la etapa de escurrimiento (*dwell*) con una potencia promedio de 100.5W con una forma decreciente y exponencial, con una duración de 1.17 horas [70.4 minutos]. Mientras que en el refrigerador prototipo este primer ciclo de trabajo del compresor tiene la misma forma pero solo dura 0.88 horas [52.8 minutos].

Si se toma en cuenta que el consumo de energía de cada refrigerador debido a su sistema de deshielo está asociado con el sistema de deshielo mismo y con el primer ciclo de trabajo de compresor después de la etapa de escurrimiento (*dwell*); pues es en este primer ciclo de trabajo de compresor donde se elimina el calor extra generado por el sistema de deshielo. De esta manera, es posible calcular el consumo de energía por refrigerador de acuerdo al sistema de deshielo utilizado. Los cálculos se muestran a continuación.

Dado que:

$$C.E. = Potencia [W] * Tiempo [h]$$

Donde C.E. es el consumo de energía. Para ambos refrigeradores el consumo de energía asociado al sistema de deshielo se calcula de la siguiente manera:

$$C.E. = C.E._{Sistema de deshielo} + C.E._{1er ciclo del compresor después de escurrimiento}$$

Estimando una potencia promedio de 100.5W para el ciclo del compresor, el cálculo del consumo del refrigerador de línea base queda así:

$$C.E._{Sistema de deshielo} = 260.0W * 0.18h = 46.8 Wh$$

$$C.E._{1er ciclo del compresor después de escurrimiento} = 100.5W * 1.17h = 117.6Wh$$

El consumo de energía total asociado al sistema de deshielo del refrigerador de línea base es:

$$C.E_{\text{Refrigerador de línea base}} = 46.8 \text{ Wh} + 117.6 \text{ Wh} = 164.4 \text{ Wh}$$

Para el refrigerador prototipo el cálculo queda así:

$$C.E_{\text{Sistema de deshielo}} = 40.0 \text{ W} * 0.05 \text{ h} = 2.0 \text{ Wh}$$

$$C.E_{\text{1er ciclo del compresor después de escurrimiento}} = 100.5 \text{ W} * 0.88 \text{ h} = 88.4 \text{ Wh}$$

El consumo de energía total asociado al sistema de deshielo del refrigerador prototipo es:

$$C.E_{\text{Refrigerador prototipo}} = 2.0 \text{ Wh} + 88.4 \text{ Wh} = 90.4 \text{ Wh}$$

Esto implica un ahorro de energía asociado solo al sistema de deshielo con aspersion de agua del 45% contra el refrigerador de línea base. Es necesario realizar los cálculos de consumo de energía de acuerdo a la NOM-015-ENER-2002 para obtener el valor real de ahorro de energía entre el refrigerador prototipo y el refrigerador de línea base.

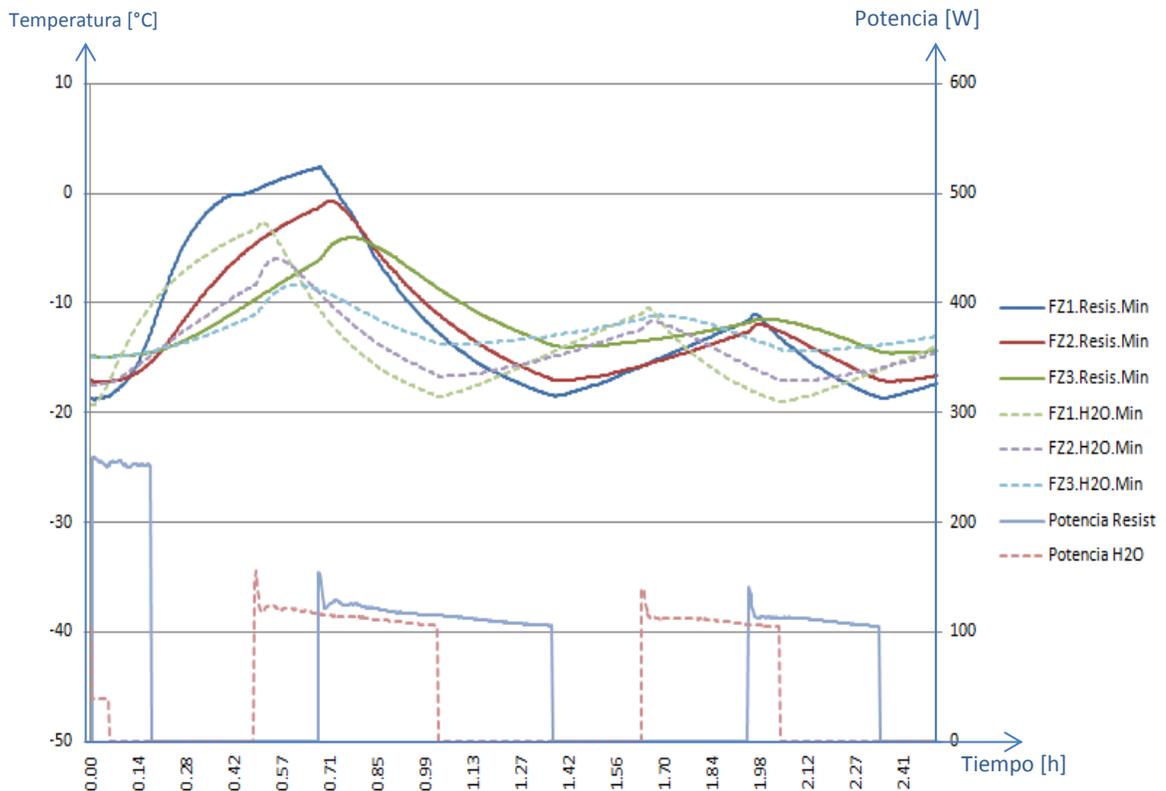
En la Tabla 1 se resumen los resultados más importantes para la posición media de los controles de temperatura del refrigerador línea base y del refrigerador prototipo con deshielo con agua.

**Tabla 1 Resultados de las pruebas de consumo de energía en posición media, para el refrigerador de línea base y el refrigerador prototipo.**

<b>Variable</b>	<b>Línea base</b>	<b>Prototipo</b>
Tiempo de encendido del sistema de deshielo	0.18 h [10.9 minutos]	0.05 h [2.9 minutos]
Potencia del sistema de deshielo	260.0 W	40.0 W
Duración 1er ciclo de compresor	1.17 h [70.4 minutos]	0.88 h [52.8 minutos]
Tiempo de deshielo a deshielo	14.43 h [866.0 minutos]	13.91 h [834.6 minutos]
Consumo de energía en la prueba	0.848 kWh	0.806 kWh
Consumo de energía anualizado	514.7 kWh/año	507.6 kWh/año
Promedio de temperaturas del congelador	-19.8°C	-20.6°C
Máxima temperatura en congelador	0.2°C	-5.8°C

### 4.2.3. Resultados de evaluaciones en posición mínima

En la figura 30 se presenta la gráfica de la temperatura [°C] y potencia del refrigerador [W] en función del tiempo [h]. Los datos del refrigerador de línea base (FZx.Resis.Min) se representan en líneas sólidas y los del prototipo de deshielo con agua (FZx.H2O.Min) se representan en líneas punteadas. Ambos refrigeradores están en posición mínima de acuerdo al inciso 9.12.2 de la página 20 de la norma NOM-015. En esta gráfica se presentan las temperaturas de los sensores del congelador FZ1, FZ2 y FZ3 colocadas en las posiciones C1, C2 y C3 de acuerdo a la norma NOM-015 (figura 26).



**Fig. 30** Gráfica de temperatura y potencia en función del tiempo. Los datos del refrigerador de línea base se representan en líneas sólidas y los del prototipo de deshielo con agua en líneas punteadas. Ambos refrigeradores tienen el control de temperatura en posición mínima.

En la figura 30 se muestra la potencia del refrigerador de línea base como del refrigerador prototipo con sus controles de temperatura en posición mínima. Al igual que en la figura 29, es posible identificar la potencia de ambos refrigeradores durante su periodo de deshielo. Durante el ciclo de deshielo la potencia del refrigerador de línea base no cambia respecto a su comportamiento en posición media, ésta es de 260.0W; sin embargo, se observa un cambio en la duración del proceso de deshielo en el refrigerador de línea base, en posición mínima tiene una duración de 0.17 horas [10.2 minutos].

Para el refrigerador prototipo no hay cambios con respecto a la posición media. En posición mínima también se observa una duración de su proceso de deshielo de 0.05 horas [2.9 minutos] y una potencia de 40.0W.

En el refrigerador de línea base se observa el primer ciclo de trabajo del compresor después de la etapa de escurrimiento (*dwell*) con una potencia promedio de 100.5W y una duración de 0.69 horas [41.5 minutos]. Mientras que en el refrigerador prototipo este primer ciclo de trabajo del compresor dura 0.54 horas [32.4 minutos].

Al igual que en posición media, se estima una potencia promedio de 100.5W para el ciclo del compresor. De esta manera, el cálculo del consumo del refrigerador de línea base queda así:

$$C.E_{\text{Sistema de deshielo}} = 260.0W * 0.17h = 44.2 Wh$$

$$C.E_{\text{1er ciclo del compresor después de escurrimiento}} = 100.5W * 0.69h = 69.3Wh$$

El consumo de energía total asociado al sistema de deshielo del refrigerador de línea base es:

$$C.E_{\text{Refrigerador de línea base}} = 44.2 Wh + 69.3 Wh = 113.5 Wh$$

Para el refrigerador prototipo el cálculo queda así:

$$C.E_{\text{Sistema de deshielo}} = 40.0W * 0.05h = 2.0 Wh$$

$$C.E_{\text{1er ciclo del compresor después de escurrimiento}} = 100.5W * 0.54h = 54.3Wh$$

El consumo de energía total asociado al sistema de deshielo del refrigerador prototipo es:

$$C.E_{\text{Refrigerador prototipo}} = 2.0 Wh + 54.3 Wh = 56.3 Wh$$

Para la posición mínima implica un ahorro de energía asociado solo al sistema de deshielo con aspersión de agua del 50% contra el refrigerador de línea base. En la Tabla 2 se

muestran los resultados en posición mínima, necesarios para calcular el consumo de energía anualizado con base en la norma NOM-015-ENER-2002.

**Tabla 2 Resultados de las pruebas de consumo de energía en posición mínima, para el refrigerador de línea base y el refrigerador prototipo.**

<b>Variable</b>	<b>Línea base</b>	<b>Prototipo</b>
Tiempo de encendido del sistema de deshielo	0.17 h [10.2 minutos]	0.05 h [2.9 minutos]
Potencia del sistema de deshielo	260.0 W	40.0 W
Duración 1er ciclo de compresor	0.69 h [41.5 minutos]	0.54 h [32.4 minutos]
Tiempo de deshielo a deshielo	19.82 h [1189.5 minutos]	19.43 h [1165.9 minutos]
Consumo de energía en la prueba	0.920 kWh	0.851 kWh
Consumo de energía anualizado	406.5 kWh/año	383.7 kWh/año
Promedio de temperaturas del congelador	-14.9°C	-15.0°C
Máxima temperatura en congelador	2.4°C	-4.5°C

#### **4.2.4. Cálculo de consumo de energía entre el refrigerador de línea base y el refrigerador prototipo**

Una vez con los resultados de posición media y posición mínima del refrigerador de línea base y del refrigerador prototipo, el siguiente paso es realizar la interpolación para obtener el cálculo de consumo de energía anualizado con una temperatura promedio en congelador de -15°C.

Es importante notar que para el refrigerador prototipo con deshielo por aspersion de agua, el promedio de temperaturas del congelador en posición mínima es exactamente -15°C y por tanto no hay necesidad de realizar interpolación. De esta manera el consumo de energía anualizado para el refrigerador prototipo es de 383.7 kWh/año.

Para el refrigerador de línea base es necesario realizar la interpolación utilizando los datos que se encuentran en las Tablas 1 y 2. De esta manera, para el refrigerador de línea base interpolando los datos para el promedio de temperaturas en el congelador de -15°C, el consumo de energía anualizado es de 409.0 kWh/año.

Resumiendo los resultados anualizados y referenciados al promedio de temperaturas del congelador de  $-15^{\circ}\text{C}$ , se tiene al refrigerador de línea base con 409.0 kWh/año y al refrigerador prototipo con deshielo por aspersión de agua con 383.7 kWh/año. Representando un ahorro del refrigerador prototipo con respecto al de línea base de 6.2%.

Algunos resultados adicionales que son importantes y vale la pena destacar son los siguientes. El tiempo de duración de encendido del compresor durante su primer ciclo después del deshielo en el refrigerador de línea base (en posición mínima) es de 41.5 minutos, mientras que en el refrigerador prototipo el compresor solo se enciende 32.4 minutos. Esto se debe a que el uso de la resistencia eléctrica durante el deshielo genera un excedente de calor en el congelador, lo cual no sucede con el uso del sistema de aspersión por agua. Por este motivo se requiere mayor tiempo de trabajo del compresor para contrarrestar dicho calentamiento. La temperatura máxima que alcanza el congelador después del ciclo de deshielo para el refrigerador de línea base es de  $2.4^{\circ}\text{C}$ , mientras que en el refrigerador con deshielo por aspersión de agua se alcanzan temperaturas máximas en el congelador de  $-4.5^{\circ}\text{C}$ . Al no cruzar la barrera de descongelamiento del agua ( $0^{\circ}\text{C}$  a nivel del mar), los alimentos no sufren descongelamiento parcial como sucede con los refrigeradores convencionales. Esto ayudará a preservar con mayor calidad y por mayor tiempo los alimentos al interior del congelador.

### **4.3. Evaluaciones de uso extremo**

En Mabe existe un procedimiento interno para evaluar el funcionamiento de los refrigeradores bajo uso extremo, con un ambiente de temperatura y humedad elevada, así como con una carga térmica cercana al 50% de la capacidad total del congelador. El objetivo de este procedimiento es evaluar la capacidad del refrigerador para mantener sus temperaturas de funcionamiento y de remover la humedad (escarcha) en un ambiente extremo con apertura de la puerta del congelador y la del refrigerador.

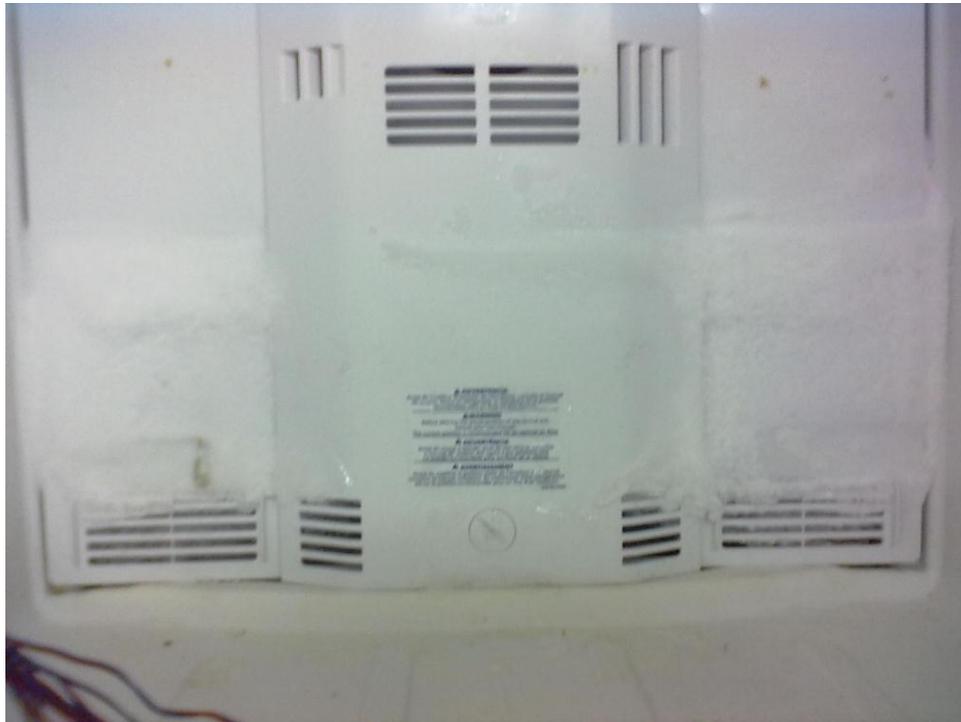
Debido a la confidencialidad en la información de Mabe, no se muestra el procedimiento de evaluación de la prueba de uso extremo que se comenta en este capítulo. La única información que se puede divulgar sobre este método de prueba además del objetivo que ya se mencionó, es indicar aquellas variables que se mantienen bajo control durante la ejecución de la misma. Éstas son: el voltaje de alimentación al refrigerador, el ambiente (temperatura y humedad) bajo el cual está expuesto el refrigerador, la frecuencia de

apertura de puertas, el tiempo que permanecen abiertas dichas puertas y la duración de toda la prueba.

Al final de la prueba se verifican las temperaturas del refrigerador, no deben estar calientes, es decir, no deben exceder los límites de temperatura permisibles por refrigerador. Tampoco se debe de encontrar escarcha en las parrillas ni en los elementos del refrigerador (congelador-refrigerador). La prueba termina con un ciclo de deshielo por lo que el evaporador y sus alrededores deben estar libres de hielo y escarcha. Se debe quitar la tapa del evaporador para revisar visualmente que no exista presencia de hielo ni de escarcha en el evaporador.

Al evaluar el refrigerador de línea base, se verificó que las temperaturas estaban dentro del rango especificado, no había presencia de hielo ni de escarcha al interior del refrigerador ni del congelador. Al desensamblar la tapa del evaporador no se encontró hielo ni escarcha sobre la superficie del evaporador.

Al evaluar el refrigerador prototipo con deshielo por aspersion de agua se encontró que las temperaturas del congelador y del refrigerador se salían del rango especificado. Al terminar la prueba se encontró una cantidad considerable de escarcha al interior del congelador como se muestra en la figura 31.



**Fig. 31** Imagen del congelador del refrigerador prototipo con sistema de deshielo por aspersion de agua. Se muestra la tapa evaporador con presencia de mucha escarcha.

Al quitar la tapa del evaporador se encontraron bloques de hielo en la parte trasera e inferior de la tapa que obstruían el flujo de aire al interior del congelador. Se muestra en la figura 32 la tapa del evaporador desensamblada y con hielo.



**Fig. 32 Tapa evaporador desensamblada y con presencia de bloques de hielo en la superficie trasera del mismo. El hielo que se observa obstruye el flujo de aire al interior del congelador.**

La parte baja del evaporador se encontró con bloques de hielo como se aprecia en la figura 32. Así como escurrimientos de agua congelados en la misma parte baja del evaporador tal como lo indica la figura 33.

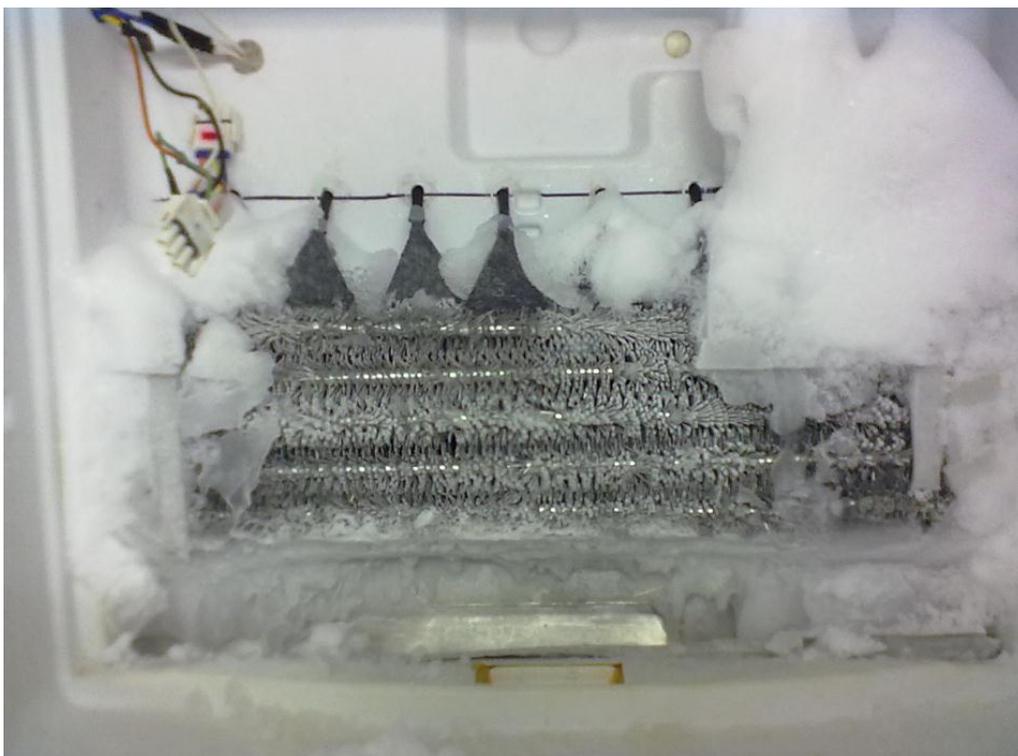


**Fig. 33** Imagen de bloques de hielo en crecimiento. El hielo se ubica debajo del evaporador del refrigerador prototipo con sistema de deshielo por aspersión de agua.



**Fig. 34** Imagen de escurrimientos de agua congelados en la parte baja del evaporador.

Como se comentó anteriormente, la prueba termina con un ciclo de deshielo para garantizar que la superficie del evaporador se encuentre libre de escarcha. Sin embargo, al finalizar estas pruebas y después del ciclo de deshielo comentado, se encontró al evaporador saturado de escarcha e incluso con presencia de bloques de hielo sólido en los costados del evaporador como se muestra en las figuras 35 y 36.



**Fig. 35** Se muestra el evaporador después de finalizada la prueba de uso extremo. El evaporador está saturado con hielo en la parte baja y con escarcha en sus partes laterales y superior del mismo. Ésta es una condición de no cumplimiento de la prueba de uso extremo.



**Fig. 36** Se muestra el evaporador al haber finalizado otra prueba de uso extremo. Nuevamente se perciben bloques de hielo debajo del evaporador así como exceso de escarcha en los costados y en la parte superior del componente.

Se verificó con imágenes como las de la figura 36, que los escurrimientos de agua al finalizar el deshielo se congelaron y empezó a crecer hielo alrededor de éstos a tal grado que tapó los ductos de aire y provocó que el refrigerador se calentara y excediera los rangos de temperatura tanto en el compartimento del refrigerador como del congelador.

Las imágenes mostradas en esta sección son resultado de numerosas iteraciones de la misma prueba y sobre el refrigerador prototipo con sistema de deshielo por aspersión de agua. Se realizaron las modificaciones a dicho sistema de deshielo con el objetivo de eliminar la presencia de hielo y escarcha en la superficie del evaporador al final de la prueba. Se modificaron los tiempos de funcionamiento del sistema de aspersión de agua.

Se incrementó el tiempo de espera de arranque del compresor después del ciclo de deshielo para dar tiempo a finalizar el escurrimiento de agua de la superficie del evaporador. Se reubicaron las salidas de agua del sistema de aspersion sobre el evaporador.

Ninguna de las modificaciones realizadas en el refrigerador prototipo con sistema de deshielo por aspersion de agua logró que dicho refrigerador cumpliera con la prueba de uso extremo. A lo largo de todas las iteraciones se presentaban temperaturas por encima de los límites de temperatura especificados en la prueba, también se presentaba formación de hielo y escarcha en parrillas, paredes del congelador así como en la superficie del evaporador.

Al refrigerador prototipo se le hicieron alrededor de 30 pruebas; diez de ellas fueron evaluaciones previas y de mejoras al prototipo que se describen en la sección 3.3; cinco evaluaciones de validación del funcionamiento general que están descritas en la sección 4.1; un par de evaluaciones para consumo de energía de acuerdo a la norma

NOM-015-ENER-2002 y un poco más de 15 iteraciones de las pruebas de uso extremo. Todas estas evaluaciones se llevaron a cabo entre el periodo de febrero del 2012 y concluyeron en diciembre del mismo año.

## 5. Análisis de factibilidad

Hasta ahora se demostró la capacidad técnica que tiene la propuesta del prototipo con deshielo por aspersión de agua de reducir el consumo de energía en un 6% contra un refrigerador línea base que actualmente se vende en el mercado. Se demuestra que es una tecnología factible y con el potencial técnico de ser aprovechada pero es necesario resolver el tema de desempeño del prototipo bajo condiciones de humedad elevada.

En este capítulo se presenta el análisis de factibilidad desde el punto de vista de negocio para invertir en esta tecnología y que genere ganancias por encima de lo que genera el producto que hoy se comercializa en el mercado. Se analiza el concepto desde el proceso de diseño y un rediseño del mismo prototipo con el afán de mejorar aspectos de la confiabilidad del concepto y que el producto tenga la durabilidad de 10 años que tiene el producto actual. El diseño debe considerar aspectos de manufactura, ensamble en la línea de producción y servicio post-venta. Finalmente se considera un análisis de costos y el precio objetivo de venta.

### 5.1. Análisis de diseño

En Mabe se dedican muchos recursos al desarrollo de proyectos desde la fase de diseño. Desde las etapas tempranas del diseño se contemplan aspectos que den un valor agregado en la cadena de valor al producto en su manufactura, como en el ensamble, distribución, venta y servicio post venta. En cuanto más se anticipen las necesidades de cada una de esas áreas y se tenga en cuenta al usuario final con los requerimientos técnicos así como normativos de cada país, se hará del producto final un mejor producto. Se tiene demostrado que el tiempo que se dedica al análisis durante las etapas tempranas del diseño es recurso que se ahorra posteriormente en re-trabajos y re-procesos que normalmente demandarían más del doble del recurso dedicado inicialmente. Para el diseño y desarrollo de proyectos se utilizan diferentes herramientas y metodologías, como 6 Sigma y manufactura esbelta (*Lean Manufacturing*); algunas de las herramientas son los diagramas de bloques funcionales (DBF) y los análisis de modo y efecto de la falla (AMEF). El análisis de diseño que normalmente se desarrolla en Mabe incluye también un análisis del costo y precio de lanzamiento del producto para mantener un presupuesto sano durante el desarrollo del proyecto y definir un objetivo económico desde el inicio del diseño.

### 5.1.1. Diagrama de bloques funcionales

Los diagramas de bloques funcionales (DBF), son diagramas donde se muestra la relación, interacción y función entre los componentes de un sistema. Estos sirven para entender esquemáticamente los sistemas de un producto y muestran de qué partes se componen y como se relacionan los diferentes subsistemas de un producto entre sí.

Un refrigerador llega a tener alrededor de 300 partes; éstas se pueden clasificar en los siguientes subsistemas: 1. Gabinete y puertas, 2. Unidad refrigerante, 3. Flujo de aire, 4. Controles eléctricos y electrónicos, 5. Accesorios y 6. Hielo y agua. En esta tesis la propuesta se concentra en el sistema de deshielo del evaporador y por tanto se clasifica dentro del subsistema de unidad refrigerante. A continuación, en las Figuras 32 a la 34, se muestran los diagramas de bloques funcionales del subsistema de la unidad refrigerante así como los diagramas de bloques funcionales del sistema de deshielo del refrigerador de línea base como del sistema de deshielo del refrigerador prototipo con deshielo por aspersión de agua.

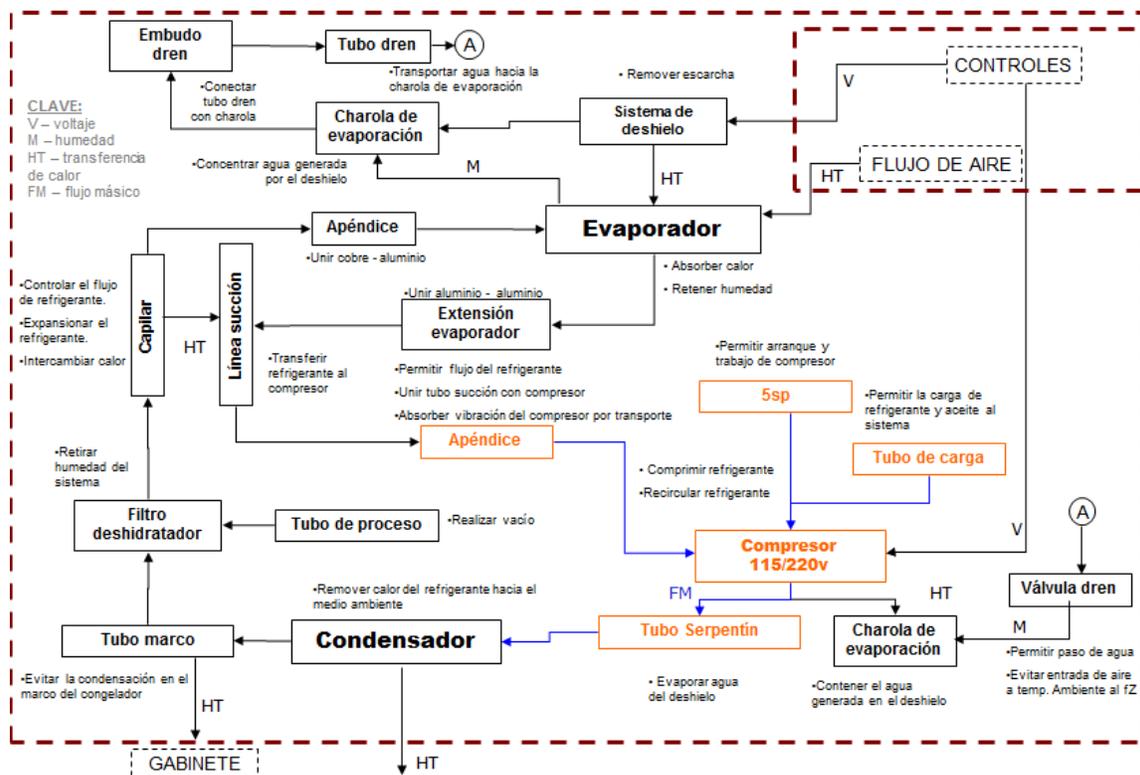


Fig. 32 Diagrama de bloques funcionales para el sistema de unidad refrigerante con un sistema de deshielo generalizado.

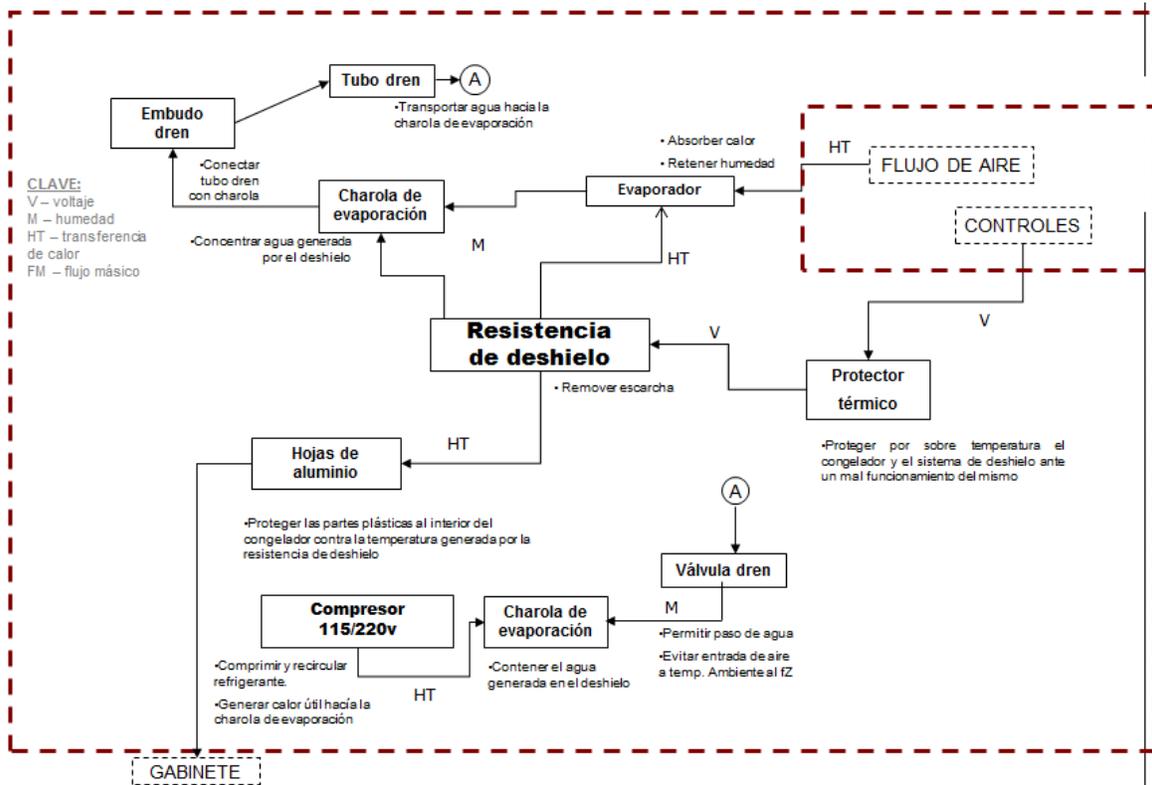


Fig. 33 Diagrama de bloques funcionales del sistema de deshielo por resistencia eléctrica que corresponde al refrigerador de línea base.

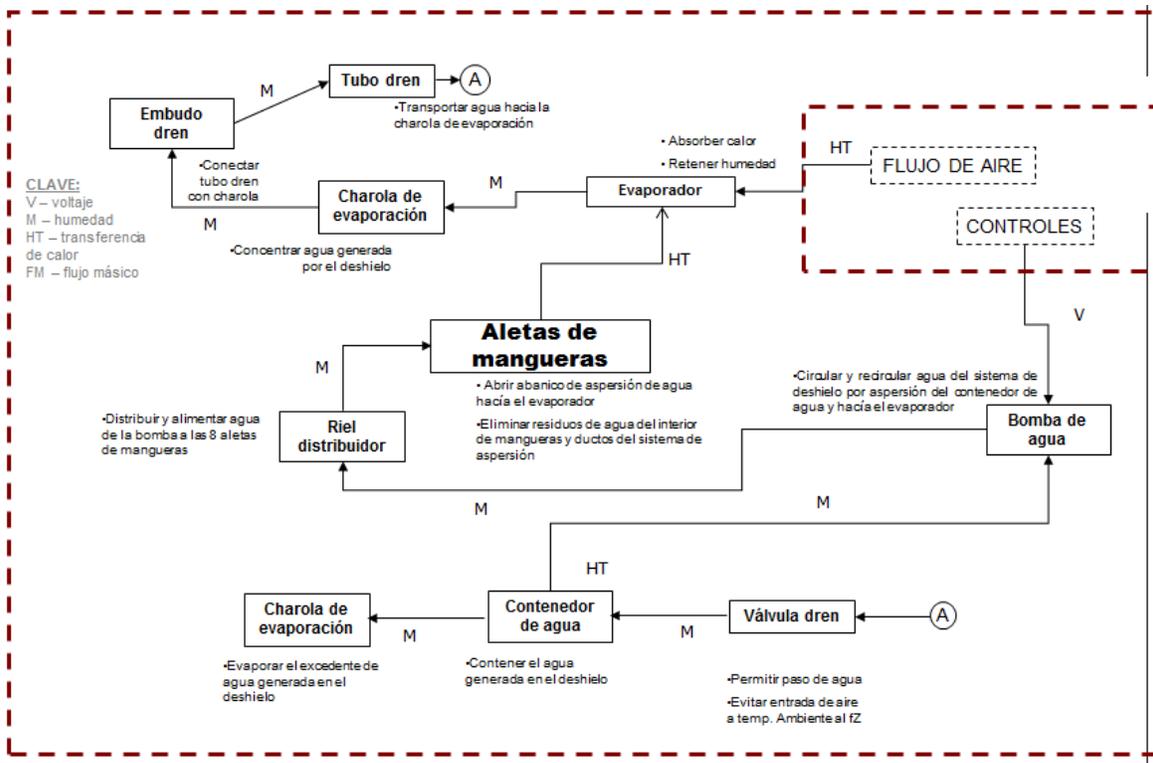


Fig. 34 Diagrama de bloques funcionales para el sistema de deshielo por aspersión de agua para el refrigerador prototipo.

### 5.1.2. Análisis de modo y efecto de falla

El análisis de modo y efecto de falla (AMEF) es una herramienta que se utiliza mucho en Mabe con el fin de detectar y analizar los principales problemas potenciales desde el proceso de diseño de un producto hasta su fabricación, ensamble y uso del mismo. La importancia de la herramienta radica en hacer uso de la misma, detectando y resolviendo los problemas potenciales antes que se generen. Es necesario que se realice en etapas tempranas del diseño donde se dedica mucho recurso al análisis previo para prevenir la generación posterior de problemas. En esta herramienta se mencionan los diferentes modos de falla (formas en que algo falle) que se pueden encontrar; los efectos que desencadenarían estas fallas, así como el grado de severidad de cada efecto; las causas potenciales que origina cada falla y el grado de ocurrencia de las mismas; los controles vigentes y el grado de detección de las causas potenciales. Finalmente cada falla queda jerarquizada de acuerdo a su prioridad o impacto con el “Número Prioritario de Riesgo” (NPR).

Estos documentos se generan en conjunto con un grupo de expertos en la materia que aportan y enriquecen con el valor agregado de sus diferentes puntos de vista. Estos documentos generalmente son muy extensos por lo que se ordenan los modos de falla por orden de importancia de acuerdo a sus valores de NPR. Se utiliza una codificación de colores para identificar rápidamente los niveles de NPR de cada falla. El color rojo se utiliza para aquellas fallas con valores en NPR superiores a 210 puntos; el color amarillo para aquellas menores a 210 puntos pero mayores a 50 puntos y por último, el color verde para aquellas con NPR menor a 50 puntos. En la Figura 35 se muestra la sección del AMEF con modos de fallas superiores a 210 puntos.

**mabe** **Análisis del Modo y Efecto de la Falla (AMEF)**

Componente	Función	Modo de Falla Potencial	Efectos de Falla Potenciales	S E V	Causas Potenciales	O C U	Controles Vigentes	D E T	N P R	Acciones Recomendadas
Contenedor de agua	Almacena el agua del sistema de deshielo por aspersión. Intercambiador de calor del compresor al agua del sistema de deshielo. Vierte el agua excedente del sistema a la charola de evaporación.	Proliferación de hongos y bacterias en el agua del contenedor	Desconfianza del usuario con el uso del producto	8	Agua estancada o agua contaminada durante proceso de deshielo	5	No se tiene	10	400	Se sugiere colocar filtro de sólidos, de carbón activado y luz UV contra hongos y bacterias
Contenedor de agua	Almacena el agua del sistema de deshielo por aspersión. Intercambiador de calor del compresor al agua del sistema de deshielo. Vierte el agua excedente del sistema a la charola de evaporación.	Proliferación de hongos y bacterias en el agua del contenedor	Riesgos a la salud del usuario	7	Agua estancada o agua contaminada durante proceso de deshielo	5	No se tiene	10	350	Se sugiere colocar filtro de sólidos, de carbón activado y luz UV contra hongos y bacterias
Bomba de agua	Genera flujo de agua necesario para el sistema de deshielo por aspersión. Se alimenta del contenedor de agua y desfoga en la manguera de 1/2" de diámetro.	Bomba tapada	No bombea suficiente agua al sistema de aspersión, no se deshiela correctamente el evaporador lo que provoca incremento de temperaturas en el refrigerador	5	Contaminación de sólidos en el contenedor de agua	5	No se tiene	10	250	Se sugiere colocar filtro de sólidos, de carbón activado y luz UV contra hongos y bacterias

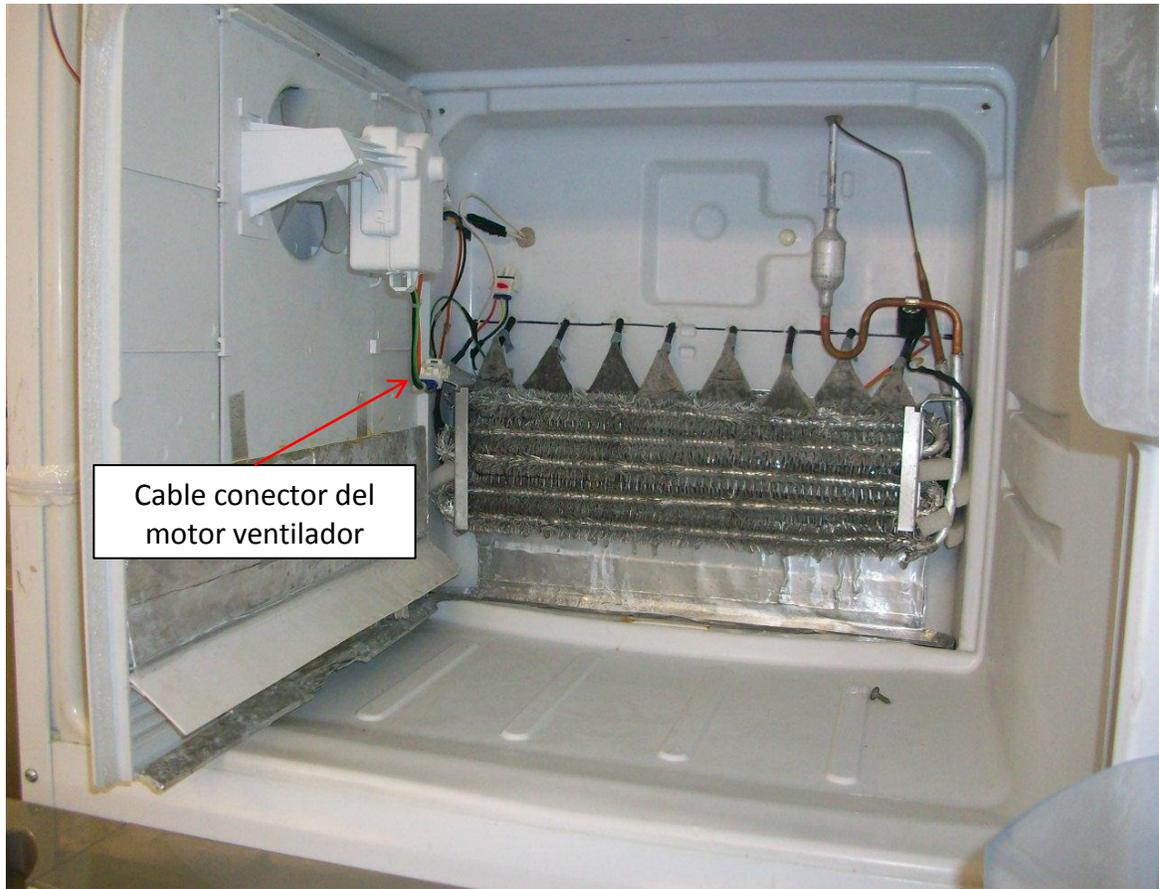
**Fig. 35 Documento AMEF del sistema de deshielo por aspersión de agua. En esta sección se muestran las fallas más importantes codificadas en color rojo y con un número prioritario de riesgo (NPR) mayor a 210 puntos; y por tanto son aquellas a las que hay que dedicar la mayor atención para prevenir riesgos y problemas en el producto.**

### 5.1.3. Integración y cumplimiento de requisitos regulatorios y normativos

Actualmente Mabe distribuye refrigeradores como el refrigerador de línea base en el continente americano. Los productos que hoy se comercializan se certifican con al menos un organismo regulador como UL en Estados Unidos de Norte América, bajo CSA en Canadá y finalmente en México con ANCE o ema. Las regulaciones básicas que un producto debe cumplir para venderse en cualquier país son normativas de consumo de energía y de seguridad para evitar riesgos al usuario final.

Una parte importante del análisis de factibilidad de un producto es la revisión de seguridad conocida en Mabe como "*Safety Review*". El siguiente paso es analizar la factibilidad técnica del refrigerador prototipo bajo una revisión de los puntos de seguridad que debe cumplir para certificarse y poderse comercializar.

Se revisó el refrigerador prototipo bajo aspectos generales de seguridad tomando en cuenta las diferentes normativas, se revisó con personal de Mabe experto en normas de seguridad, así como con personal de UL y de ANCE. Las revisiones concluyeron que no es necesario utilizar algún elemento de protección o material adicional para que este prototipo cumpla con los requisitos mínimos de seguridad; excepto por una recomendación de personal de UL en colocar un segundo aislamiento eléctrico tipo manga en el cable (arnés) del motor ventilador de la cubierta evaporador ya que con el sistema de deshielo por aspersión de agua y como se muestra en la Figura 36, este cable se encuentra más expuesto a la humedad.



**Fig. 36 Compartimiento congelador con la cubierta evaporador desensamblada. Se muestra el motor ventilador de la cubierta evaporador con su cable/conector de alimentación eléctrica expuesto a mayor humedad que en el refrigerador de línea base.**

Se debe considerar la validación de la bomba de agua, como componente eléctrico individual, por el organismo regulador; con su sello o marca correspondiente. De otra manera, el refrigerador prototipo no puede certificarse aunque éste cumpla con todos los requisitos y pruebas solicitadas.

Debido a que el refrigerador tiene componentes que están en contacto directo o indirecto con alimentos que ingerimos es necesario aprobar componentes con organismos como la FDA (*Food and Drug Administration*) que vigilan que el material con el que están fabricados los componentes no contaminen el alimento con olor, sabor o componentes tóxicos que pongan el riesgo la salud del usuario.

Por otro lado los componentes del refrigerador deben cumplir con reglamentaciones como *Restriction of Hazardous Substances (Rohs)* y *Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH)*, donde se vigila que los materiales no generen un riesgo directo al ser humano; se cuidan aspectos como que los componentes del refrigerador tengan un límite máximo de sustancias como el plomo, asbesto, mercurio o cromo. Estas sustancias están consideradas como cancerígenas. Dichos límites se fijan de acuerdo al grado de contacto o cercanía que tenga cada componente con el usuario.

Recientemente los organismos reguladores han solicitado que los componentes eléctricos no generen emisiones o interferencias electromagnéticas (*Electromagnetic interference (EMI)*); es necesario evaluar el refrigerador durante el proceso de deshielo cuando la bomba del sistema de aspersión de agua esté funcionando para descartar dichas emisiones.

Es necesario considerar que cuando se trata de invenciones o nuevos productos, los organismos reguladores cuentan con un proceso adicional para certificar el producto. Para este caso en particular, el producto tiene que cumplir con la reglamentación que aplica para refrigeradores del país donde se vaya a comercializar y tiene que pasar por un proceso extra de revisión, en UL se le conoce como “Productos nuevos o innovadores” y se aplicaría a la tecnología de deshielo propuesta, que aunque no es nueva, se sale del estándar actual de refrigeradores comerciales.

Existe la posibilidad de colocar esta invención sobre un refrigerador de mayor capacidad con dispensador de agua automático y fábrica de hielos automática. Este tipo de productos requieren de una toma de agua para su funcionamiento. Esta toma de agua se puede aprovechar y conectar al sistema de aspersión, lo cuál elimina el uso de la bomba y del contenedor de agua. De esta manera el proceso de revisión para certificación de productos nuevos e innovadores se concentraría solamente en la parte de aspersión de agua dentro del compartimento congelador.

#### 5.1.4. Análisis de confiabilidad

El objetivo de realizar un análisis de este tipo es incrementar la confiabilidad al máximo y reducir el costo. Generalmente estos son dos factores que se contraponen; el incremento de la confiabilidad normalmente implica un aumento del costo y viceversa. Es necesario establecer en base a la factibilidad de negocio un límite tanto en costo como en el nivel de

confiabilidad que se espera del producto. De manera general, el objetivo de la confiabilidad de los productos de Mabe es de 10 años de vida.

Existen diferentes herramientas que nos ayudan a llevar a cabo el análisis de confiabilidad, unas de ellas son las evaluaciones de confiabilidad; las más comunes que se realizan dentro de Mabe son: Pruebas de campo que son pruebas en tiempo real bajo condiciones reales de uso con el usuario final; tenemos también las pruebas de vida acelerada donde se estresa algún factor de uso o abuso del producto para acelerar la frecuencia de falla; otro tipo de pruebas son las pruebas “gorila” o “elefante”, éstas son pruebas que se utilizan con el fin de encontrar mecanismos de falla o bien la magnitud bajo la cual una falla se produce. A diferencia de los primeros dos tipos de prueba que tienen como fin encontrar el tiempo a la falla entre otras variables significativas, en las pruebas tipo “elefante”, se va estresando el producto bajo alguna variable hasta encontrar la magnitud de dicha variable bajo la cual el producto falla. Por mencionar un ejemplo de prueba tipo “elefante”, se puede ir colocando peso sobre un refrigerador empacado; este peso se va incrementando gradualmente hasta el punto que el producto empacado falle; la falla se considera la pérdida de estructura del refrigerador para sostener peso sobre el mismo. Esta información sería útil para conocer, bajo un factor de seguridad, la cantidad máxima de estibas que se pueden colocar sobre determinado tipo de refrigerador empacado.

El refrigerador prototipo con sistema de deshielo por aspersion de agua se consideraría para los tres tipos de prueba de confiabilidad; tipo “elefante”, de vida acelerada y pruebas de campo.

Para lograr el objetivo del análisis de confiabilidad es necesario seguir ciertos pasos. Iniciando por identificar los requerimientos del consumidor; definir los objetivos de confiabilidad; identificar y analizar los componentes críticos; cuantificar y mejorar la confiabilidad, para finalmente controlar y auditar la confiabilidad en el proceso de producción.

Para el primer paso referente a identificar los requerimientos del consumidor, es importante tener claro las expectativas de confiabilidad del cliente hacia el producto. Es necesario entender las condiciones del uso del cliente en el campo y sus equivalencias con la capacidad de evaluación y recursos de los laboratorios donde será evaluado el producto. Si consideramos que el sistema de deshielo por aspersion de agua propuesto es un cambio en el producto que el cliente no percibe directamente. El cliente percibe el cambio de manera indirecta a través del ahorro de consumo de energía. El cliente espera un refrigerador que ahorre más energía pero con la misma confiabilidad que tenía el refrigerador con el sistema de deshielo convencional. De esta manera, es necesario definir y cuantificar las condiciones y tiempo de uso que el cliente espera obtener del

refrigerador prototipo. Identificando las características de envejecimiento prioritarias para el consumidor. Esto nos lleva a definir que el refrigerador prototipo debe ser al menos igual de confiable que el refrigerador de línea base.

El segundo paso se refiere a definir los objetivos de confiabilidad; esto nos lleva a conocer el grado de confiabilidad que tiene el refrigerador de línea base, así como a investigar el grado de confiabilidad que tienen componentes similares en otras aplicaciones y en otros productos. Finalmente y de ser posible, tener datos del grado de insatisfacción del cliente a través de cuantificar quejas y llamadas de servicio generadas por consumidores que tienen estos productos bajo uso. A toda esta información de entrada se agrega la decisión del negocio sobre qué grado de confiabilidad está dispuesto a invertir en el producto.

En el refrigerador de línea base, con sistema de deshielo convencional, existe un ciclo de deshielo aproximadamente cada 14 horas y se evalúa la confiabilidad a 10 años de vida. La decisión de negocio en un cambio de este tipo es mantener el mismo nivel de confiabilidad que en el refrigerador de línea base. Por tanto, en el refrigerador prototipo, con sistema de deshielo por aspersion de agua, se tendría un total de 6,300 ciclos de deshielo después de 10 años de operación del refrigerador. Si el deshielo de aspersion de agua dura 3 minutos, nos lleva a un tiempo de operación del sistema de deshielo de 18,900 minutos equivalentes a 14 días de operación continua.

En Mabe se maneja un índice de fallas en el producto llamado índice de llamadas de servicio (*Service Call Rate*). Este índice nos indica el porcentaje del número de llamadas por falla que hace el cliente en relación al número total de refrigeradores que se encuentran vendidos e instalados con el usuario final.

El índice de llamadas de servicio que están relacionadas con el sistema de deshielo convencional es del 0.14%, y este es el objetivo máximo de índice de llamadas de servicio que podría tener el sistema propuesto en el refrigerador prototipo. La falla más común en el sistema de deshielo convencional es la de resistencia abierta y representa un índice del 0.10%.

El tercer paso, referente a la identificación y análisis de componentes críticos, implica tener claras las funciones y la interrelación que guardan los componentes entre sí. A partir de esto, conocer los diferentes modos cómo falla el componente, el sistema y finalmente el refrigerador, entendiendo el impacto que el efecto de estas fallas genera en el consumidor y dándole un orden de acuerdo a la prioridad de éstos. Con toda esta información es necesario realizar análisis para la identificación de las causas raíces que generan las fallas. A esto se le llama el mecanismo de falla. Solo hasta que entendemos el mecanismo de falla desde la causa raíz hasta el efecto que tiene cada modo de falla se

puede ser capaz de incrementar el grado de confiabilidad atacando de manera directa las causas raíces.

Para identificar los componentes críticos se hace una revisión de otros electrodomésticos donde se utilizan componentes similares a los del sistema propuesto de deshielo por aspersión de agua. Las lavadoras son los equipos que tienen mayor semejanza con el sistema propuesto. En las lavadoras el componente con mayor índice de llamadas de servicio es la bomba de agua y es precisamente con la falla de bomba obstruida o bomba quemada debido a alguna obstrucción. Las fugas de agua o problemas en la interconexión de mangueras y componentes que conducen agua como los difusores de agua tienen los índices de llamadas de servicio más bajos en las lavadoras. Se estima con la información anterior y con la experiencia de personal de diseño de Mabe TyP del área de lavadoras y del área de refrigeradores que el componente más crítico en el sistema de deshielo por aspersión de agua es la bomba.

En la sección 5.1.1 y 5.1.2 se revisaron los diagramas de bloques funcionales tanto para el refrigerador de línea base como para el refrigerador prototipo; así como el análisis de modo y efecto de la falla. En este tercer paso es importante identificar aquellos factores de los componentes críticos que están bajo control del fabricante o del usuario y aquellos factores que no pueden ser controlados. A esto se le conoce como parámetros de control y parámetros de ruido. El componente más crítico en el sistema de deshielo por aspersión de agua es la bomba. Los factores de control de la bomba son todas aquellas especificaciones de diseño de la bomba, tanto mecánicas como eléctricas; así como el flujo de entrada y salida de la misma, la relación entre velocidad y torque al arranque y durante la operación y la altura entre la bomba y el sistema de aspersión de agua. Por otro lado, los factores de ruido son la temperatura del agua, la variación en el voltaje de suministro, la cantidad y tamaño de partículas contaminantes suspendidas en el agua.

El cuarto paso es la cuantificación y mejora de la confiabilidad. Una vez que se conoce y entiende el mecanismo de las fallas. Es imprescindible diferenciar el desempeño del producto en condiciones reales de uso con el consumidor final a través de las fallas que se presentan con el consumidor y analizarlos contra el desempeño y las fallas que presenta el producto dentro de los laboratorios de evaluación de confiabilidad. Se espera que bajo ambos ambientes de prueba se tenga el mismo grado de confiabilidad del producto. Si en el laboratorio no se encuentran fallas y en campo se encuentran, esto indica que las pruebas que se desarrollan en el laboratorio no son equivalentes en campo. Las pruebas desarrolladas en los laboratorios tienen que ser representativas de lo que sucede en campo con el usuario final, de otra manera es recurso desperdiciado y son datos irreales que no representan la confiabilidad real del producto. Para incrementar la confiabilidad

del producto es necesario encontrar las fallas y resolverlas en los laboratorios y antes que las fallas se presenten con el cliente final. La expectativa de los resultados de laboratorio para productos en desarrollo es encontrar fallas. Si no llegan a salir fallas en el laboratorio, saldrán con el consumidor final sin haberlas conocido, estudiado ni haber entendido el mecanismo de falla. Las fallas de un producto en desarrollo se deben encontrar, entender y solucionar en los laboratorios. Si esto no sucede, existe un riesgo muy alto que estas fallas aparezcan con el consumidor final cuando ya es muy tarde y es más costoso solucionarlas.

Finalmente con los mecanismos de falla entendidos, estudiados y solucionados desde la causa raíz se procede al quinto y último paso de controlar y auditar el grado de confiabilidad del producto a través del monitoreo constante tanto del índice de quejas y llamadas de servicio, pruebas de laboratorio y los controles internos de calidad que se tienen en la producción de los productos.

#### 5.1.5. Definición de especificaciones técnicas

Los componentes nuevos que se integran con la propuesta del sistema de deshielo por aspersión de agua deben cumplir con las especificaciones técnicas de Mabe como las regulatorias que se mencionaron en la sección 5.1.3.

En cuanto a especificaciones técnicas todos los componentes deben tener una base de datos electrónica y un plano o dibujo técnico asociado donde se describan las dimensiones y especificaciones de los componentes y materiales con los que deben ser fabricados para cumplir con los lineamientos y objetivos definidos.

En Mabe se tienen definidos los rangos de funcionamiento eléctrico para componentes como la bomba de agua; la especificación general de Mabe es 120V [±10V] y 60Hz [±0.5Hz] o bien 220V [±20V] y 50Hz [±0.5Hz]. La temperatura del agua para operación de bombas de agua en lavadoras es de 0°C (en estado líquido) y hasta 65°C. Para el caso del refrigerador prototipo el rango de temperatura de agua para la bomba utilizado en lavadoras es útil y puede ser homologado. La bomba no debe sufrir degradación a tal grado que impida su funcionamiento bajo operación con agua de la red pública de las zonas geográficas donde se vaya a comercializar el producto.

Es necesario diseñar o adecuar evaluaciones que garanticen la operación y funcionamiento adecuado de la bomba dentro de los rangos de energía eléctrica, temperatura y condición de agua para ofrecer garantía de 10 años en el producto.

El diseñador de este componente debe considerar que la instalación y servicio de la bomba de agua se realice con herramienta de mano disponible comercialmente. Debe considerar también que sus conectores y cables eléctricos deben cumplir con la norma UL 310 y la forma de los conectores debe homologarse con la forma de los conectores actualmente utilizados en electrodomésticos de Mabe. La norma UL 310 aplica a terminales eléctricas de conexión rápida utilizadas en instalaciones eléctricas internas de equipos electrónicos donde el material conductor es el cobre y tiene un máximo de 3 polos (línea, neutro y tierra).

#### 5.1.6. Análisis de manufacturabilidad

Los procesos de compra de materia prima y componentes, así como los procesos de manufactura están bien establecidos en Mabe. Esto quiere decir que existen proveedores de Mabe para ciertos componentes donde existen alianzas estratégicas y convenios comerciales. Hay componentes que hoy se compran a proveedores y conviene seguir comprándolos a estos proveedores; mientras que hay otros componentes que actualmente se manufacturan en Mabe y conviene seguirlos manufacturando en la empresa. Sin embargo, existe personal que tiene como función identificar cualquier ventaja competitiva y de costo al cambiar entre compra y manufactura de un producto en las plantas de producción de Mabe.

Es común que se utilicen recursos ya desarrollados en procesos y productos similares; esto ayuda a la estandarización y modularidad de procesos y componentes.

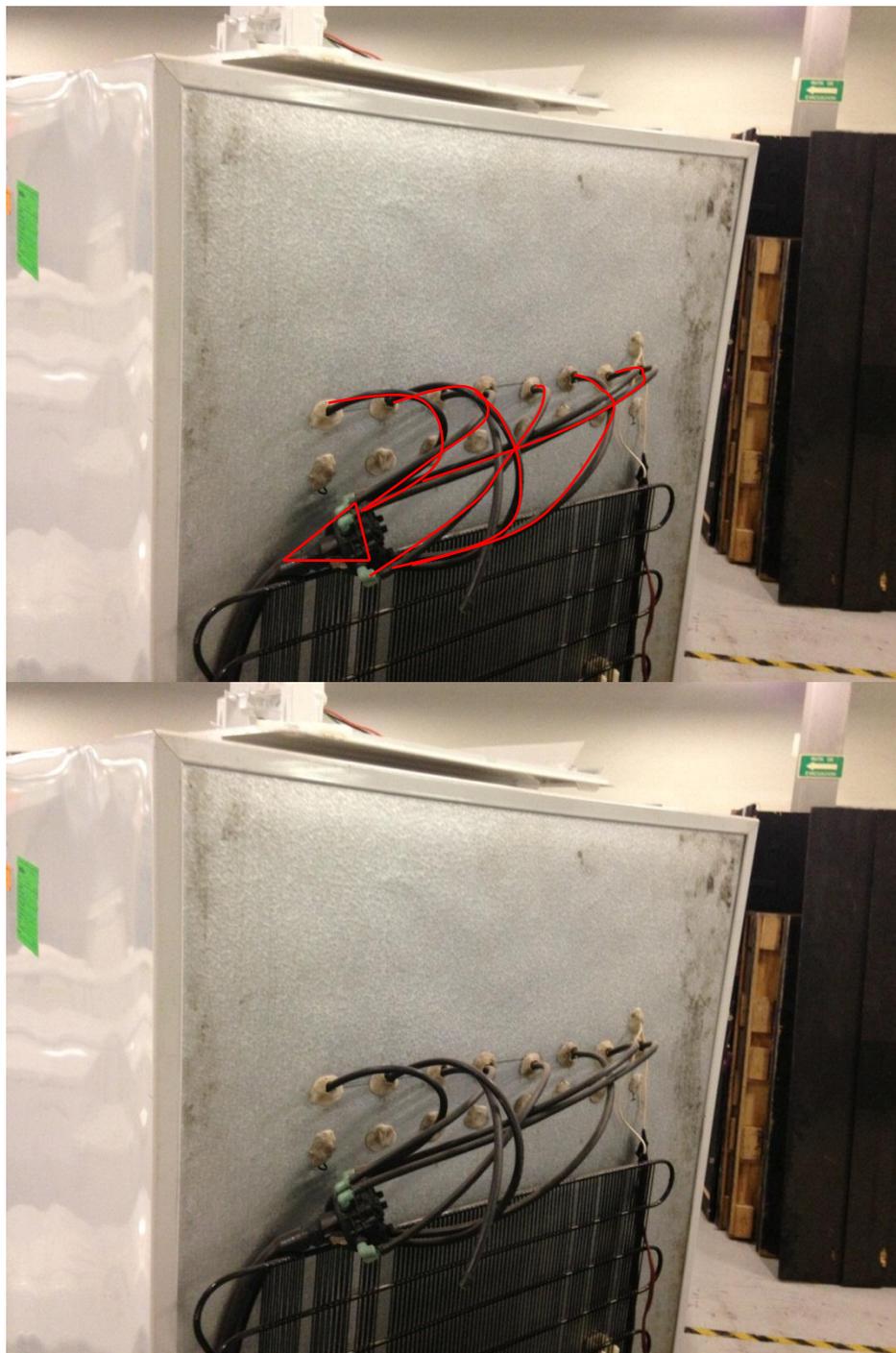
De acuerdo a los nuevos componentes que se requerirían para la producción en masa del prototipo con deshielo por aspersion de agua, se considera que hay algunos de ellos donde se tienen proveedores de Mabe y no conviene invertir en maquinaria y equipo para la manufactura al interior de Mabe. Estos componentes son la bomba y las mangueras que se utilizan actualmente en las lavadoras. Es necesario identificar si existen componentes actuales que ya se compran y que puedan funcionar en el prototipo sin tener un sobre diseño, de esta manera se evitaría el desarrollo de un nuevo componente. En este caso, cualquiera de las piezas que ya se tienen desarrolladas con proveedores para bombas y mangueras se podrían utilizar pero estarían sobre diseñadas para el prototipo con deshielo con aspersion de agua. El caudal que se maneja en las bombas que actualmente se utilizan para lavadoras que produce Mabe, es mucho mayor que el que se requiere para

esta aplicación. Es necesario desarrollar con el proveedor de bombas de Mabe una bomba de menor capacidad y por tanto de menor consumo y menor costo. De la misma manera la manguera tendría que tener un diámetro menor al que se usa en lavadoras, lo que impactaría también en un costo menor. Sin embargo, conviene desde el punto de vista de negocio que tanto la bomba como las mangueras sean desarrolladas y compradas con proveeduría externa. Se requiere una bomba de agua de 120V, 60Hz, 40.0W para una altura hidráulica de 1.6 metros. Se requiere una manguera de ½" de diámetro fabricada en PVC (cloruro de polivinilo), con 1mm de espesor de pared. Cada refrigerador requiere un tramo de manguera de 1.75 metros de longitud.

Por otro lado el contenedor de agua, el distribuidor de agua y las aletas son partes que podrían ser manufacturadas en Mabe. Uno de los procesos con mayor conocimiento, recursos y experiencia en Mabe es el proceso de inyección de plásticos. Se recomienda que el contenedor de agua sea inyectado en un proceso de soplado y sea hecho de polipropileno que comúnmente se denomina como "PP". Esto requiere la fabricación del molde de inyección.

En el prototipo fabricado se mostró una pieza llamada distribuidor de agua que tiene una entrada de manguera de ½" de diámetro y 8 salidas de 3/16" de diámetro. Esta pieza puede ser inyectada también en un proceso simple de inyección con molde. Este componente puede inyectarse de tal manera que sustituya y cumpla las funciones del distribuidor de agua y de las mangueras de 3/16" de diámetro. Este componente tendría que ir oculto y espumado en la pared trasera del refrigerador. Hacer el distribuidor y las mangueras en un solo componente eliminaría el riesgo de fuga de agua o una mala conexión entre las mangueras de 3/16" de diámetro con el distribuidor, de no hacerse así y de llegar a existir alguna fuga de agua o una mala conexión entre las mangueras de 3/16" de diámetro con el distribuidor, la reparación se complicaría mucho y se elevaría mucho el costo de servicio por tener componentes espumados al interior de la pared trasera del refrigerador. Lo anterior justifica la recomendación de invertir en una herramienta o molde de inyección para fabricar en una sola pieza el distribuidor y las 8 mangueras de 3/16"; a este nuevo componente en adelante se le llamará riel de distribución. Se tiene pensado inyectar dos piezas que después de su inyección se unan al soldarse por ultrasonido, formando una pieza única con ductos en su interior, el riel de distribución se fabricaría de un poliestireno de alto impacto mejor conocido como *HIPS* (del inglés *High Impact Polystyrene*). Este material se utiliza comúnmente en piezas de bajo costo y está aprobado por la *Food and drug administration* (FDA) que es el organismo que administra, gestiona y controla lo referente a alimentos y medicamentos en Estados Unidos de Norteamérica. El proceso de soldado por ultrasonido de dos piezas plásticas requiere de la inversión y fabricación de una nueva herramienta de proceso llamada

sonotrodo. El riel distribuidor sustituiría lo que se marca en color rojo en las Figuras 37 y 38.



**Fig. 37** Se muestra una imagen de la parte trasera del prototipo. En la imagen de arriba se muestra en color rojo aquellas partes que serían sustituidas por una pieza única llamada riel distribuidor y que se espumaría al interior de la pared trasera del refrigerador. En la parte de abajo se muestra la fotografía original.



**Fig. 38** Se muestra una imagen del interior del refrigerador prototipo. En la imagen de arriba se muestra en color rojo las partes sustituidas por el riel distribuidor. En la parte de abajo se muestra la fotografía original.

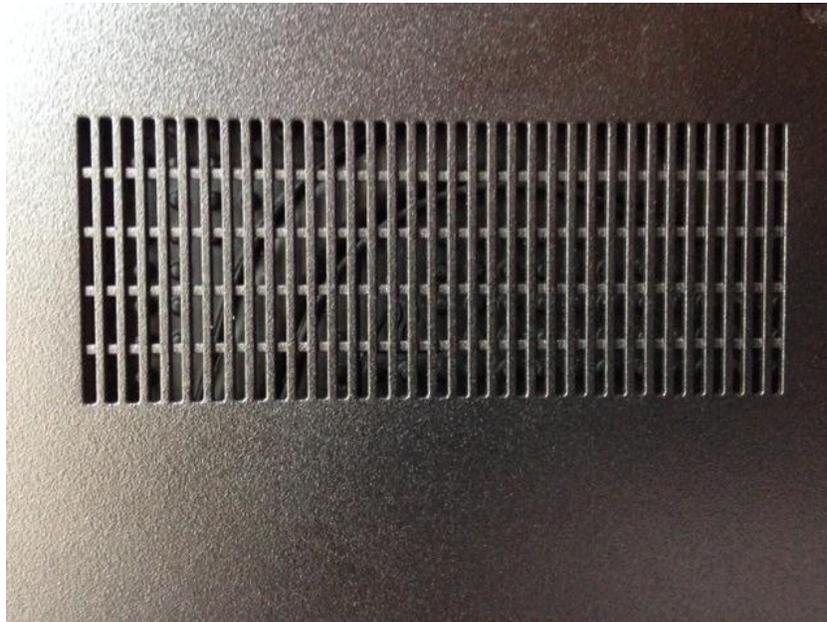
Por último, se tienen las aletas triangulares como la que se muestra en la Figura 39. En esta figura se observa que la aleta triangular y su soporte son de acero galvanizado y está recubierta por una tela de fieltro. La aleta triangular y su soporte pueden fabricarse en HIPS bajo un proceso de inyección por moldeo.



**Fig. 39** Imagen de la aleta triangular con recubrimiento de tela fabricada para el prototipo con deshielo por aspersión de agua.

Dada la importancia de la tela para evitar que el sistema de deshielo por aspersión de agua se tape con hielo, se proponen dos opciones. La primera es realizar un proceso de sobre-inyección de tela con plástico, donde solo habría tela en una cara de la aleta pues no se requiere por ambos lados de la aleta. La segunda opción es sustituir la tela de la aleta por una pieza tipo emparrillado o esqueleto que dé el mismo efecto de capilaridad del agua sobre la tela. La ventaja de esta segunda opción es que tiene un tiempo de vida más prolongado que la primera opción y que el proceso de inyección se simplifica y por

tanto es más económico. Hay que verificar que el espacio entre los “dedos” del emparrillado sea lo suficientemente pequeño para que el agua sea absorbida por capilaridad entre las paredes de la pieza. En la Figura 40 se muestra una imagen que ejemplifica el tipo de emparrillado de la segunda opción para la fabricación de la aleta.



**Fig. 40** Se muestra la parte de debajo de una computadora portátil (*laptop*). La tapa inferior fabricada en plástico de esta computadora tiene un “emparrillado” para ventilar los componentes que producen calor al interior de la misma. Se propone fabricar una pieza con esta geometría de “parrilla de ventilación” con la forma triangular de la aleta que se muestra en la Figura 39.

Es importante considerar que el costo de los moldes de inyección se calcula en \$150,000 dólares americanos cada uno. De manera general Mabe tiene como directriz que cada proyecto recupere la inversión ejercida en un periodo máximo de 3 años.

#### 5.1.7. Análisis de distribución, venta y servicio post-venta

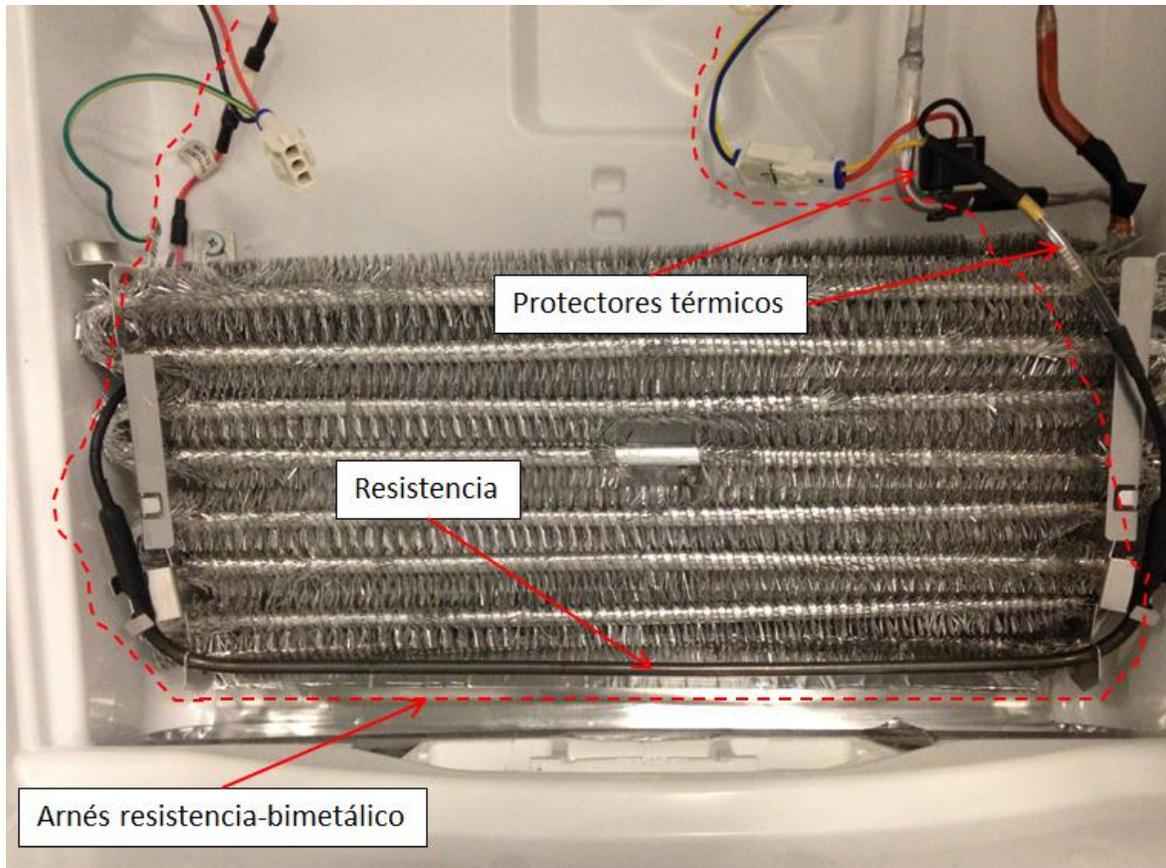
Es necesario garantizar que durante el proceso de distribución, venta y servicio, se evite la proliferación de hongos y bacterias del agua al interior del contenedor; así como la contaminación de la misma con cualquier tipo de sólido que pueda dañar o tapan el sistema de bombeo y aspersion. Se puede optar por la colocación de filtros de carbón activado y sales, así como el uso de luz ultravioleta. De igual manera habría que considerar las ventajas y desventajas si se coloca agua al contenedor de agua antes de salir de la línea de producción o se pide al usuario final que lo haga antes de instalar su refrigerador.

### 5.1.8. Costeo y precio objetivo de lanzamiento

En Mabe es común analizar la inversión de los proyectos en términos de costo de los componentes que se adicionan y se eliminan en las propuestas de cambio y modificaciones al producto. Este estudio se conoce como Adiciones y Eliminaciones (*Add & delete*); éste, es un análisis donde se cuantifica el costo de las piezas que se eliminan contra el costo de las piezas que se adicionan en la nueva propuesta para determinar el ahorro o gasto total que implicará el nuevo proyecto. En las Figuras 41 y 42 se muestran aquellas piezas del refrigerador de línea base que se eliminan con el sistema por deshielo con aspersión de agua.



**Fig. 41** Interior del congelador del refrigerador de línea base con la cubierta evaporador desensamblada. Se muestra el evaporador al fondo y la cara trasera de la cubierta evaporador. Se muestran las dos piezas de deflectores de calor que se eliminan con la propuesta del sistema de deshielo por aspersión de agua.



**Fig. 42** Se observa una imagen completa del evaporador y sus componentes principales al ser removida la cubierta del evaporador. Debajo del evaporador se observa en posición horizontal la resistencia eléctrica. Del lado derecho de la imagen se observan los componentes de protección térmica que cortan el suministro de energía eléctrica a la resistencia. La línea de color rojo punteada marca el ensamble arnés resistencia-bimetálico que se elimina con la nueva propuesta del sistema de deshielo por aspersión de agua. Actualmente se compra de proveeduría externa todo el ensamble del cable (arnés) eléctrico con resistencia, conectores y protectores térmicos; todos estos componentes son eliminados en el refrigerador prototipo.

Como referencia es importante mencionar que actualmente un refrigerador de 15 pies cúbicos marca Mabe le cuesta a un usuario un promedio \$8,000 pesos mexicanos. Considerando lo anterior se muestra en la Tabla 3 el análisis de Adiciones y Eliminaciones (*Add and delete*) que se comentó. Y en la Tabla 4 se muestra un concentrado de los diferentes proyectos que actualmente se están desarrollando en Mabe referentes a ahorro de energía en el refrigerador del tipo de línea base. Estos proyectos están ordenados en el costo de inversión que requieren por cada punto porcentual de energía que ahorran.

**Tabla 3. Resumen del análisis de “Adiciones y Eliminaciones” para analizar la inversión y costeo de la propuesta con el sistema de deshielo por aspersión de agua.**

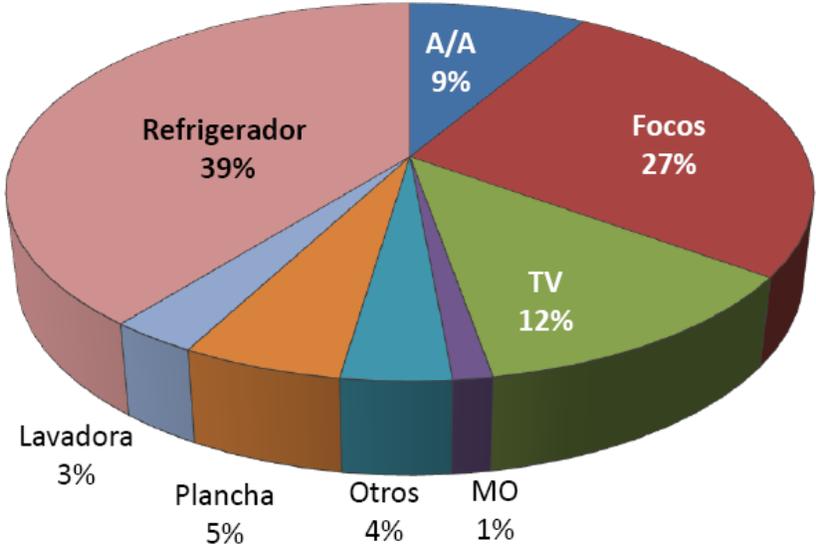
<b>Deshielo por aspersión de agua. Prototipo propuesto</b>		<b>Deshielo por resistencia eléctrica. Línea base</b>	
Concepto	Costo [usd]	Concepto	Costo [usd]
Bomba de agua	\$3.85	Hojas ( <i>Foils</i> ) de aluminio (4 piezas)	\$0.38
Tanque de almacenamiento	\$1.42	Deflectores de calor (2 piezas)	\$0.50
Riel distribuidor	\$1.40	Arnés resistencia-bimetálico	\$4.21
Manguera principal	\$0.93	Charola de deshielo	\$0.47
Aletas triangulares	\$0.70	<b>Total</b>	<b>\$5.56</b>
<b>Total</b>	<b>\$8.30</b>		

	Refrigerador prototipo	Refrigerador de línea base	Diferencia
Costo [usd]	\$8.30	\$5.56	\$2.74
Consumo de Energía [KWh/año]	383.7	409.0	6.2%
<b>Costo [usd] / 1% Energía</b>	\$ 0.44		

**Tabla 4. Costo por cada punto porcentual de ahorro de energía de las diferentes opciones de proyectos de ahorro de energía. Se muestra en segundo lugar el proyecto propuesto en esta tesis.**

OPCIONES DE PROYECTOS DE AHORRO DE ENERGÍA	% REDUCCION ESTIMADO	COSTO [usd]	COSTO [usd] / 1% energía
Tiempos de deshielo	0.70%	\$ 0.00	\$ 0.00
<b>Deshielo por aspersión de agua</b>	<b>6.20%</b>	<b>\$ 2.74</b>	<b>\$ 0.44</b>
Deshielo adaptivo	7.00%	\$ 4.00	\$ 0.57
Condensador de alta densidad	2.00%	\$ 2.00	\$ 1.00
Propuesta #1 para compresor	7.00%	\$ 11.30	\$ 1.61
Motor ventilador del evaporador de c.d.	2.80%	\$ 5.20	\$ 1.86
Propuesta #2 para compresor	2.00%	\$ 4.30	\$ 2.15
Motor ventilador del condensador de c.d.	1.70%	\$ 4.50	\$ 2.65
R600a	5.00%	\$ 20.00	\$ 4.00
Paneles al vacío	1.50%	\$ 12.00	\$ 8.00

No es factible que la línea de producto de Mabe aumente el precio del producto por un refrigerador que ahorrará un 6% de energía eléctrica. Si en promedio el consumo del refrigerador representa un 39% del consumo eléctrico a nivel residencial; entonces el ahorro en el recibo de energía eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad se traduce a un ahorro del 2.34%. El ahorro de energía que ofrece esta propuesta no justifica un aumento de precio del refrigerador. Por tanto, el precio esperado de este nuevo producto en el punto de venta es un elemento adicional que resta factibilidad de lanzar a producción la propuesta presentada. En la Figura 43 se presenta la participación por aparato eléctrico en el consumo total de electricidad a nivel residencial de acuerdo al INEGI y a la SENER con datos del 2008 y publicado en marzo del 2011.



**Fig. 43 Participación por aparato eléctrico en el consumo de electricidad a nivel residencial. Publicado por el Gobierno Federal a través de SENER y el INEGI en marzo del 2011 en el estudio “Indicadores de eficiencia energética en el sector residencial”.**

Una posibilidad es integrar en el producto esta propuesta junto con alguna otra mejora o cambio, de cualquier tipo y que genere el ahorro necesario de tal manera que al integrar ambos cambios no se tenga un sobrecosto y el producto se pueda seguir vendiendo al mismo precio. De esta forma se podría comercializar un producto con mayor capacidad de ahorro de energía y por tanto ecológicamente más amigable con el ambiente y al mismo precio que el producto actual.

## 6. Conclusiones

Se cumplió con el objetivo de esta investigación de desarrollar y estudiar una propuesta de innovación de un sistema de deshielo para un refrigerador, bajo la perspectiva de un centro de desarrollo de proyectos de ingeniería de uno de los fabricantes de electrodomésticos más grandes del continente americano. La recomendación desde la perspectiva de negocio de un centro de desarrollo de proyectos es no iniciar el proceso de diseño para producción de dicha propuesta sin solucionar antes los inconvenientes técnicos, de costo, distribución y servicio.

De acuerdo a los resultados obtenidos así como a los análisis de factibilidad, se considera que la propuesta del prototipo con deshielo por aspersión de agua no es viable de fabricar a nivel industrial para su comercialización y venta con fines de lucro. Sin embargo, podría considerarse el uso de estrategias de mercado que hoy son cada vez más populares. Por ejemplo, podría considerarse la fabricación de un lote muy reducido de refrigeradores integrados con esta propuesta en el sistema de deshielo. Dicha producción estaría sustentada por un fuerte recurso de publicidad y mercadotecnia, de tal manera que aunque se vendan muy pocas unidades se mande una señal al consumidor que sirva como “bandera de mercado” (*slogan*) de ser una compañía que se preocupa por el medio ambiente en la fabricación de sus electrodomésticos. Una compañía que diseña y ofrece productos de bajo consumo energético, modernos y de alta tecnología.

Desde el punto de vista técnico, uno de los inconvenientes encontrados fue que a pesar del ahorro de energía demostrado por el prototipo evaluado bajo la norma de eficiencia energética mexicana NOM-015-ENER-2002, los resultados de evaluación de dicho prototipo demuestran problemas de funcionamiento bajo un ambiente de alta humedad y temperatura. Se propone continuar con la investigación, en búsqueda de la eliminación de formación de hielo en el evaporador en ambientes extremos. Específicamente se propone medir la temperatura del evaporador durante la prueba y prolongar por más tiempo el ciclo de deshielo por aspersión de agua (incluso dos o tres veces más de lo que actualmente dura) hasta que la temperatura del evaporador se eleve por encima de 0°C. Aunque esto llevará a un mayor consumo de energía se estima menor formación de hielo. Los resultados obtenidos en posición media y posición mínima del prototipo con deshielo por aspersión de agua demostraron que las temperaturas del congelador C1, C2 y C3 respectivamente nunca se elevaron por encima de 0°C, mientras que esas mismas temperaturas en el refrigerador de línea base alcanzaron los 2.4°C. Al prolongar el tiempo de deshielo por aspersión de agua hasta que el evaporador se caliente por encima de los 0°C, se evitará que, durante el proceso de escurrimiento de agua (*dwell*), se congelen los

escurrimientos que causan la formación de bloques de hielo de mayor dimensión. Se recomienda también considerar la modificación de la duración del tiempo de escurrimiento (*dwell*) antes que el compresor arranque después del ciclo de deshielo.

Desde el punto de vista de negocio, el precio esperado del producto en el punto de venta es un elemento adicional que resta factibilidad de lanzar a producción la propuesta presentada. Aunque efectivamente la propuesta presentada genera un ahorro de energía, también genera un sobre costo en el producto que no se estima sea pagado por el usuario final. No es factible que la línea de producto de Mabe aumente el precio del producto por un refrigerador que ahorrará al consumidor final un 2.34% en su recibo de energía eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad. Una posibilidad es integrar junto con esta propuesta, algunos otros proyectos de mejora o reducción de costos en el producto actual. De esta manera, el beneficio es la suma de los beneficios integrados de cada proyecto, con lo que el producto podría seguirse vendiendo al precio actual. Se podría comercializar un producto con mayor capacidad de ahorro de energía y por tanto, ecológicamente más amigable con el ambiente y al mismo precio que el producto actual.

Finalmente se tienen las complicaciones sobre los temas de distribución, venta y servicio. Es necesario garantizar que se evite la proliferación de hongos y bacterias del agua al interior del contenedor; así como la contaminación de la misma con cualquier tipo de sólido que pueda dañar o tapan el sistema de bombeo y aspersión. Se puede optar por la colocación de filtros de carbón activado y sales, así como el uso de luz ultravioleta. De igual manera habría que considerar las ventajas y desventajas si se coloca agua al contenedor de agua antes de salir de la línea de producción o se pide al usuario final que lo haga antes de instalar su refrigerador.

Tanto para el tema de costo como para el tema de generación de hongos y bacterias existe la posibilidad de instalar un sistema de deshielo por aspersión de agua en refrigeradores de mayor capacidad que tengan dispensador de agua automático y fábrica de hielos automática; ya que este tipo de refrigeradores cuentan con una toma de agua que se conecta a la red (instalación) de agua del lugar donde se instalan. Esta nueva propuesta representa eliminar la bomba y el contenedor de agua. Dicha toma de agua se conecta al sistema de aspersión y por medio de una válvula solenoide se activa y desactiva el sistema de aspersión de agua al evaporador. Esto implica agregar una conexión de agua al drenaje de la casa para eliminar el fluido del sistema de aspersión más los escurrimientos producto del deshielo.

## **Bibliografía**

Mader, G. & Thybo, C. 2012, "A new method of defrosting evaporator coils", Applied Thermal Engineering, vol. 39, pp. 78-85.

Sommers, A.D. & Jacobi, A.M. 2005, "Air-side heat transfer enhancement of a refrigerator evaporator using vortex generation", International Journal of Refrigeration, vol. 28, no. 7, pp. 1006-1017.

Melo, C., Knabben, F.T. & Pereira, P.V. 2013, "An experimental study on defrost heaters applied to frost-free household refrigerators", Applied Thermal Engineering, vol. 51, no. 1-2, pp. 239-245.

Knabben, F.T., Hermes, C.J.L. & Melo, C. 2011, "In-situ study of frosting and defrosting processes in tube-fin evaporators of household refrigerating appliances", International Journal of Refrigeration, vol. 34, no. 8, pp. 2031-2041.

Özyurt, B., Karatas, H., Inan, C., Egrican, N., Hocaoglu, S. & Cousins, S. 2002, "Defrost efficiency in a no-frost-type household refrigerator", ASHRAE Transactions, pp. 460.

Zellner, R.J., 1954, Patent 2,686,407, "Method of elimination of refrigeration frost"

Stutz, 1974, Patent 3,828,570, "Sprinkling method to eliminate frost on evaporators"

## **Anexos**

NOM-015-ENER-2002, Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

facultades para presidir el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, así como expedir las normas oficiales mexicanas en el ámbito de su competencia, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 20 de septiembre de 1999 y el 29 de octubre de 1999, respectivamente, y

#### CONSIDERANDO

Que las reformas a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 28 de diciembre de 1994, delimitaron las facultades de la Secretaría de Energía, mismas entre las que se encuentra la de expedir normas oficiales mexicanas que promuevan la eficiencia del sector energético;

Que el Programa Nacional de Normalización de 2002 publicado en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de ese mismo año, contempla la expedición de la presente Norma Oficial Mexicana NOM-015-ENER-2002, Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado, cuya finalidad es la preservación y uso racional de los recursos energéticos;

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento, para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, ordenó la publicación del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-015-ENER-2002, Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado; lo que se realizó en el Diario Oficial de la Federación el 18 de septiembre de 2002, con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo que lo propuso;

Que durante el plazo de 60 días naturales contado a partir de la fecha de publicación de dicho Proyecto de Norma Oficial Mexicana, la Manifestación de Impacto Regulatorio a que se refiere el artículo 45 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, estuvo a disposición del público en general para su consulta y que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto de norma, los cuales fueron analizados por el citado Comité Consultivo, realizándose las modificaciones procedentes;

Que con fecha 20 de diciembre de 2002 se publicaron en el Diario Oficial de la Federación las respuestas a los comentarios recibidos respecto del Proyecto de Norma PROY-NOM-015-ENER-2002, Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado;

Que en la sesión XXIX Ordinaria del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, celebrada el 27 de noviembre de 2002, los miembros del Comité aprobaron por consenso la norma referida, y

Que la Ley Federal sobre Metrología y Normalización establece que las normas oficiales mexicanas se constituyen como el Instrumento Idóneo para la prosecución de estos objetivos, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente:

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-015-ENER-2002, EFICIENCIA ENERGÉTICA DE REFRIGERADORES Y CONGELADORES ELECTRODOMÉSTICOS. LÍMITES, MÉTODOS DE PRUEBA Y ETIQUETADO**

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., a 20 de diciembre de 2002.- El Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE) y Director General de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), Odón de Buen Rodríguez Rúbrica.

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-015-ENER-2002, EFICIENCIA ENERGÉTICA DE REFRIGERADORES Y CONGELADORES ELECTRODOMÉSTICOS. LÍMITES, MÉTODOS DE PRUEBA Y ETIQUETADO**

#### PREFACIO

La presente Norma Oficial Mexicana fue elaborada bajo la coordinación de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía y aprobada en el pleno del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos y con la colaboración de los siguientes organismos, instituciones y empresas:

- ASESORIA Y PRUEBAS A EQUIPO ELECTRICO Y ELECTRONICO, S.A. DE C.V.
- ASOCIACION NACIONAL DE FABRICANTES DE APARATOS DOMESTICOS, A.C.

- D ASOCIACION DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION, A.C.
- D ASOCIACION NACIONAL DE TIENDAS DE AUTOBREVICIO Y DEPARTAMENTALES, A.C.
- D DAEWOO ELECTRONICS HOME APPLIANCE DE MEXICO, S.A. DE C.V.
- D DIRECCION GENERAL DE NORMAS
- D FIDEICOMISO PARA EL AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA
- D GRUPO GOMO, S.A. DE C.V.
- D INDUSTRIAS QUETZAL, S.A. DE C.V.
- D INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS
- D LG ELECTRONICS MEXICO, S.A. DE C.V.
- D MASE MEXICO, S. DE R.L. DE C.V.
- D MAYTAG COMERCIAL, S. DE R.L. DE C.V.
- D PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGIA EN EL SECTOR ELECTRICO
- D SAMSUNG ELECTRONICS CORPORATIVO, S.A. DE C.V.
- D TECNOLOGIA Y SERVICIO, S.A. DE C.V.
- D WHIRLPOOL MEXICO, S.A. DE C.V.

#### CONTENIDO

- 0. Introducción
- 1. Objetivo
- 2. Campo de aplicación
- 3. Referencias
- 4. Definiciones
  - 4.1 Aparato
  - 4.2 Capacidad bruta refrigerada
  - 4.3 Ciclo
  - 4.4 Ciclo de deshielo
  - 4.5 Ciclo normal
  - 4.6 Ciclos incompletos del motocompresor
  - 4.7 Ciclos inexistentes del motocompresor
  - 4.8 Ciclos normales completos del motocompresor
  - 4.9 Compartimiento congelador
  - 4.10 Compartimiento de alimentos
  - 4.11 Condición térmica estable
  - 4.12 Congelador electrodoméstico
  - 4.13 Congelador horizontal
  - 4.14 Congelador vertical
  - 4.15 Deshielo
  - 4.16 Deshielo ajustable
  - 4.17 Deshielo automático
  - 4.18 Deshielo automático de duración larga
  - 4.19 Deshielo manual
  - 4.20 Deshielo parcialmente automático; deshielo cíclico
  - 4.21 Deshielo semiautomático

- 4.22 Evaporador
- 4.23 Factor de ajuste
- 4.24 Período de deshielo
- 4.25 Refrigerador electrodoméstico
- 4.26 Refrigerador-congelador (R/C)
- 4.27 Refrigerador convencional
- 4.28 Refrigerador, refrigerador-congelador y congelador compactos
- 4.29 Refrigerador solo
- 4.30 Temperatura del compartimento
- 4.31 Temperatura medida
- 4.32 Tiempo de estabilización
- 4.33 Volumen ajustado (VA)
- 4.34 Volumen Refrigerado total
- 5. Clasificación
  - 5.1 De acuerdo con su tipo
  - 5.2 De acuerdo con su sistema de deshielo
- 6. Especificaciones
  - 6.1 Límites de consumo de energía
  - 6.2 Volumen ajustado
  - 6.3 Factor de ajuste
- 7. Muestreo
  - 7.1 Selección de la muestra:
- 8. Criterios de aceptación
  - 8.1 Certificación
  - 8.2 Etiqueta
- 9. Método de prueba
  - 9.1 Determinación del volumen de los refrigeradores y congeladores electrodomésticos
  - 9.2 Cuarto de prueba
  - 9.3 Alimentación eléctrica
  - 9.4 Requerimiento general de prueba
  - 9.5 Instrumentación
  - 9.6 Preparación del aparato de prueba
  - 9.7 Distribución de sensores de temperatura para la medición de temperatura
  - 9.8 Condiciones de carga simulada
  - 9.9 Temperatura de compartimento
  - 9.10 Temperaturas de referencia normalizadas
  - 9.11 Control de temperatura
  - 9.12 Secuencia de pruebas
  - 9.13 Tiempo de prueba
  - 9.14 Consumo de energía durante el tiempo de prueba

- 9.15 Consumo de energía de un ciclo
- 9.16 Determinación del consumo de energía promedio de un ciclo
- 9.17 Consumo de energía anual
- 10. Etiquetado
  - 10.1 Permanencia
  - 10.2 Ubicación
  - 10.3 Información
  - 10.4 Dimensiones
  - 10.5 Distribución de la información y colores
- 11. Vigilancia
- 12. Evaluación de la conformidad
- 13. Bibliografía
- 14. Concordancia con normas internacionales
- 15. Transitorios

## APENDICE A

## APENDICE B

## APENDICE C

**0. Introducción**

La presente Norma Oficial Mexicana establece la actualización de los límites de consumo de energía máximos para refrigeradores, refrigeradores-congeladores, y congeladores. Esto ha sido como resultado de los avances tecnológicos y las condiciones del mercado nacional e Internacional.

Esta Norma permitirá, además de responder a las necesidades de promover el ahorro de energía, contribuir a la preservación de recursos naturales no renovables de la nación.

**1. Objetivo**

La presente Norma Oficial Mexicana fija los límites máximos de consumo de energía de los refrigeradores y congeladores electrodomésticos operados por motocompresor hermético, establece los métodos de prueba para determinar dicho consumo de energía y calcular el volumen refrigerado total, y especifica la etiqueta de consumo de energía y su contenido.

**2. Campo de aplicación**

Esta Norma Oficial Mexicana aplica a los refrigeradores electrodomésticos, refrigeradores-congeladores electrodomésticos de hasta 1104 dm<sup>3</sup> (39 pies<sup>3</sup>) y congeladores electrodomésticos de hasta 800 dm<sup>3</sup> (30 pies<sup>3</sup>) operados por motocompresor hermético comercializados en los Estados Unidos Mexicanos.

**3. Referencias**

La presente Norma Oficial Mexicana se complementa con las siguientes normas oficiales mexicanas vigentes o las que las sustituyan:

NOM-008-SCFI, Sistema general de unidades de medida.

NOM-030-SCFI, Información comercial-Declaración de cantidad en la etiqueta-Especificaciones.

**4. Definiciones**

Para efectos de la presente Norma Oficial Mexicana se establecen las definiciones siguientes:

**4.1 Aparato**

Se refiere a cualquiera de los refrigeradores y congeladores electrodomésticos cubiertos por esta Norma.

**4.2 Capacidad bruta refrigerada**

Volumen total refrigerado, indicado en decímetros cúbicos (dm<sup>3</sup>).

**4.3 Ciclo**

Periodo de 24 h para el cual se calcula el consumo de energía.

#### 4.4 Ciclo de deshielo

Tiempo que transcurre entre el inicio de un periodo de deshielo hasta el inicio del siguiente periodo de deshielo, tomando en cuenta todos los ciclos del motocompresor.

#### 4.5 Ciclo normal

El ciclo en el cual, cuando el refrigerador cuenta con una resistencia anticondensación, esta opera en su condición de máximo consumo de energía.

#### 4.6 Ciclos Incompletos del motocompresor

Funcionamiento del motocompresor con un solo encendido y/o apagado durante el periodo de prueba.

#### 4.7 Ciclos Inexistentes del motocompresor

Funcionamiento del motocompresor continuo durante el periodo de prueba.

#### 4.8 Ciclos normales completos del motocompresor

Funcionamiento del motocompresor con más de un encendido y/o apagado durante el periodo de prueba.

#### 4.9 Compartimiento congelador

Es el espacio del aparato en el que se puede congelar agua y/o alimentos a temperaturas menores de 0°C. Existen dos tipos básicos:

##### 4.9.1 Compartimiento congelador incorporado

Es el que se localiza dentro del compartimiento de alimentos.

##### 4.9.2 Compartimiento congelador independiente

Es el que se localiza fuera del compartimiento de alimentos y tiene puerta de acceso independiente.

#### 4.10 Compartimiento de alimentos

Es el espacio interior del aparato en donde se mantienen los alimentos a una temperatura de  $4^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ . Puede estar dividido en varios compartimientos individuales.

#### 4.11 Condición térmica estable

Es una condición que se establece durante el tiempo de estabilización bajo las condiciones de operación continua o ciclos del motocompresor en la que el promedio de la temperatura del compartimiento o la temperatura de los paquetes de carga, lo que aplique, no varíe más de  $0,6^{\circ}\text{C}$  ( $1^{\circ}\text{F}$ ) en dos ciclos (si los ciclos ocurren) o 2 h, lo que resulte mayor.

Si el aparato no realiza ciclos de motocompresor, la temperatura promedio entre dos lecturas cualesquiera, no variará más de  $0,6^{\circ}\text{C}$  ( $1^{\circ}\text{F}$ ) para un periodo de 2 h inmediato anterior a un ciclo de deshielo, si es aplicable.

Si esta condición no se reúne, entonces el promedio de temperatura durante un periodo de 2 h anterior a cualquier ciclo de deshielo, si es aplicable, no debe variar más de  $0,6^{\circ}\text{C}$  ( $1^{\circ}\text{F}$ ) cuando se compare a la temperatura promedio durante 2 h del periodo anterior al próximo ciclo de deshielo.

#### 4.12 Congelador electrodoméstico

Aparato que está diseñado para almacenar alimentos por periodos prolongados, a temperaturas de  $-17,8^{\circ}\text{C}$  o menores. Es enfriado por medio de un sistema refrigerante alimentado con energía eléctrica.

#### 4.13 Congelador horizontal

Congelador electrodoméstico cuyo acceso se hace por una puerta colocada en la parte superior.

#### 4.14 Congelador vertical

Congelador electrodoméstico cuyo acceso se hace por una puerta frontal.

#### 4.15 Deshielo

Eliminación de la escarcha acumulada en el evaporador.

#### 4.16 Deshielo ajustable

Sistema de deshielo en el que un dispositivo electromecánico, control de deshielo ajustable (identificado como CDA), registra el tiempo total del periodo de deshielo y lo compara con un tiempo de referencia para incrementar o decrementar el tiempo del próximo ciclo de deshielo.

El sistema de deshielo automático de larga duración (excepto la condición de deshielo de 14 h, que no aplica) en el que los ciclos de deshielo sucesivos se determinan, además del tiempo de operación del compresor, por una o más variables de las condiciones de operación. Esta variable o variables incluyen cualquier dispositivo eléctrico o mecánico. El deshielo por demanda es un tipo de control particular de deshielo ajustable.

#### 4.17 Deshielo automático

Sistema de deshielo que se efectúa en forma automática y se consigue por medio de un mecanismo incorporado en el control. El agua de deshielo se elimina siempre en forma automática.

#### 4.18 Deshielo automático de duración larga

Sistema de deshielo automático, en los cuales los ciclos de deshielo operan en tiempos cuya separación entre sí es mayor a 14 h (tiempo de operación del motocompresor).

#### 4.19 Deshielo manual

Sistema en el que el deshielo se inicia manualmente (al desconectar el aparato de la alimentación eléctrica) y se termina manualmente (al conectar nuevamente el motocompresor a la alimentación) y ocurre por la elevación de temperatura del evaporador al no haber enfriamiento. Generalmente el agua del deshielo se deposita en una charola que se retira manualmente una vez concluido el deshielo.

#### 4.20 Deshielo parcialmente automático; deshielo cíclico

Sistema en el que las superficies refrigeradas del compartimiento congelador se deshuelan manualmente y las superficies refrigeradas del compartimiento de alimentos se deshuelan automáticamente. El agua de deshielo del compartimiento de alimentos se desecha automáticamente o es recibida en un contenedor para su posterior retiro manual.

#### 4.21 Deshielo semiautomático

Sistema en el que el deshielo se inicia en forma manual (deteniendo el funcionamiento del motocompresor) y se termina automáticamente cuando la temperatura se ha elevado arriba de 0°C, con la reanudación automática del ciclo de refrigeración. Generalmente el agua del deshielo se deposita en una charola que manualmente se retira una vez concluido el deshielo.

#### 4.22 Evaporador

Parte del sistema de refrigeración en el cual se vaporiza el refrigerante para producir el efecto de refrigeración.

#### 4.23 Factor de ajuste

Es la razón de la diferencia de la temperatura ambiente de prueba y la temperatura normalizada de referencia del compartimiento congelador entre la diferencia de la temperatura ambiente de prueba y el promedio de la temperatura de operación del compartimiento de alimentos, según el inciso 6.3.

#### 4.24 Período de deshielo

Tiempo transcurrido entre el inicio de un deshielo y el momento en que se reinicia nuevamente la operación del motocompresor.

#### 4.25 Refrigerador electrodoméstico

Aparato de volumen y equipos adecuados para uso doméstico enfriado por medio de un sistema refrigerante alimentado con energía eléctrica y en el cual se almacenan alimentos para su conservación.

#### 4.26 Refrigerador-congelador (R/C)

Es aquel que tiene por lo menos un compartimiento de alimentos y por lo menos un compartimiento congelador independiente con temperaturas de -13,3°C en promedio o menores, generalmente, el usuario puede ajustar su temperatura a -17,8°C o menores.

#### 4.27 Refrigerador convencional

Es aquel que cuenta con un compartimiento de alimentos y por lo menos un compartimiento congelador incorporado con temperaturas entre 0°C y -13,3°C. Se caracteriza por su(s) superficie(s) refrigerada(s) que envuelve(n) parcialmente el compartimiento congelador y enfría el compartimiento de alimentos por

convección natural. Usualmente tiene una partición, bandeja de carnes, que cuando se quita o ajusta expone un área adicional de la superficie refrigerada hacia el compartimiento de alimentos.

#### 4.27.1 Clase I

Es aquel que cuenta con un compartimiento congelador incorporado capaz de mantener temperaturas menores o iguales que  $-9,4^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.27.2 Clase II

Es aquel que cuenta con un compartimiento congelador incorporado capaz de mantener temperaturas entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $-9,4^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.28 Refrigerador, refrigerador-congelador y congelador compactos

Significa cualquier refrigerador, refrigerador-congelador o congelador con un volumen total menor que  $220\text{ dm}^3$  ( $7,75\text{ pies}^3$ ) (volumen calculado, como se indica en los Apéndices A y B de la presente Norma) y  $0,91\text{ m}$  ( $36\text{ pulgadas}$ ) o menos de altura.

#### 4.29 Refrigerador solo

Es aquel que cuenta con un compartimiento de alimentos y que puede incluir un compartimiento congelador incorporado con un volumen de  $14,5\text{ dm}^3$  ( $0,5\text{ pies}^3$ ) o menos.

#### 4.30 Temperatura del compartimiento

La temperatura que debe reportarse para cada compartimiento (alimentos o congelador), es el promedio de las temperaturas medidas durante la prueba en los puntos mostrados en las figuras 1 a la 4 y en el apéndice C (Informativo), según corresponda.

#### 4.31 Temperatura medida

La temperatura medida de un compartimiento es el promedio de las lecturas de todos los sensores de temperatura en ese compartimiento en un instante dado. La medición de la temperatura debe hacerse en intervalos que no excedan 4 min.

#### 4.32 Tiempo de estabilización

Periodo de tiempo total durante el cual se logra la condición térmica estable o se evalúa.

#### 4.33 Volumen Ajustado (VA)

Es el volumen del compartimiento de alimentos más el volumen del compartimiento congelador afectado por el factor de ajuste que corresponda.

#### 4.34 Volumen refrigerado total

Para refrigeradores electrodomésticos, es la suma del volumen del compartimiento de alimentos frescos y el volumen del compartimiento congelador. Para congeladores electrodomésticos, es el volumen del compartimiento congelador.

### 5. Clasificación

Para efectos de aplicación de la presente Norma, los refrigeradores y congeladores se clasifican:

#### 5.1 De acuerdo con su tipo:

##### 5.1.1 Refrigerador solo

##### 5.1.2 Refrigerador convencional

##### 5.1.3 Refrigerador-congelador

##### 5.1.4 Congelador vertical

##### 5.1.5 Congelador horizontal

#### 5.2 De acuerdo con su sistema de deshielo:

##### 5.2.1 Manual

## 5.2.2 Semiautomático

## 5.2.3 Parcialmente automático

## 5.2.4 Automático

## 5.2.5 Automático de duración larga

## 5.2.6 Automático ajustable

## 6. Especificaciones

## 6.1 Límites de consumo de energía

Los límites de consumo de energía máximos se determinan al aplicar las fórmulas de la tabla 1 a los aparatos electrodomésticos por su tipo, sistema de deshielo y volumen ajustado.

El consumo de energía para los aparatos con deshielo automático ajustable, determinado como se indica en el inciso 9, debe multiplicarse por 0,965 para compararlo con el límite de consumo de energía máximo ( $E_{max}$ ) de la tabla 1 que le corresponda.

TABLA 1. Límites de consumo de energía máximos para refrigeradores y congeladores

	Descripción del aparato electrodoméstico	$E_{MAX}$
1	Refrigerador solo, convencional y refrigerador-congelador (R/C) con deshielo manual o semiautomático.	$0,31VA+248,4$
2	Refrigerador-congelador con deshielo parcialmente automático.	$0,31VA+248,4$
3	Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado en la parte superior, sin despachador de hielo, y refrigeradores solos con deshielo automático.	$0,35VA+276,0$
4	Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado lateralmente, sin despachador de hielo.	$0,17VA+507,5$
5	Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado en la parte inferior, sin despachador de hielo.	$0,16VA+459,0$
6	Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado en la parte superior, con despachador de hielo.	$0,36VA+356,0$
7	Refrigerador-congelador con deshielo automático y congelador montado lateralmente, con despachador de hielo.	$0,36VA+406,0$
8	Congelador vertical con deshielo manual.	$0,27VA+258,3$
9	Congelador vertical con deshielo automático.	$0,44VA+326,1$
10	Congelador horizontal y todos los demás congeladores, excepto congelador compacto.	$0,35VA+143,7$
11	Refrigerador y refrigerador-congelador compacto con deshielo manual.	$0,38VA+299,0$
12	Refrigerador-congelador compacto con deshielo parcialmente automático.	$0,25VA+398,0$
13	Refrigerador-congelador compacto con deshielo automático y congelador montado en la parte superior y refrigerador solo compacto con deshielo automático.	$0,45VA+355,0$
14	Refrigerador-congelador compacto con deshielo automático y congelador montado lateralmente.	$0,27VA+501,0$
15	Refrigerador-congelador compacto con deshielo automático y congelador montado en la parte inferior.	$0,46VA+367,0$
16	Congelador vertical compacto con deshielo manual.	$0,35VA+250,8$
17	Congelador vertical compacto con deshielo automático.	$0,40VA+391,0$
18	Congelador horizontal compacto.	$0,37VA+152,0$

Donde:

$E_{MAX}$  = Consumo de energía máximo por año, en kWh/año.

$V_A$  = Volumen Ajustado, en  $dm^3$ .

Para la correcta aplicación de los límites de consumo de energía establecidos en la tabla 1 es necesario realizar el cálculo del volumen ajustado del aparato electrodoméstico como se indica en el inciso 6.2.

Para determinar el consumo de energía de los aparatos electrodomésticos se debe emplear exclusivamente el método de prueba descrito en el inciso 9.

### 6.2 Volumen Ajustado

El volumen ajustado de un aparato debe ser tomado como:

$$V_A = V_a + (V_c \times FA)$$

Donde:

$V_A$  = Volumen Ajustado, en  $dm^3$

$V_a$  = Volumen del compartimiento de alimentos determinado como se indica en el apéndice A, en  $dm^3$

$V_c$  = Volumen del compartimiento congelador en un refrigerador electrodoméstico, determinado como se indica en el apéndice A o volumen de un congelador electrodoméstico, determinado como se indica en el apéndice B, en  $dm^3$

$FA$  = Factor de Ajuste, determinado como se indica en el inciso 6.3

### 6.3 Factor de ajuste

El factor de ajuste debe ser calculado de acuerdo a la expresión siguiente.

$$FA = \frac{t - t_c}{t - t_a}$$

Donde:  $FA$  = Factor de ajuste

$t$  = temperatura ambiente del cuarto de pruebas

$t_c$  = temperatura de referencia del compartimiento congelador

$t_a$  = temperatura promedio de operación del compartimiento de alimentos

Nota: La temperatura promedio de operación del compartimiento de alimentos debe ser 3,3°C.

#### 6.3.1 Refrigerador solo.

Para refrigeradores solos el factor de ajuste es 1,00.

#### 6.3.2 Refrigerador convencional.

Para refrigeradores convencionales el factor de ajuste es:

$$FA = \frac{32,2 - (-0,4)}{32,2 - 3,3} = 1,44$$

#### 6.3.3 Refrigerador-congelador.

Para refrigeradores-congeladores el factor de ajuste es:

$$FA = \frac{32,2 - (-15)}{32,2 - 3,3} = 1,63$$

#### 6.3.4 Congelador horizontal y vertical.

Para congeladores horizontales y verticales el factor de ajuste es:

$$FA = \frac{32,2 - (-17,8)}{32,2 - 3,3} = 1,73$$

## 7. Muestreo

### 7.1 Selección de la muestra:

Se requiere aplicar el siguiente plan de muestreo a cada modelo de aparato electrodoméstico de acuerdo con su tipo, sistema de deshielo y volumen ajustado.

7.1.1 Se toma una muestra de tres aparatos de la producción, o representativa de la producción del modelo que requiera probarse.

7.1.2 Para el caso de productos de importación la muestra debe ser de tres aparatos que requiera probarse.

## 8. Criterios de aceptación

### 8.1 Certificación

El modelo cumple con la norma si se satisface la condición de los incisos 8.1.1 y 8.1.2

8.1.1 El promedio de los resultados de la prueba de consumo de energía de la muestra debe ser menor o igual al límite de consumo de energía máximo, calculado con la fórmula de la tabla 1, inciso 6.1, que corresponda al aparato.

En caso de no cumplirse el requisito anterior, se permite repetir la prueba a una segunda muestra.

Si esta segunda muestra no satisface con las condiciones especificadas, el modelo no cumple con lo especificado.

8.1.2 En caso de no cumplirse con lo especificado en 9.12, se permite repetir la prueba en una segunda muestra.

Si esta segunda muestra no satisface con las condiciones especificadas, el modelo no cumple con lo especificado.

### 8.2 Etiqueta

El titular (fabricante, importador o comercializador) es quien propone el valor de consumo anual de energía en kWh/año, que debe utilizarse en la etiqueta del modelo o familia que desee certificar; este valor debe cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Ser siempre igual o menor al nivel de consumo máximo permisible por la norma, según la clasificación del aparato (inciso 6.1, tabla 1).
- b) El valor de consumo obtenido en cualquier prueba (certificación inicial, renovación, muestreo, ampliación, etc.) debe ser igual o menor al valor indicado en la etiqueta, en caso contrario sólo se debe permitir un incremento de 3% de variación siempre y cuando este valor no sea mayor al límite máximo permisible de la tabla 1.

## 9. Método de prueba

### 9.1 Determinación del volumen de los refrigeradores y congeladores electrodomésticos

La determinación del volumen refrigerado total de los refrigeradores electrodomésticos, incluyendo el volumen de sus compartimientos de alimentos y congelador, se realiza como establece el apéndice A.

La determinación del volumen refrigerado total de los congeladores electrodomésticos se realiza como establece el apéndice B.

### 9.2 Cuarto de prueba

#### 9.2.1 Temperatura ambiente

La temperatura ambiente del cuarto de prueba medida a una distancia de 25,4 cm (10 pulgadas) del centro de las paredes laterales del aparato y a una altura de 91,5 cm (3 pies) de la base del aparato debe ser de  $32,2^{\circ}\text{C} \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ . Esta temperatura debe mantenerse dentro de la tolerancia señalada durante el periodo de estabilización al igual que durante las pruebas.

El gradiente vertical de temperatura en cualquier punto arriba de 5,1 cm (2 pulgadas) del piso o de la plataforma de soporte y hasta 30,5 cm (1 pie) arriba de la parte superior del gabinete no debe ser mayor de 0,9°C por metro de distancia vertical (0,5°F por pie).

Cuando se use plataforma, ésta debe tener su parte superior sólida con los lados abiertos para permitir la circulación del aire por su parte inferior. La plataforma debe extenderse por lo menos 30,5 cm (1 pie) al frente y lados del gabinete y en la parte posterior la distancia necesaria para quedar a tope con la pared del cuarto de prueba.

El uso de la plataforma es obligatorio cuando la temperatura del piso difiera de 32,2°C ± 1,7°C (± 3°F).

#### 9.2.2 Circulación del aire

El gabinete en prueba debe estar protegido de corrientes de aire cuya velocidad sea mayor de 0,254 m/s (50 pies/minuto).

#### 9.2.3 Radiación

El gabinete en prueba debe estar protegido de radiación directa de cualquier superficie enfriada o calentada cuya temperatura tenga una diferencia de más de 5,6°C (10°F) con la temperatura ambiente del cuarto de prueba.

#### 9.3 Alimentación eléctrica

El suministro eléctrico debe ser de 60 Hz y la tensión de 115 V ± 1 V. La tensión debe ser medida en la alimentación del producto sometido a prueba mientras el motocompresor esté operando.

#### 9.4 Requerimiento general de prueba

Para cada prueba el aparato debe ser operado con las condiciones especificadas por un tiempo suficientemente largo para alcanzar la condición térmica estable (véase el inciso 4.11).

#### 9.5 Instrumentación

##### 9.5.1 Temperatura

La medición de la temperatura debe hacerse con uno o más de los siguientes instrumentos o sus equivalentes:

- Termómetro de vidrio (únicamente mediciones ambientales)
- Sensores de temperatura. La masa para elevar la capacidad de calor de un sensor de temperatura, debe tener dimensiones de diámetro y altura de 2,9 cm ± 0,6 cm (1,12 pulgadas ± 0,25 pulgadas), y debe estar hecha de bronce o cobre u otro material con capacidad térmica total no mayor que la de 20 g de agua.
- Termómetros de resistencia eléctrica y/o termistores

Las lecturas de temperatura deben tener una exactitud de ± 0,6°C (± 1°F).

Para las mediciones con instrumentos analógicos la resolución debe ser 1°C (1,8°F) o mejor. Para las mediciones con instrumentos digitales la resolución de 0,1°C (0,18°F) o mejor.

##### 9.5.2 Eléctrica

Las mediciones eléctricas deben ser hechas con los siguientes instrumentos o sus equivalentes:

- Watt-hourímetros: Los watt-hourímetros analógicos deben tener una resolución de 0,01 kWh o mejor. Los instrumentos digitales deben tener una resolución de 0,001 kWh o mejor.
- Vóltímetros: Para los voltímetros analógicos deben tener una resolución de 1 V o mejor. Para mediciones con instrumentos digitales la resolución de 0,1 V o mejor.

Los instrumentos usados para la medición de tensión y energía deben tener una exactitud de ± 0,5% de la cantidad medida o mejor.

##### 9.5.3 Tiempo

Las mediciones de tiempo se hacen con un reloj eléctrico sincrónico de arranque automático o un integrador de tiempo semejante.

#### 9.5.4 Masa

La masa debe ser determinada usando escalas con una resolución de 4,5 g (0,01 lb) o mejor.

#### 9.5.5 Longitudes

Las dimensiones longitudinales del aparato se determinan con un flexómetro o instrumento similar. La resolución debe ser 1 mm o mejor.

#### 9.6 Preparación del aparato de prueba

##### 9.6.1 Condiciones de funcionamiento del aparato:

- a) Mantener los deflectores abiertos, a menos que se especifique de otra manera en el manual de instrucciones del fabricante.
- b) No deben funcionar durante la prueba los dispositivos automáticos generadores de hielo.
- c) Los controles de temperatura para los compartimientos de mantaquilla deben funcionar en el nivel de consumo energético mínimo.
- d) Luces de cortesia, radios, relojes, lámparas higiénicas y similares deben desconectarse cuando exista la posibilidad mediante un interruptor.
- e) Accesorios operados eléctricamente, de inicio manual y terminación automática deben operar en su nivel de consumo energético mínimo.
- f) Compartimientos de alimentos convertibles a congelador deben operarse en la posición de control de temperatura de máximo consumo energético.
- g) Otros compartimientos con temperatura controlable se consideran compartimientos especiales (como serían legumbreira y compartimiento de carnes) y son probados con sus controles de temperatura en la posición en que se logre la menor temperatura posible.
- h) En modelos sin deshielo automático el evaporador requiere de deshielo antes de cada prueba. Las charolas e interior del aparato deben secarse después del deshielo y previamente al inicio de otras pruebas.
- i) Antes de que el aparato sea probado por primera vez, éste debe operar un tiempo suficiente para asegurar el correcto funcionamiento de todos sus componentes. En ningún caso este periodo debe ser menor que 24 h de funcionamiento. El periodo de operación puede llevarse a cabo a cualquier temperatura ambiente que se considere conveniente.

##### 9.6.2 Instalación del aparato

El aparato se debe instalar con sus paredes laterales a una distancia igual o mayor a 250 mm de cualquier superficie para asegurar la libre circulación del aire. El espacio entre la pared trasera del aparato y la pared del cuarto de pruebas (o pared simulada) debe ser la que indica el fabricante, o la determinada por topes mecánicos del gabinete; de no existir alguna de estas dos condiciones el aparato se coloca con 50 mm de separación entre la pared y el punto más cercano del fondo del aparato.

##### 9.6.3 Resistencia anticondensación

Si el refrigerador tiene instalado un interruptor de resistencia anticondensación y es embarcado con este interruptor en la posición de apagado se deben efectuar pruebas con el interruptor de la resistencia anticondensación en las posiciones de encendido y apagado para cada una de las pruebas indicadas en el inciso 9.12. En este caso el consumo de energía es el resultado de promediar ambos resultados, con el interruptor de la resistencia anticondensación en la posición de encendido y en la posición de apagado.

#### 9.7 Distribución de sensores de temperatura para la medición de temperatura

La temperatura del compartimiento de alimentos se registra en tres sitios, como se muestra en la figura 1.

Para los refrigeradores solos (que no tienen compartimiento congelador o que el volumen de éste es menor o igual a 14,5 dm<sup>3</sup>) no se reporta temperatura del compartimiento congelador.

La temperatura del compartimiento congelador se registra en los sitios que se muestran en las figuras 2, 3 o 4, según corresponda.

Las temperaturas del compartimiento de alimentos de los refrigeradores y refrigeradores-congeladores y del compartimiento congelador de los refrigeradores-congeladores con deshielo automático y congeladores electrodomésticos se miden usando sensores de temperatura cuyo extremo debe ir embebido en una masa metálica que reúna las condiciones del inciso 9.5.1.

Todas las masas para medir la temperatura deben estar soportadas con material de baja conductividad térmica y de tal manera que haya al menos 25 mm (1 pulgada) de espacio de aire separando la masa térmica de cualquier superficie.

En caso de interferencia del sensor localizado en el punto especificado en las figuras 1 a la 4, por un arreglo diferente en el compartimiento de alimentos o en el compartimiento congelador, el sensor se colocará en un lugar lo más cercano al especificado de tal manera que exista una distancia de 25 mm (1 pulgada) entre la masa del sensor y el anaquel o charola y se registran estos nuevos puntos.

### 9.8 Condiciones de carga simulada

9.8.1 En las pruebas a refrigeradores solos y refrigeradores-congeladores con deshielo automático no se utiliza carga simulada.

9.8.2 Los refrigeradores convencionales y refrigeradores-congeladores con deshielo manual, deshielo semiautomático y deshielo parcialmente automático y congeladores, con un compartimiento congelador cuyo volumen sea mayor a 14,5 dm<sup>3</sup> deben llevar carga simulada en el compartimiento congelador.

### 9.8.3 Carga simulada

La carga simulada consiste en paquetes que miden: 130 mm x 100 mm x 40 mm,  $\pm 15\%$ . Los paquetes deben sellarse o cubrirse con alguna envoltura que evite se escape la humedad que tienen. Los paquetes de carga deben llenarse con aserrín de maderas duras humedecidas con agua de tal manera que la densidad de los paquetes sea 560 kg/m<sup>3</sup>  $\pm$  80 kg/m<sup>3</sup>, o como alternativa a lo anterior, paquetes equivalentes de alimento congelado tales como espinaca picada.

Para la medición de temperaturas en el compartimiento congelador los sensores de temperatura deben estar en el centro geométrico de los paquetes y éstos a su vez colocados de tal forma que los puntos donde se mida la temperatura coincidan con los mostrados en las figuras 2, 3 o 4, según corresponda. Si es necesario el cambio de estas localizaciones por interferencia con el arreglo del compartimiento congelador, debe procurarse la colocación más cercana a los puntos especificados en estas figuras y reportarse la localización seleccionada.

El compartimiento congelador debe llenarse con paquetes de carga que ocupen como máximo el 75% de su volumen. El espacio de aire alrededor de la carga del congelador debe ser de 15 mm a 40 mm, con los paquetes colocados en forma piramidal, o bien, estratos uniformes alineados según sea necesario para localizar apropiadamente los sensores de temperatura de acuerdo con lo que se menciona arriba.

Cada sección o anaquel del compartimiento congelador (si existen) se carga con el 75% de su capacidad total, con los paquetes descritos. Los anaqueles de los interiores de las puertas del compartimiento congelador (si existen) se cargan con el número máximo de paquetes que puedan contener sin sujeción adicional para detenerlos.

Se puede emplear una rejilla de alambre con espaciadores de material bajo en conductividad térmica para cuidar que los paquetes no se muevan y obstruyan el espacio de aire.

### 9.9 Temperatura de compartimiento

La temperatura de compartimiento durante la prueba se obtiene a lo largo de un ciclo completo o varios ciclos completos del motocompresor, como se indica en 9.9.1, o en el tiempo establecido en 9.9.2 o 9.9.3 cuando no se tienen ciclos completos de motocompresor.

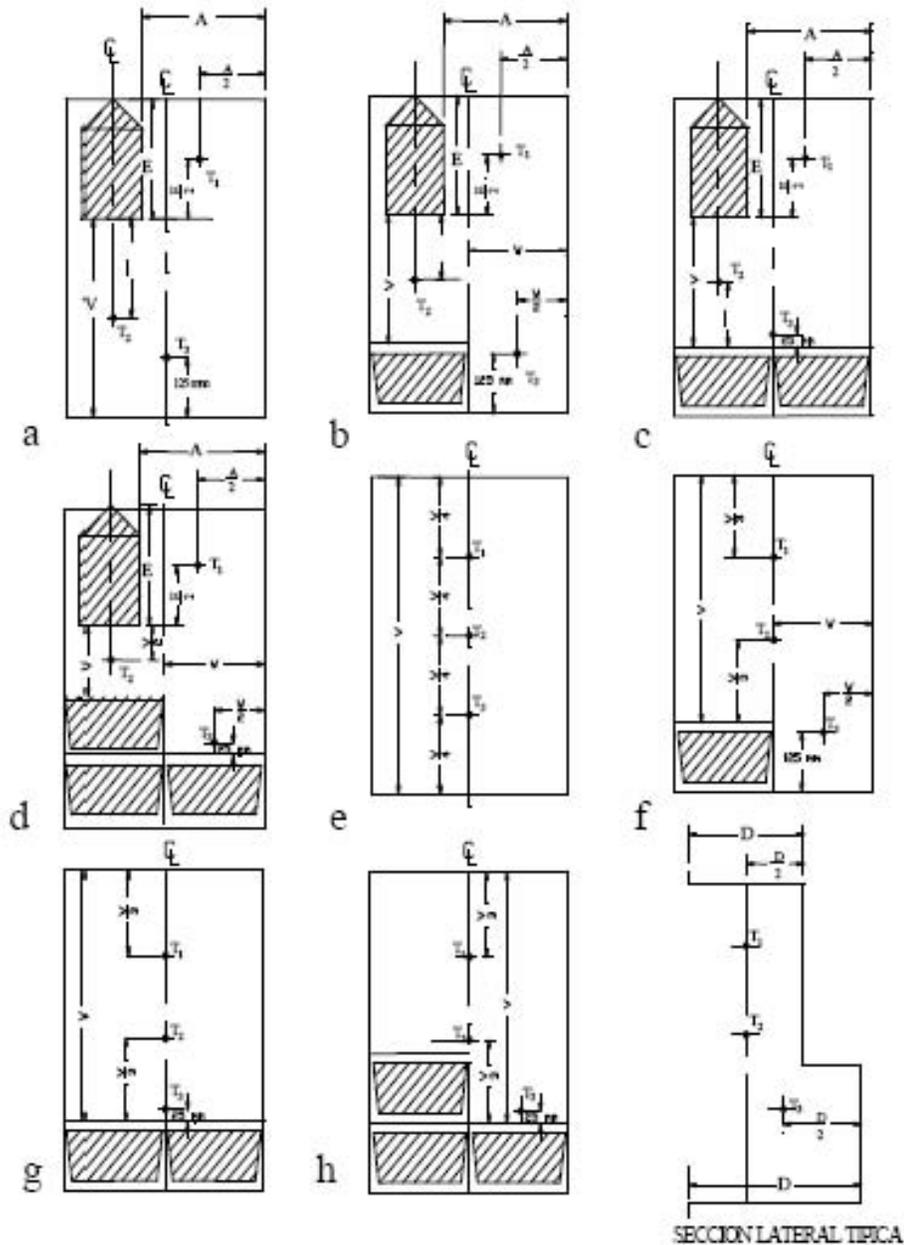
Para aparatos con deshielo automático de periodo largo las temperaturas del compartimiento son las medidas en la primera parte del periodo de prueba especificado en 9.13.3.

9.9.1 La temperatura del compartimiento es el promedio de las temperaturas medidas registradas durante el número de ciclos completos del motocompresor que es igual al número de minutos entre lecturas de temperaturas medidas, redondeando al siguiente minuto entero; también puede determinarse durante los ciclos completos a lo largo de un periodo mayor que una hora.

Uno de los ciclos incluidos debe ser el último ciclo completo del motocompresor del periodo de prueba.

9.9.2 Con ciclos del motocompresor inexistentes, la temperatura del compartimiento es el promedio de las temperaturas medidas registradas en los últimos 32 min del periodo de prueba.

9.9.3 Con ciclos incompletos del motocompresor (menos de un ciclo), la temperatura del compartimiento es el promedio de las temperaturas medidas registradas durante las últimas 3 h del último periodo de funcionamiento del motocompresor.



\*A\*, \*D\*, \*E\*, \*W\* y \*V\* son designaciones arbitrarias para determinar la localización de qué temperaturas deben ser medidas. Las dimensiones de profundidad deben ser medidas desde la pared trasera hasta el plano definido por la superficie de la junta sello.  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$  indican localización de sensores de temperatura.

Figura 1. Colocación de sensores de temperatura para determinar las temperaturas en el compartimento de alimentos.

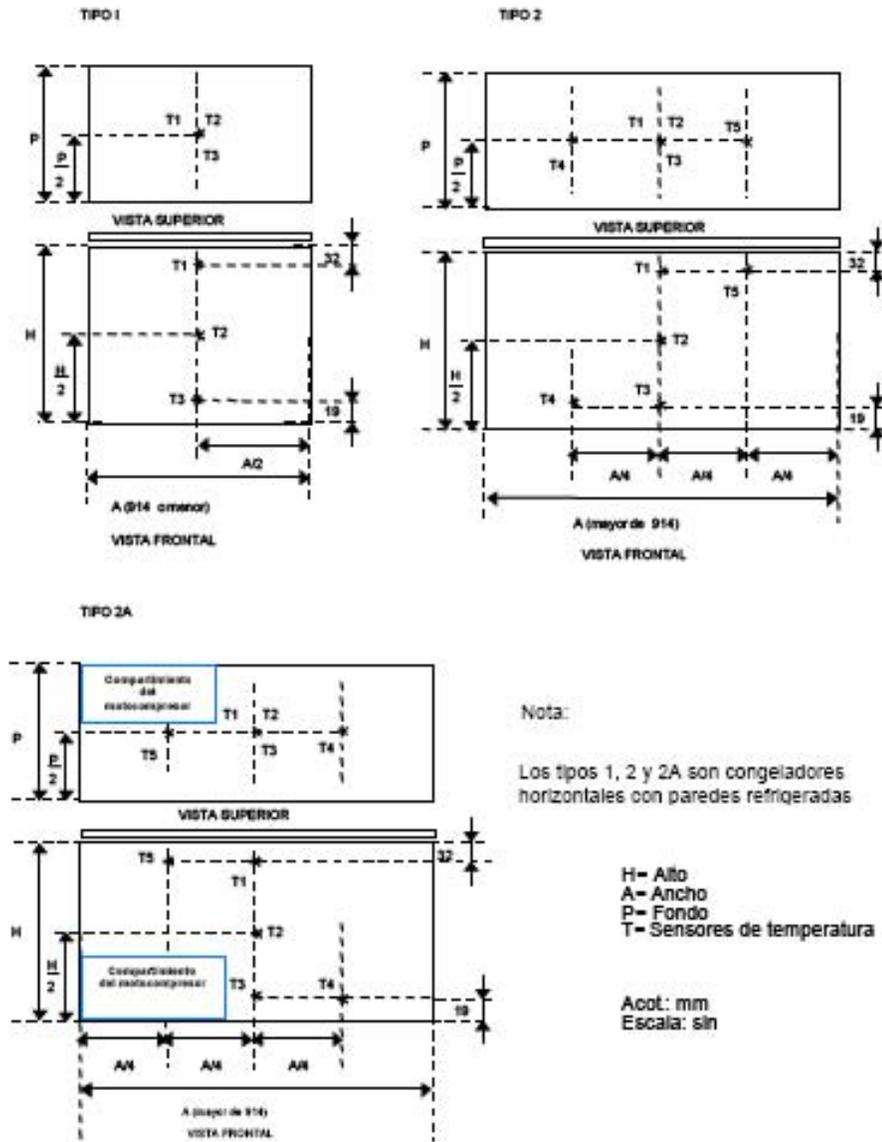


Figura 2. Colocación de sensores de temperatura en congeladores horizontales.

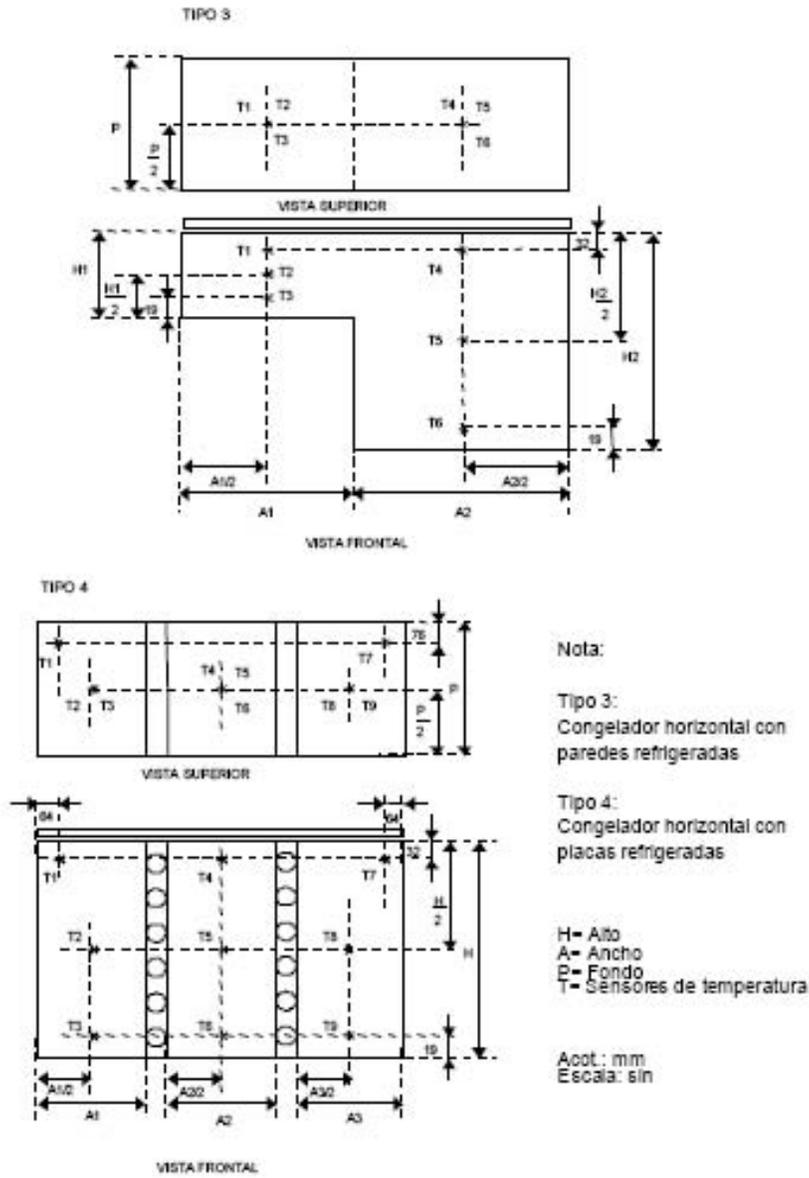
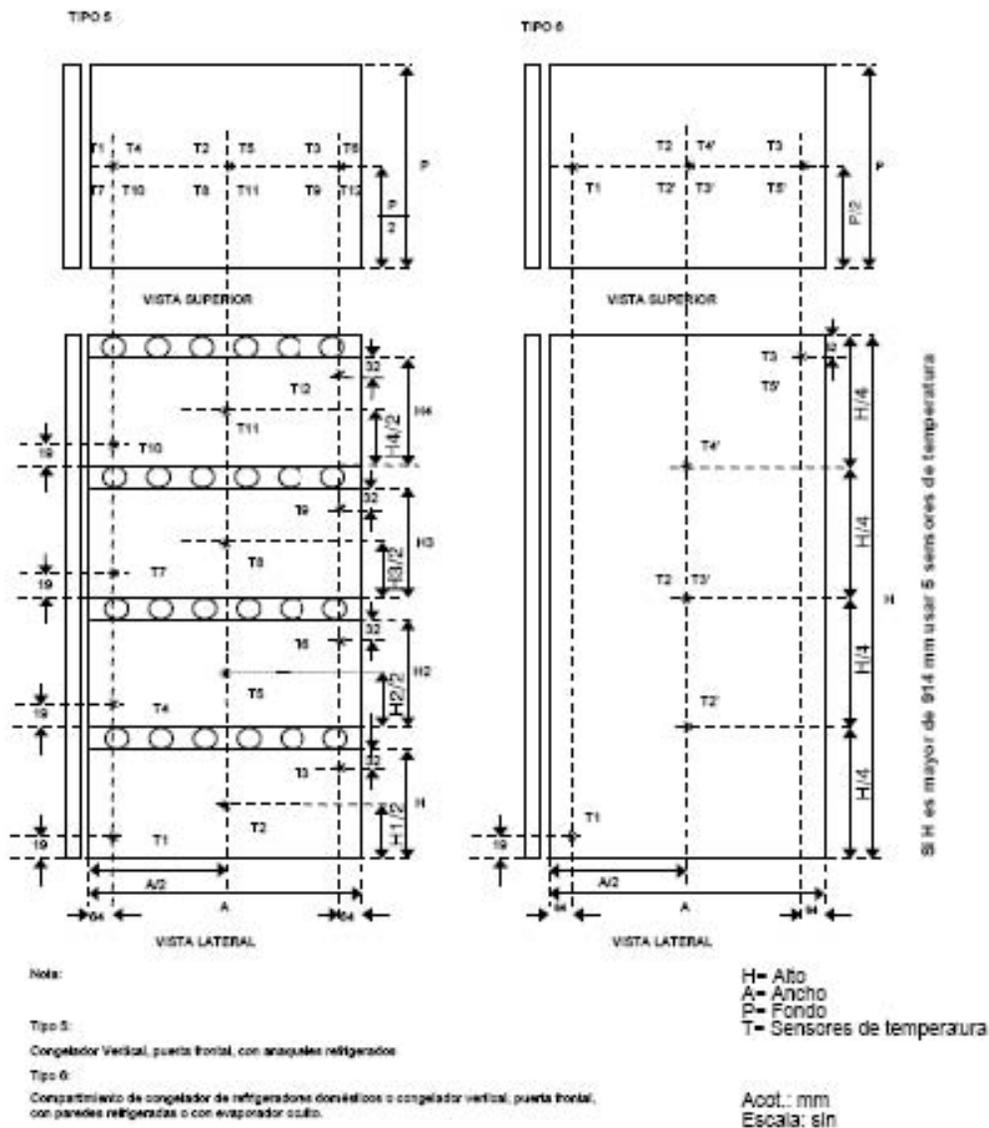


Figura 3. Colocación de sensores de temperatura en congeladores horizontales.



Si un saliente en el lado interno de la puerta interfiere con la localización del sensor de temperatura, el sensor se colocará en un lugar lo más cercano al especificado.

Para los tipos 1, 2, 3 y 4 la altura debe ser medida desde la parte inferior de la superficie interna (o desde la parte de arriba de un tripé, si se cuenta con él) hasta el plano definido por la superficie del sello junta.

Para los tipos 5 y 6 la altura debe ser medida desde la parte inferior de la superficie interna (o desde la parte de arriba de un tripé, si se cuenta con él).

Para los tipos 5 y 6 la dimensión de la profundidad debe ser medida desde el fondo de la superficie interna hasta el plano definido por la junta sello.

Para el tipo 5 los anaqueles no refrigerados son tratados como si ellos no existieran.

Figura 4. Colocación de sensores de temperatura en congeladores verticales.

## 9.10 Temperaturas de referencia normalizadas

APARATO	COMPARTIMIENTO DE REFERENCIA	TEMPERATURA DE REFERENCIA
Refrigerador solo	de alimentos	3,3°C
Refrigerador convencional	congelador	-9,4°C
Refrigerador-congelador	congelador	-15,0°C
Congelador	congelador	-17,8°C

## 9.11 Control de temperatura

## 9.11.1 Modelos sin control de temperatura ajustable por el usuario.

Se mide la temperatura y el consumo de energía con el control de temperatura operando normalmente, de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

## 9.11.2 Modelos con control de temperatura ajustable por el usuario.

La prueba se debe llevar a cabo de acuerdo con las secuencias enunciadas en el inciso 9.12.

## 9.12 Secuencia de pruebas

## 9.12.1 Las pruebas se realizan, después de obtener la condición térmica estable del aparato.

9.12.2 La primera prueba requiere que se coloquen los controles de temperatura de los compartimientos en su posición media, entre las posiciones más fría y más caliente del control de temperatura.

9.12.3 La segunda prueba requiere que se coloquen todos los controles de temperatura de los compartimientos en su posición más fría o más caliente que se indique en el control, la que sea apropiada para obtener una temperatura mayor y otra temperatura menor que la temperatura de referencia normalizada que corresponda al tipo de refrigerador que se está probando con la presente prueba y la requerida en el inciso 9.12.2.

Si las temperaturas obtenidas durante estas dos pruebas son mayor y menor que la temperatura de referencia normalizada, entonces los resultados de las dos pruebas se utilizan para determinar el consumo de energía.

Si la temperatura del compartimiento de referencia, medida con los controles de temperatura en la posición de más caliente, es menor que la temperatura de referencia normalizada y además la temperatura del compartimiento de alimentos es menor a 7,2°C en refrigeradores convencionales y en refrigeradores-congeladores, excluyendo refrigeradores solos, entonces el resultado de esta prueba es el único empleado para determinar el consumo de energía.

Si las dos temperaturas son mayores a la temperatura de referencia, el producto no cumple con la norma.

## 9.13 Tiempo de prueba

Una vez lograda la condición térmica estable del aparato, el tiempo de prueba está determinado por el tipo de deshielo.

## 9.13.1 Deshielo manual, semiautomático y parcialmente automático

La prueba empieza en un arranque de motocompresor y dura por lo menos 3 h; durante el periodo de prueba el motocompresor debe completar dos o más ciclos. Si no ocurre paro del motocompresor, determinado previamente durante el periodo de estabilización, el periodo de prueba debe ser por lo menos de 3 h.

Si el motocompresor presenta ciclos de motocompresor incompletos (menos de dos ciclos de motocompresor) durante un periodo de 24 h, los resultados del periodo de 24 h deben utilizarse de todas maneras para determinar el consumo de energía.

## 9.13.2 Deshielo automático

La prueba empieza al inicio de un periodo de deshielo y continúa hasta el inicio del siguiente periodo de deshielo o desde el final de un periodo de deshielo y continúa hasta el final del siguiente periodo de deshielo.

#### 9.13.3 Deshielo automático de duración larga

El periodo de prueba consiste de dos partes.

La primera parte es igual a la prueba para un aparato de deshielo manual (9.13.1).

La segunda parte comienza cuando se inicie un periodo de deshielo durante un ciclo de funcionamiento del motorcompresor y se termina en el segundo encendido del motorcompresor o después de 4 h, lo que ocurra primero.

#### 9.13.4 Deshielo ajustable

El periodo de prueba consiste de dos partes iguales a las pruebas para un aparato de deshielo automático de duración larga (9.13.3).

#### 9.13.5 Sistema de motorcompresor dual con deshielo automático

Si el modelo por probar tiene sistemas de motorcompresores separados para el refrigerador y secciones del congelador, cada uno con su propio sistema de deshielo automático, entonces debe usarse el método de dos partes indicado en 9.13.3. La segunda parte del método debe dirigirse separadamente para cada sistema de deshielo automático. Los componentes auxiliares (motores de ventilador, resistencias anticondensación, etc.) se identificarán para cada sistema y el consumo de energía medido durante cada prueba.

#### 9.14 Consumo de energía durante el tiempo de prueba

Es la que indique el wattímetro desde el inicio hasta el final de la prueba.

#### 9.15 Consumo de energía de un ciclo

El consumo de energía durante el tiempo de prueba se ajusta a un periodo de un ciclo, expresándose en kilowatts-hora por día (kWh/día).

#### 9.15.1 Aparatos con deshielo manual, semiautomático, parcialmente automático y automático

El cálculo del consumo energético durante el periodo de prueba se define por:

$$EC = \frac{(EP \times 1440 \times K)}{t}$$

Donde:

- EC = Consumo de energía durante un ciclo, en kWh/día
- EP = Consumo de energía durante el periodo de prueba, en kWh
- 1 440 = Factor de conversión para ajustar el tiempo de prueba a un periodo de 24 h
- K = Factor de corrección adimensional; 0,70 para congeladores horizontales, 0,85 para congeladores verticales, y 1,00 para refrigeradores electrodomésticos.
- t = Tiempo total de la prueba en minutos

#### 9.15.2 Aparatos con deshielo automático de periodo largo

El consumo de energía de la prueba debe determinarse como se indica a continuación:

$$EC = \frac{1440 \times EP1 \times K}{T1} + \left( EP2 - \frac{EP1 \times T2}{T1} \right) \times \frac{K \times 12}{CT}$$

Donde:

- EC = Consumo de energía durante un ciclo, en kWh/día
- 1 440 = Factor de conversión para ajustar el tiempo de prueba a un periodo de 24 h.
- EP1 = Consumo de energía durante el primer periodo de pruebas, en kWh como se especifica en 9.13.3
- EP2 = Consumo de energía durante el segundo periodo de pruebas, en kWh como se especifica en 9.13.3
- T1 y T2 = Tiempo total transcurrido durante el primero y segundo periodos de prueba, respectivamente, en minutos
- K = Factor de corrección adimensional; 0,70 para congeladores horizontales, 0,85 para congeladores verticales, y 1,00 para refrigeradores electrodomésticos

- CT = Tiempo de funcionamiento del control de deshielo en horas, requerido para que funcione un ciclo completo (ajustar al más cercano décimo de hora por ciclo)
- 12 = Factor de conversión para ajustar a un 50% de tiempo de funcionamiento del motocompresor

### 9.15.3 Aparatos con deshielo ajustable

El consumo de energía de la prueba debe determinarse como se indica a continuación.

$$EC = \frac{1440 \times EP1 \times K}{T1} + \left( EP2 - \frac{EP1 \times T2}{T1} \right) \times \frac{K \times 12}{CT}$$

Donde:

- EC = Consumo de energía durante un ciclo, en kWh/día
- 1 440 = Factor de conversión para ajustar el tiempo de prueba a un periodo de 24 h
- EP1 = Consumo de energía durante el primer periodo de pruebas, en kWh como se especifica en 9.13.4
- EP2 = Consumo de energía durante el segundo periodo de pruebas, en kWh como se especifica en 9.13.4
- T1 y T2 = Tiempo total transcurrido durante el primero y segundo periodos de prueba, respectivamente, en minutos
- 12 = Factor de conversión para ajustar a un 50% de tiempo de funcionamiento del motocompresor, y

$$CT = \frac{TC \times TL}{F \times (TL - TC) + TC}$$

Donde:

- CT = Tiempo de funcionamiento del control de deshielo
- TC = Tiempo mínimo, por diseño, del periodo de deshielo
- TL = Tiempo máximo, por diseño, del periodo de deshielo
- F = Factor de la relación entre el excedente de la diferencia máxima del consumo de energía y el valor mínimo de consumo de energía, igual a 0,20 de acuerdo a pruebas realizadas para encontrar CT.

### 9.15.4 Sistemas de motocompresor dual con deshielo automático

El método de prueba de dos partes indicado en 9.13.3 debe usarse. El consumo de energía en kWh por día debe calcularse de la manera siguiente:

$$EC = \frac{1440 \times EP1}{T1} + \left( EP2F - \frac{EPF \times T2}{T1} \right) \times \frac{12}{CTF} + \left( EP2R - \frac{EPR \times T3}{T1} \right) \times \frac{12}{CTR}$$

Donde:

1 440, EP1, T1, EP2, 12, y CT son definidos en 9.15.2

EPF = Consumo de energía en kilowatts-hora durante la segunda parte de la prueba para el sistema del congelador por el sistema del congelador.

EP2F = Consumo total de energía durante la segunda parte de la prueba para el sistema del congelador.

EPR = Consumo de energía en kilowatts-hora durante la segunda parte de la prueba para el sistema del refrigerador por el sistema del refrigerador.

EP2R = Consumo de energía total durante la segunda parte de la prueba para el sistema del refrigerador.

T2 y T3 = longitud de tiempo en minutos de la segunda parte de la prueba para el sistema del congelador y sistema del refrigerador, respectivamente.

CTF = tiempo de "encendido" del motocompresor entre deshielos del congelador (décimo de una hora).

CTR = tiempo de "encendido" del motocompresor entre deshielos del refrigerador (décimos de una hora).

**9.16 Determinación del consumo de energía promedio de un ciclo**

**9.16.1 Refrigerador solo**

El consumo de energía se debe expresar en kWh/día, al más cercano centésimo de kWh/día.

**9.16.1.1** Si para la posición de más caliente del control de temperatura, la temperatura del compartimiento de alimentos es menor o igual que 3,3°C, el consumo de energía del aparato se reporta como:

$$E = EC2$$

Donde:

E = Consumo de energía promedio del aparato, en kWh/día

EC2 = Consumo de energía durante un ciclo, en kWh/día

**9.16.1.2** Si la temperatura del compartimiento de alimentos medida durante cualquiera de las dos pruebas es mayor que 3,3°C, el consumo de energía promedio del aparato se reporta como:

$$E = EC1 + (EC2 - EC1) \times \frac{3,3 - TR1}{TR2 - TR1}$$

Donde:

E = Consumo de energía promedio del aparato, en kWh/día

EC = Consumo de energía durante un ciclo, en kWh/día

TR = Temperatura del compartimiento de alimentos, en °C determinado como se indica en el inciso 9.9, en °C

3,3 = Temperatura de referencia normalizada para un refrigerador solo, en °C

Los números 1 y 2 indican las mediciones tomadas durante la primera y segunda pruebas, respectivamente.

**9.16.2 Refrigerador convencional y refrigerador-congelador**

El consumo de energía se debe expresar en kWh/día, al más cercano centésimo de kWh/día.

**9.16.2.1** Si para la posición de más caliente del control de temperatura; en el caso de un refrigerador convencional, la temperatura del compartimiento de alimentos es menor o igual que 7,2°C y la temperatura del compartimiento congelador es menor o igual que -9,4°C, o es menor o igual que -15°C en el caso de un refrigerador-congelador, el consumo de energía se define como:

$$E = EC2$$

Donde :

E = Consumo de energía promedio del aparato, en kWh/día

EC2 = Consumo de energía durante un ciclo, en kWh/día

**9.16.2.2** Si las condiciones del inciso 9.16.2.1 no existen, el consumo de energía promedio del aparato se define con el valor más alto calculado por las dos fórmulas siguientes:

$$E = EC1 + (EC2 - EC1) \times \frac{7,2 - TR1}{TR2 - TR1}$$

y

$$E = EC1 + (EC2 - EC1) \times \frac{K - TC1}{TC2 - TC1}$$

Donde:

- E = Consumo de energía promedio del aparato, en kWh/día
- EC = Consumo de energía durante un ciclo, en kWh/día
- TR = Temperatura del compartimiento de alimentos, determinado como se indica en el inciso 9.9, en °C
- TC = Temperatura del compartimiento congelador, determinado como se indica en el inciso 9.9, en °C
- 7,2 = Temperatura de referencia del compartimiento de comida fresca, en °C
- K = Valor constante de -9,4°C en el caso de refrigeradores convencionales y de -15°C en los refrigeradores-congeladores, siendo estos valores las temperaturas de referencia normalizada del compartimiento congelador en cada caso.

Los números 1 y 2 indican las mediciones tomadas durante la primera y segunda pruebas, respectivamente.

#### 9.16.3 Congelador horizontal y vertical

El consumo de energía se debe expresar en kWh/día, al más cercano centésimo de kWh/día.

9.16.3.1 Si para la posición de más caliente del control de temperatura, la temperatura del congelador es menor o igual que -17,8°C, el consumo de energía se define como:

$$E = EC2$$

Donde:

- E = Consumo de energía promedio del aparato, en kWh/día
- EC2 = Consumo de energía durante un ciclo, en kWh/día

9.16.3.2 Si las condiciones del inciso 9.16.3.1 no existen, el consumo de energía promedio del aparato se define por la fórmula siguiente:

$$E = EC1 + (EC2 - EC1) \times \frac{-17,8 - TC1}{TC2 - TC1}$$

Donde:

- E = Consumo de energía promedio del aparato, en kWh/día
- EC = Consumo de energía durante un ciclo, en kWh/día
- TC = Temperatura del compartimiento congelador, determinado como se indica en el inciso 9.9, en °C
- 17,8 = Temperatura de referencia normalizada de los congeladores electrodomésticos, en °C

Los números 1 y 2 indican las mediciones tomadas durante la primera y segunda pruebas, respectivamente.

#### 9.17 Consumo de energía anual

Para determinar el consumo anual, debe considerarse un periodo de uso continuo a lo largo del año, determinándose de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$CA = E \times 365$$

Donde:

- CA = Consumo de energía anual, en kWh/año.
- E = Consumo de energía en un ciclo, en kWh/día.
- 365 = Factor de conversión de días a año.

### 10. Etiquetado

Los refrigeradores y congeladores electrodomésticos objeto de esta Norma que se comercializan en los Estados Unidos Mexicanos deben llevar una etiqueta que proporcione a los usuarios una relación de la energía que consume este producto con relación a otros de su mismo tipo, capacidad y sistema de deshielo.

#### 10.1 Permanencia

La etiqueta debe ir adherida o colocada en el producto ya sea por medio de un engomado, o en su defecto por medio de un cordón, en cuyo caso, la etiqueta debe tener la rigidez suficiente para que no se flexione por su propio peso. En cualquiera de los casos no debe removerse del producto hasta después de que éste haya sido adquirido por el consumidor final.

#### 10.2 Ubicación

La etiqueta debe estar ubicada en un área de exhibición del producto visible al consumidor, en su interior o exterior.

#### 10.3 Información

La etiqueta de consumo de energía de los refrigeradores electrodomésticos debe contener la información que se lista a continuación:

El tipo de letra puede ser Arial o Helvética.

10.3.1 La leyenda "EFICIENCIA ENERGETICA".

10.3.2 La leyenda "Consumo de energía".

10.3.3 La leyenda "Determinado como se establece en la NOM-015-ENER-2002".

10.3.4 La leyenda "Marca(s)" seguida del nombre y/o marca(s) registrada(s) del fabricante.

10.3.5 La leyenda "Modelo(s)" seguida del modelo(s) del refrigerador.

10.3.6 La leyenda "Tipo:" seguida del tipo de refrigerador o congelador, según 5.1.

10.3.7 La leyenda "Capacidad:", seguida de la capacidad del refrigerador, según el apéndice A, o congelador, según el apéndice B.

10.3.8 La leyenda "Sistema de deshielo:", seguida del sistema de deshielo del refrigerador o congelador, según 5.2.

10.3.9 La leyenda "Límite de consumo de energía (kWh/año):", seguida del límite de consumo de energía que corresponde al refrigerador o congelador, según 6.1, en números enteros, con negritas.

10.3.10 La leyenda "Consumo de energía (kWh/año):", seguida del consumo de energía anual del refrigerador o congelador, determinado por la presente Norma, en números enteros, con negritas.

10.3.11 La leyenda "Compare el consumo de energía de este equipo con otros similares antes de comprar".

10.3.12 La leyenda "Ahorro de energía" colocada de manera horizontal.

10.3.13 Una barra horizontal de 8 cm  $\pm$  0,5 cm de tonos crecientes, del claro hasta el negro, indicando el porcentaje de ahorro de energía, de 0% al 50%.

Debajo de la barra en 0% debe colocarse la leyenda "menor ahorro" y debajo de la barra en 50% debe colocarse la leyenda "mayor ahorro".

10.3.14 La leyenda "Ahorro de energía de este producto".

10.3.15 Una flecha con el porcentaje de ahorro de energía que tiene el refrigerador o congelador, obtenido con el siguiente cálculo, con negrita:

$$\text{Ahorro de energía} = (1 - \text{Consumo de energía} / \text{Límite de consumo de energía}) \times 100$$

Esta flecha debe colocarse de tal manera que coincidan su punta y los tonos de la barra que descritos en el inciso anterior en el punto en que el ahorro de energía se represente gráficamente.

10.3.16 Las leyendas "IMPORTANTE:" y "El consumo de energía efectivo dependerá de los hábitos de uso y localización del producto".

10.3.17 La leyenda "La etiqueta no debe retirarse del producto hasta que haya sido adquirido por el consumidor final".

#### 10.4 Dimensiones

Las dimensiones de la etiqueta son las siguientes:

Alto 14,0 cm  $\pm$  1 cm

Ancho 10,0 cm  $\pm$  1 cm

#### 10.5 Distribución de la información y colores

10.5.1 La información debe distribuirse como se muestra en la figura 5, que presenta un ejemplo de etiqueta.

10.5.2 La distribución de los colores se realiza de la siguiente manera:

Toda la información descrita en el inciso 10.3, así como las líneas y contorno de las flechas debe ser de color negro.

Y El contorno de la etiqueta debe ser sombreado.

Y El resto de la etiqueta debe ser de color amarillo.

#### 11. Vigilancia

La Secretaría de Energía y la Procuraduría Federal del Consumidor conforme a sus atribuciones y en el ámbito de sus respectivas competencias, son las autoridades que están a cargo de vigilar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana una vez que se publique en el **Diario Oficial de la Federación** como norma definitiva.

El incumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana debe ser sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, su Reglamento y demás disposiciones.

#### 12. Evaluación de la conformidad

La evaluación de la conformidad del aparato con las especificaciones de la presente Norma una vez que se publique en el **Diario Oficial de la Federación** como Norma Oficial Mexicana definitiva, se realiza por personas acreditadas y aprobadas en términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento.

#### 13. Bibliografía

Ley Federal sobre Metrología y Normalización, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 1 de julio de 1992.

Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el 14 de enero de 1999.

NMX-Z-013-1977, Guía para la redacción, estructuración y presentación de las normas oficiales mexicanas.

NOM-015-ENER-1997, Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, método de prueba y etiquetado, publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 11 de julio de 1997.

ANSI/AHAM HRF-1-1986, Household Refrigerators/Household Freezers.

CAN/CSA C300-00, Energy Performance and Capacity of Household Refrigerators, Refrigerator-Freezers, and Freezers.

10 CFR 430-1996, Subpart B, Appendix A1 Uniform test method for measuring the energy consumption of electric refrigerators and electric refrigerator-freezers.

10 CFR 430-1996, Subpart B, Appendix B1 Uniform test method for measuring the energy consumption of freezers.

10 CFR 430-1997, Energy conservation program consumer products: energy conservation standards for refrigerators-freezers and freezers; final rule energy conservation program for consumer products; finding of no significant impact; notice.

#### 14. Concordancia con normas internacionales

Esta Norma no concuerda con ninguna norma internacional por no existir referencia alguna en el momento de su elaboración.

#### 15. Transitorios

1. Esta Norma Oficial Mexicana cancela y sustituye a la NOM-015-ENER-1997, Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, método de prueba y etiquetado que fue publicada en el **Diario Oficial de la Federación** el 11 de julio de 1997.
2. La presente Norma entrará en vigor a los 120 días naturales después de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación** y a partir de esta fecha todos los refrigeradores, refrigeradores-congeladores, y congeladores comprendidos en el campo de aplicación de esta Norma Oficial Mexicana, serán certificados con base a la misma.

3. Los refrigeradores, refrigeradores-congeladores, y congeladores con certificado de cumplimiento con la NOM-015-ENER-1997, expedido por los organismos de certificación acreditados y aprobados antes de esta fecha, podrán ser comercializadas como máximo hasta el término de su vigencia estipulada en el mismo.
4. No es necesario esperar el vencimiento del certificado de cumplimiento con la NOM-015-ENER-1997 para obtener el certificado de cumplimiento con la NOM-015-ENER-2002, si a sí le interesa al comercializador.

México, D.F., a 20 de diciembre de 2002.- El Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos y Director General de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, Odón de Buen RodríguezRúbrica.

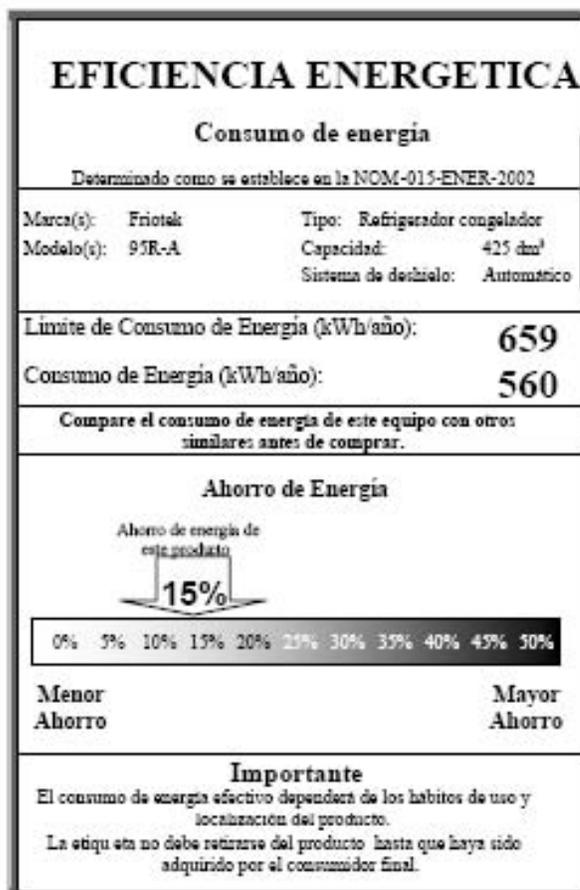


Figura 5. Ejemplo de la distribución de la información de la etiqueta de refrigeradores y congeladores electrodomésticos.

**APENDICE A (Normativo)**  
**METODO PARA EL CALCULO DEL VOLUMEN REFRIGERADO TOTAL DE LOS REFRIGERADORES ELECTRODOMESTICOS**

**A.1 Alcance**

Esta sección describe los métodos para calcular el volumen refrigerado total de los refrigeradores electrodomésticos.

Esta sección proporciona un método uniforme para determinar el tamaño de los refrigeradores electrodomésticos, tomando en cuenta los dispositivos especiales y/o componentes que están localizados dentro de los compartimientos refrigerados. No proporciona los métodos para determinar la capacidad de alojamiento de alimentos.

#### A.2 Volumen refrigerado total

##### A.2.1 Volúmenes

###### A.2.1.1 Volúmenes que deben incluirse

El volumen refrigerado total debe incluir:

- El volumen ocupado por aditamentos especiales, tales como canastas, cajones de frutas y legumbres, bandejas para carnes, bandejas de deshielo, dispositivos automáticos generadores de hielo (Incluyendo los contenedores para almacenamiento del hielo) y enfriadores de agua.
- El volumen ocupado por los anaqueles del gabinete, frentes y bases de anaqueles de puerta y las puertas de compartimientos especiales localizados en la puerta del refrigerador.
- El volumen ocupado por dispositivos tales como protectores de luces, adornos y objetos estéticos que pueden removerse sin el uso de herramientas.

###### A.2.1.2 Volúmenes que deben deducirse

El volumen refrigerado total no debe incluir:

- El volumen ocupado por partes necesarias para el funcionamiento correcto de la unidad, tales como puertas del evaporador, serpentín de enfriamiento, evaporadores, ductos de aire, drenaje, condensadores, deflectores y envoltura de ventiladores.
- El volumen ocupado por salientes de la puerta que no sean utilizados como anaqueles.
- El volumen ocupado por particiones o salientes de la(s) puerta(s) que formen un compartimiento que no sirva como anaquel y que, colectivamente, ocupen un volumen que exceda de  $1,4 \text{ dm}^3$ .
- El volumen entre las salientes de las puertas, cuyo volumen sea deducible, y las molduras aislantes o la pared interior del gabinete que se encuentren adyacentes.
- El volumen ocupado por salientes fijas, tales como perillas de control, colgadores de anaqueles, rieles de anaqueles y de bandejas y cubiertas de termostato que, colectivamente, ocupen un volumen que exceda de  $1,4 \text{ dm}^3$  por compartimiento.

#### A.2.2 Método de cálculo

A.2.2.1 Todas las dimensiones lineales deben medirse con una resolución milimétrica.

A.2.2.2 Se divide el volumen del compartimiento de comida fresca y el volumen del compartimiento congelador en varias secciones que tengan ancho similar y profundidad (véanse las figuras 6 a la 12).

A.2.2.3 Se calcula el volumen de cada sección y el volumen de todos los espacios sombreados que se muestran en las figuras 6 a la 12. Se suman por separado los volúmenes de las secciones del compartimiento de alimentos y las secciones del compartimiento congelador para determinar el volumen total no ajustado de cada uno de esos compartimientos.

A.2.2.4 Se deducen del volumen del compartimiento de alimentos y del compartimiento congelador los volúmenes de los objetos especificados en el inciso A.2.1.2, y que también se muestran con rayado cruzado en las figuras 6 a la 12, para determinar el volumen del compartimiento de alimentos y del compartimiento congelador.

A.2.2.5 Se determina el volumen total refrigerado sumando el volumen del compartimiento de alimentos y el compartimiento congelador.

#### A.2.3 Información a indicar

El volumen total refrigerado, el volumen del compartimiento de alimentos y el volumen del compartimiento congelador deben indicarse al  $0,1 \text{ dm}^3$  más cercano;  $0,05 \text{ dm}^3$  y mayores, se consideran en la décima de decímetro cúbico próxima siguiente.

#### A.3 Leyendas de las figuras 6 a la 17

Las figuras 6 a la 17 muestran refrigeradores electrodomésticos típicos; no es la intención cubrir todas las variaciones de diseño. Sin embargo, la combinación de los componentes de las diversas figuras pueden utilizarse para otros diseños.

Los símbolos de las dimensiones en las figuras son:

- $A_A$  = Alto del compartimiento de alimentos
- $A_C$  = Alto del compartimiento congelador
- $B_A$  = Ancho del compartimiento de alimentos

- $B_C$  = Ancho del compartimiento congelador
- $C_A$  = Profundidad del compartimiento de alimentos
- $C_C$  = Profundidad del compartimiento congelador

**Nota:** Los números en subíndice indican variaciones de las secciones usadas para calcular volúmenes individuales, por ejemplo  $C_{A_3}$ . Las partes sombreadas en las figuras indican:



- Volumen que debe incluirse



- Volumen que debe deducirse

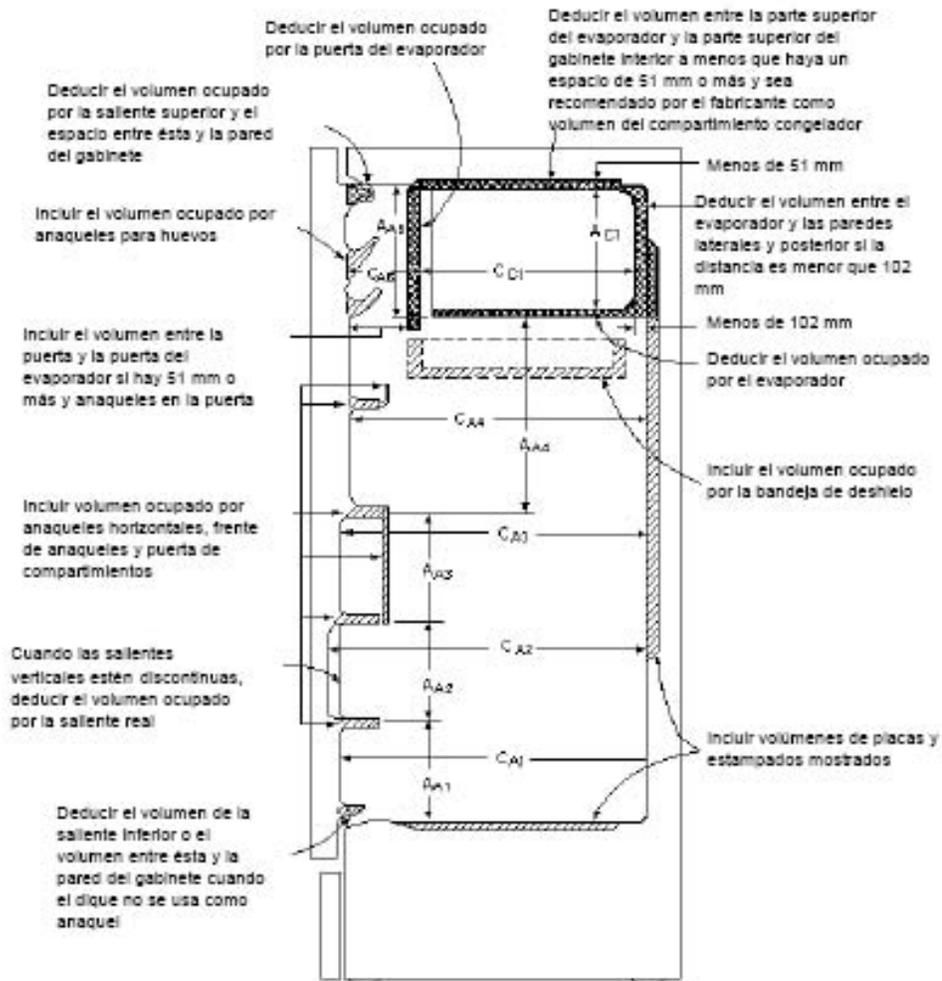


Figura 6. Refrigerador convencional.

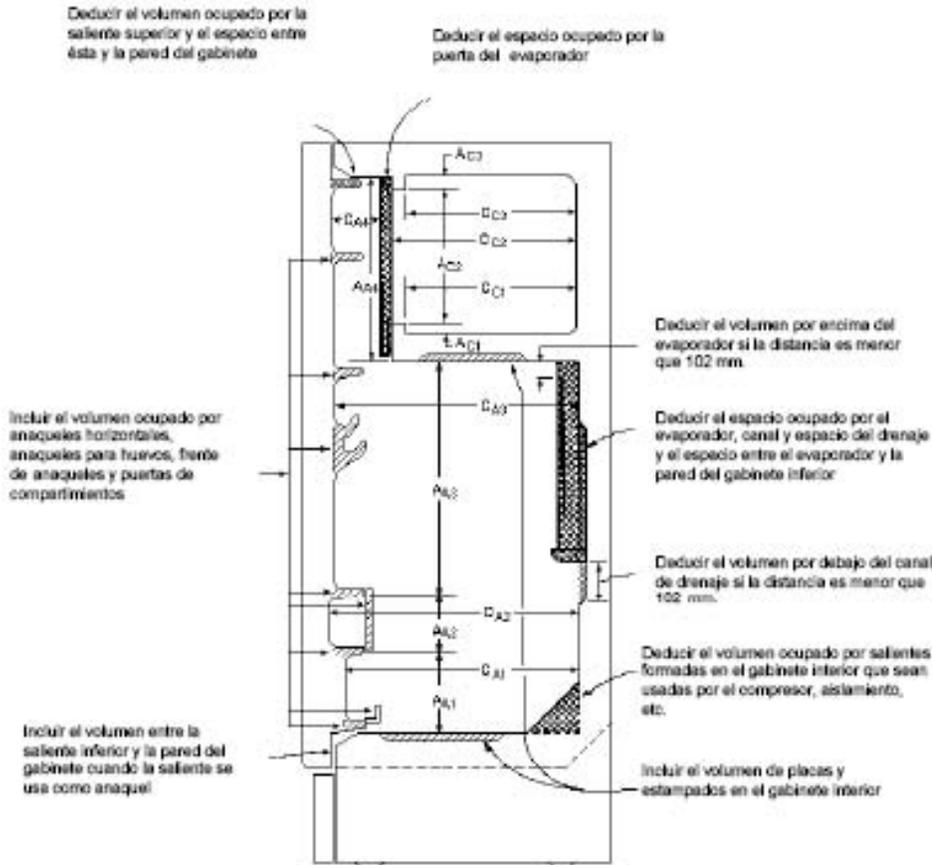


Figura 7. Refrigerador convencional.

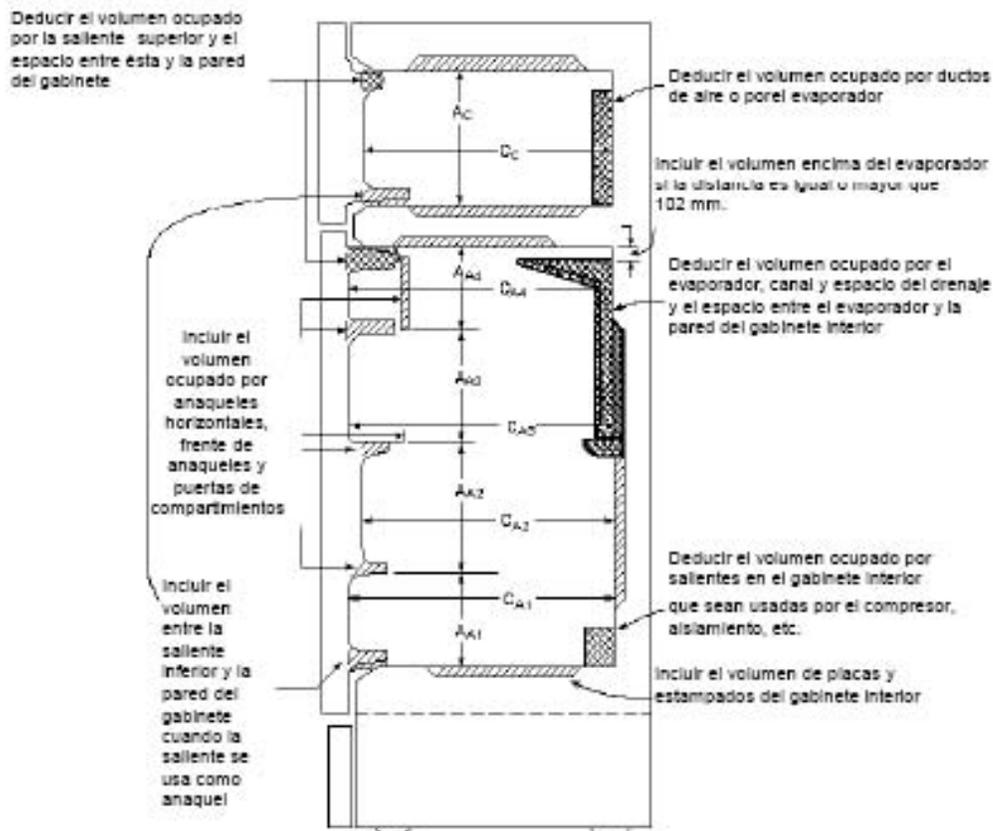


Figura 8. Refrigerador-congelador con el compartimiento congelador montado en la parte superior.

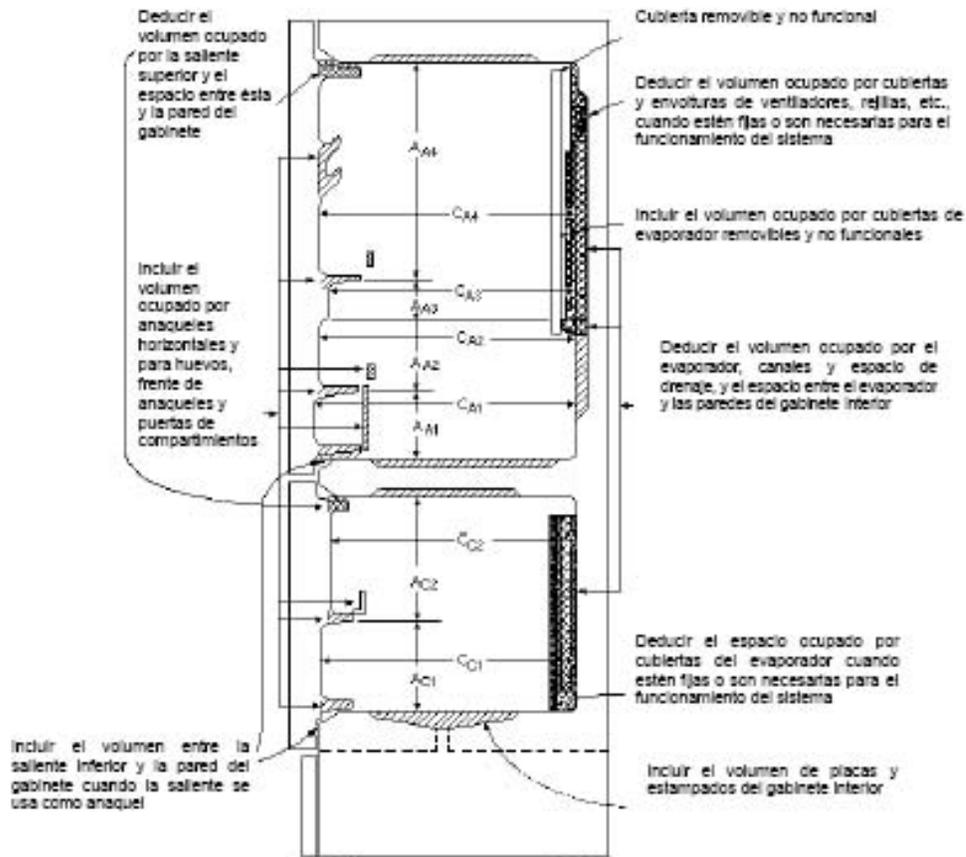


Figura 9. Refrigerador-congelador con el compartimento congelador montado en la parte inferior.

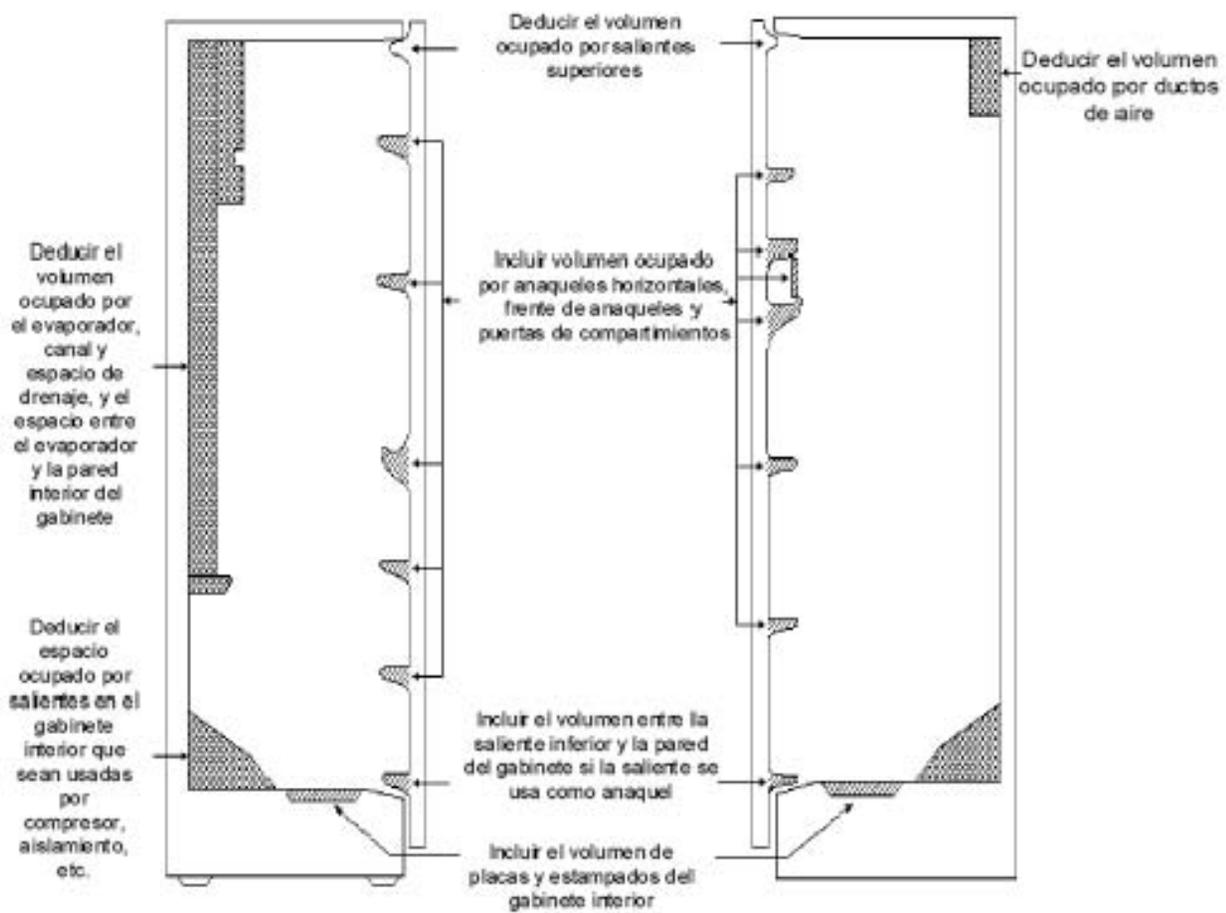


Figura 10. Volúmenes de los compartimientos de alimentos y congelador.

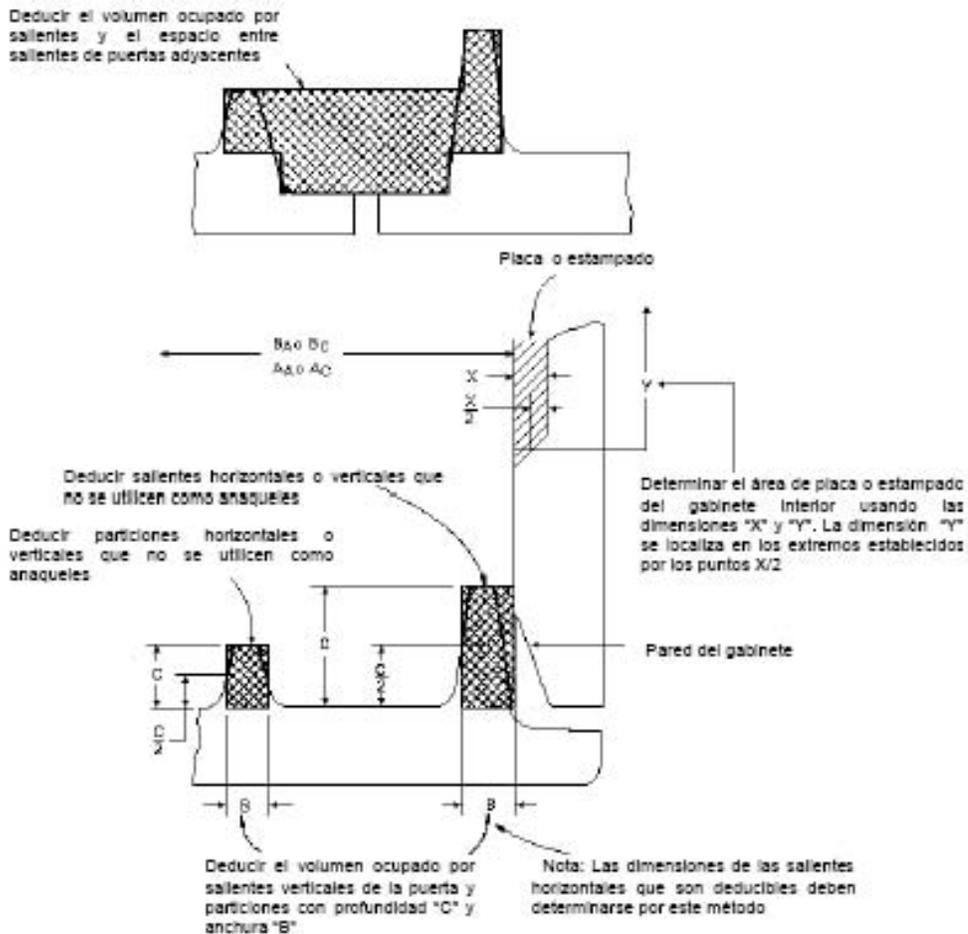


Figura 11. Salientes de puerta y dimensiones de placa.

VISTA LATERAL

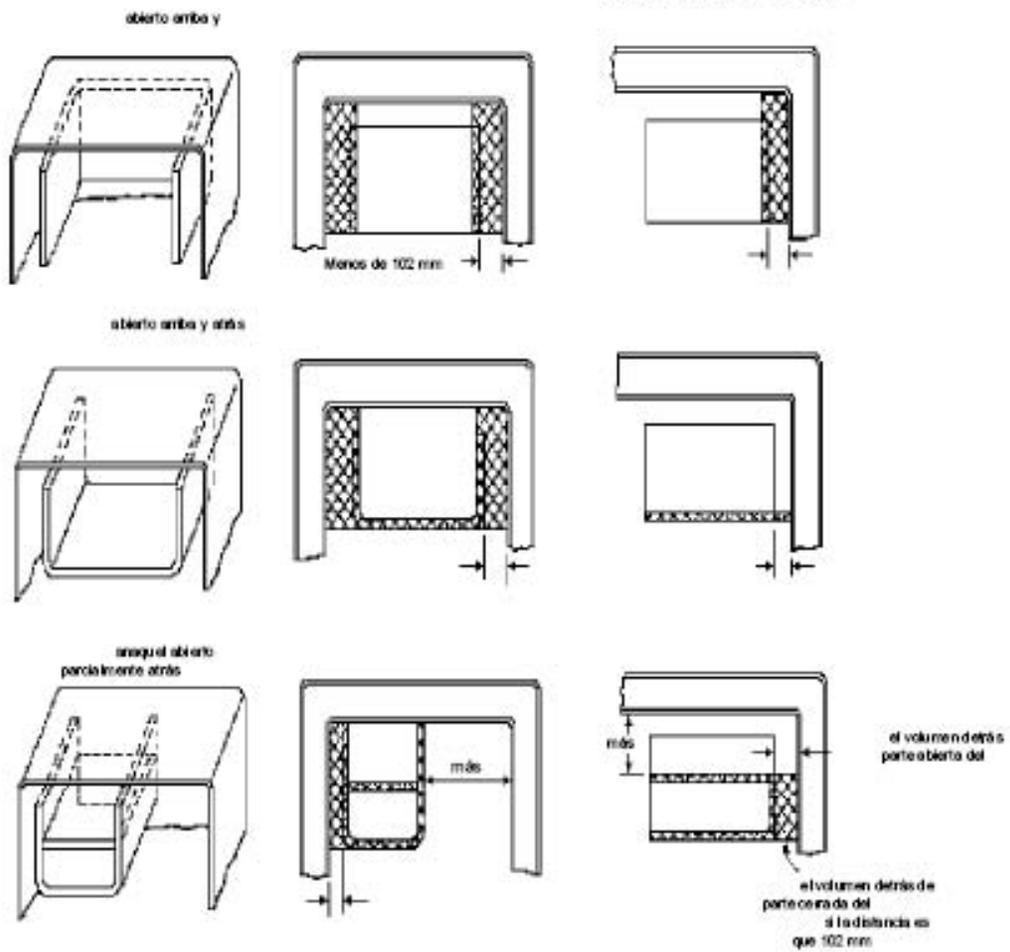


Figura 12. Montajes del evaporador.

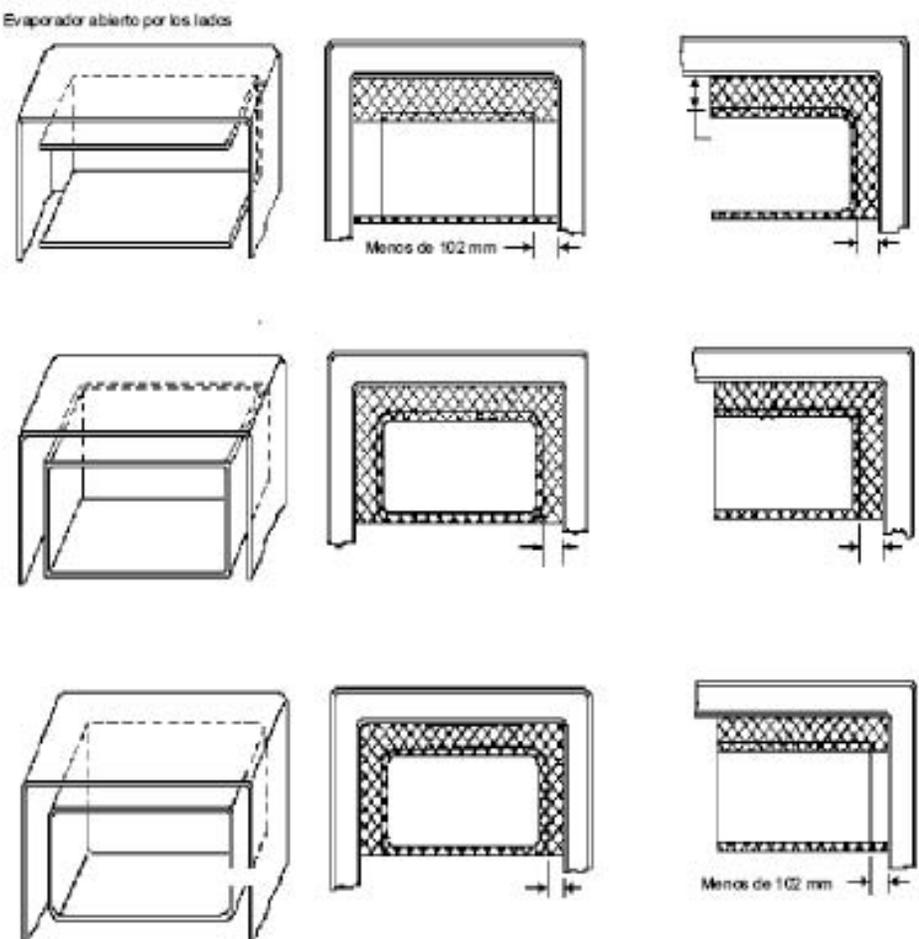


Figura 12. Montajes del evaporador (continuación).

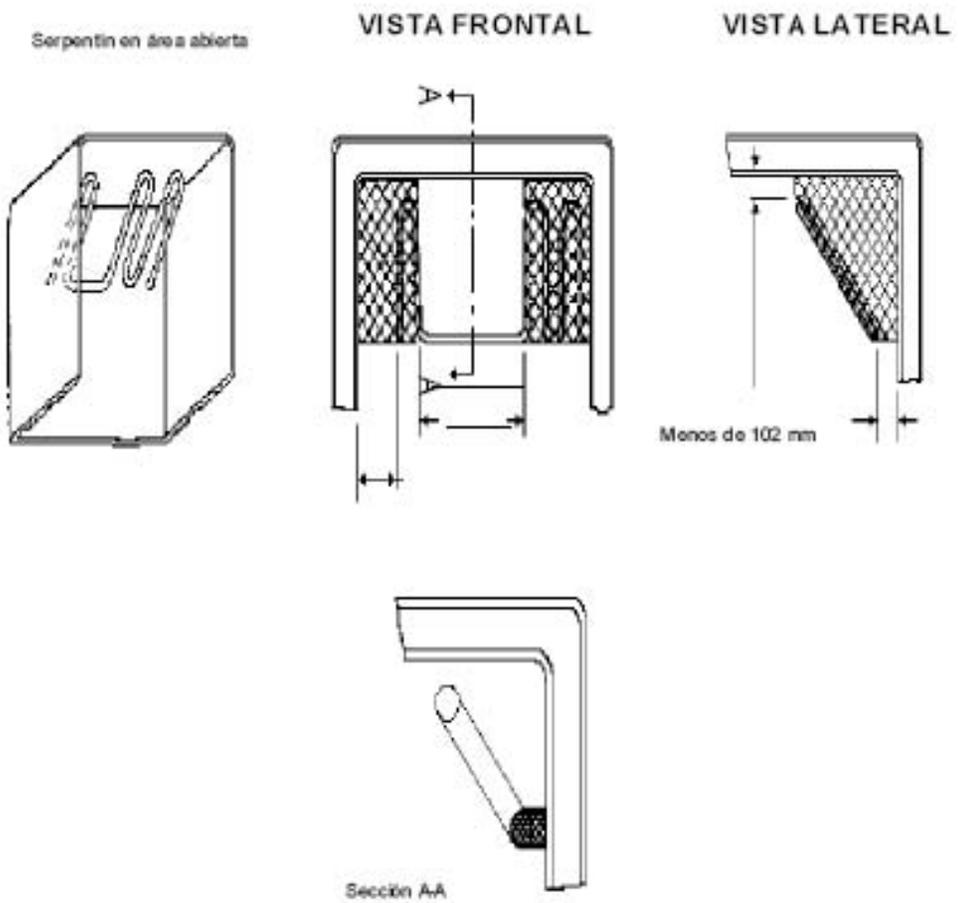


Figura 12. Montajes del evaporador (continuación).

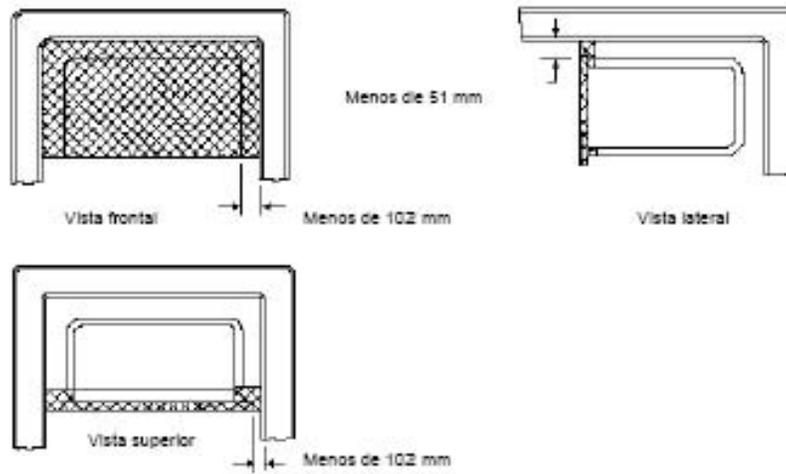


Figura 13. Deducciones de la puerta del evaporador.

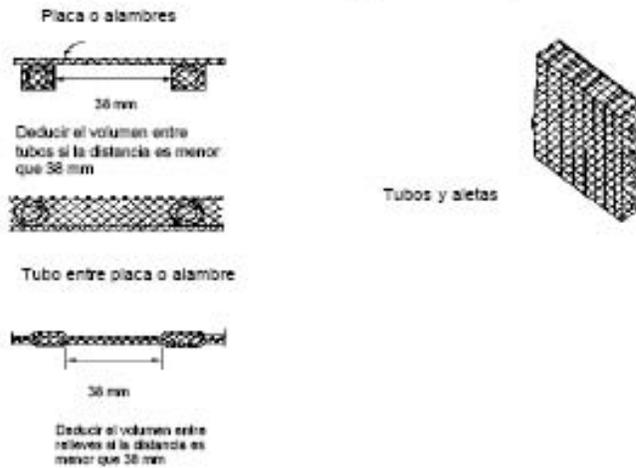


Figura 14. Tipos de evaporadores.

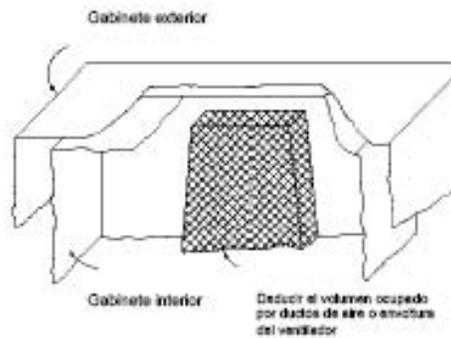


Figura 15. Volumen ocupado por ductos de aire en el compartimento congelador

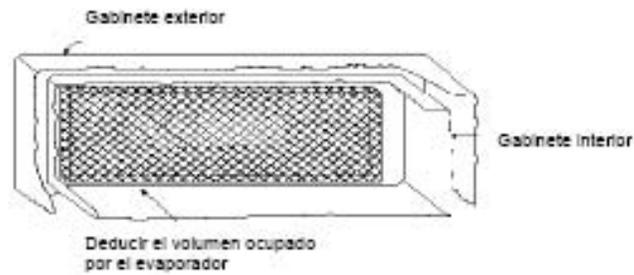


Figura 16. Volumen ocupado por el evaporador en el compartimiento congelador en sistemas de aire forzado

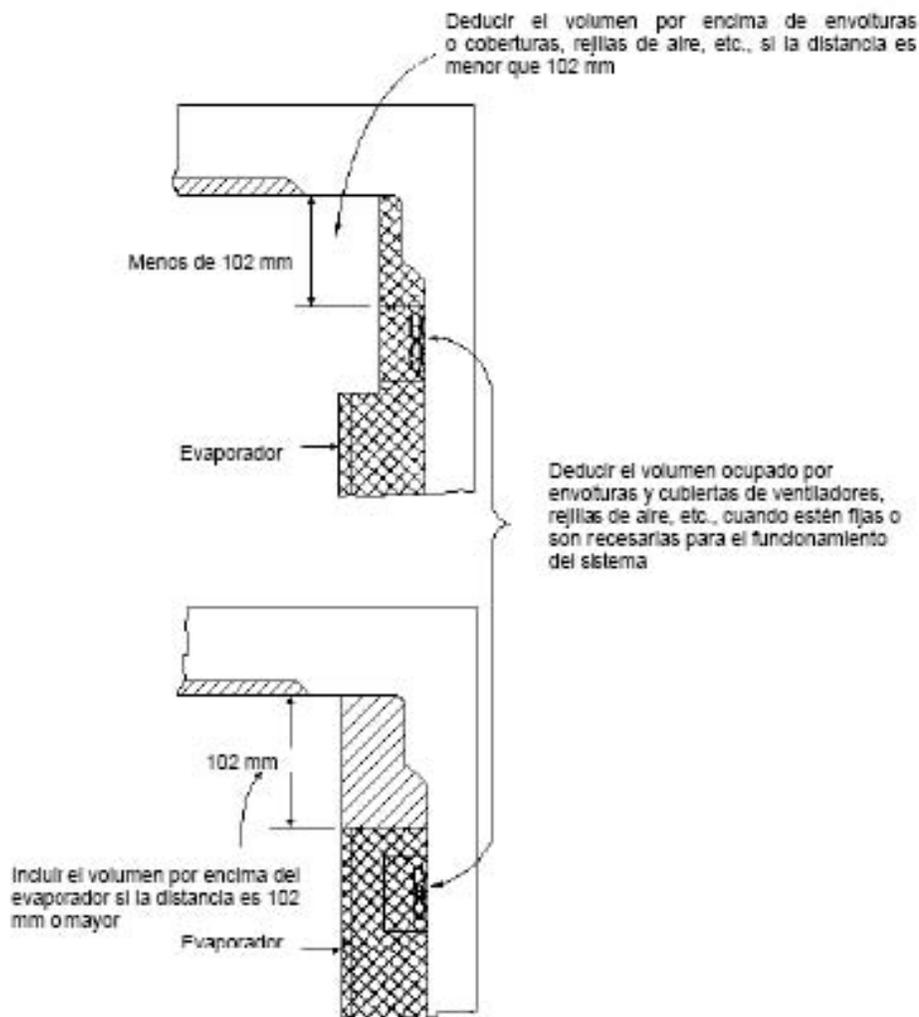


Figura 17. Volumen ocupado por rejillas y envolturas de ventiladores, etc., en el compartimiento de alimentos

## APENDICE B (Normativo)

**METODO PARA EL CALCULO DEL VOLUMEN REFRIGERADO TOTAL  
DE LOS CONGELADORES ELECTRODOMESTICOS****B.1 Alcance**

Esta sección describe los métodos para calcular del volumen refrigerado total de los congeladores electrodomésticos.

Esta sección proporciona un método uniforme para determinar el tamaño de los congeladores, tomando en cuenta los dispositivos especiales y/o componentes que están localizados dentro de los compartimientos refrigerados. No proporciona los métodos para determinar la capacidad de alojamiento de alimentos.

**B.2 Volumen refrigerado total****B.2.1 Volúmenes****B.2.1.1 Volúmenes que deben incluirse**

El volumen refrigerado total debe incluir:

a) El volumen ocupado por aditamentos especiales, tales como canastas para paquetes o latas, divisiones o surtidores -cuando estas formas no sean salientes que cumplan con las condiciones indicadas en los Incisos B.2.1.2 c) y B. 2.1.2 e)-, cestos, frente de compartimientos, dispositivos automáticos generadores de hielo y anaqueles no refrigerados.

b) El volumen ocupado por frentes y bases de anaqueles de puerta y las puertas de compartimientos especiales localizados en la puerta del congelador.

c) Volumen ocupado por dispositivos tales como protectores de luces, adornos y objetos estéticos que pueden removerse sin el uso de herramientas.

**B.2.1.2 Volúmenes que deben deducirse**

El volumen refrigerado total no debe incluir:

a) El volumen ocupado por partes necesarias para el funcionamiento correcto de la unidad, tales como puertas del evaporador, serpentín de enfriamiento, evaporadores, ductos de aire, drenaje, deflectores y envoltura de ventiladores.

b) El volumen ocupado por salientes de la puerta que no sean utilizados como anaqueles.

c) El volumen ocupado por particiones o salientes de la(s) puerta(s) que formen un compartimiento que no sirva como anaquel y que, colectivamente, ocupen un volumen que exceda de 1,4 dm<sup>3</sup>.

d) El volumen entre las salientes de las puertas, cuyo volumen sea deducible, y las molduras aislantes o la pared interior del gabinete que se encuentren adyacentes.

e) El volumen ocupado por salientes fijas, tales como perillas de control, colgadores de anaqueles, rieles de anaqueles y de bandejas y cubiertas de termostato que, colectivamente, ocupen un volumen que exceda de 1,4 dm<sup>3</sup> por compartimiento.

**B.2.2 Método de cálculo**

**B.2.2.1** Todas las dimensiones lineales deben medirse con una resolución milimétrica.

**B.2.2.2** Se divide el volumen refrigerado en varias secciones que tengan ancho similar y profundidad (véanse las figuras 18 a 22).

**B.2.2.3** Se calcula el volumen de cada sección y el volumen de todos los espacios sombreados que se muestran en las figuras 18 a la 23. Se suman por separado los volúmenes de las secciones, para determinar el volumen total no ajustado.

**B.2.2.4** Se deduce del volumen total no ajustado, los volúmenes de los objetos especificados en el inciso B.2.1.2, y que también se muestran con rayado cruzado en las figuras 18 a la 26, para determinar el volumen total refrigerado.

**B.2.3 Información a indicar**

El volumen total refrigerado debe indicarse al 0,1 dm<sup>3</sup> más cercano; 0,05 dm<sup>3</sup> y mayores se consideran en la décima de decímetro cúbico próxima siguiente.

**B.3 Leyendas de las figuras 18 a la 26**

Las figuras 18 a la 26 muestran congeladores electrodomésticos típicos; no es la intención cubrir todas las variaciones de diseño. Sin embargo, la combinación de los componentes de las diversas figuras pueden utilizarse para otros diseños.

Los símbolos de las dimensiones en las figuras son:

- A - Alto del compartimiento
- B - Ancho del compartimiento
- C - Profundidad del compartimiento

**Nota:** Los números en subíndice indican variaciones de las secciones usadas para calcular volúmenes individuales, por ejemplo C<sub>1</sub>. Las partes sombreadas en las figuras indican:

-  - Volumen que debe incluirse
-  - Volumen que debe deducirse

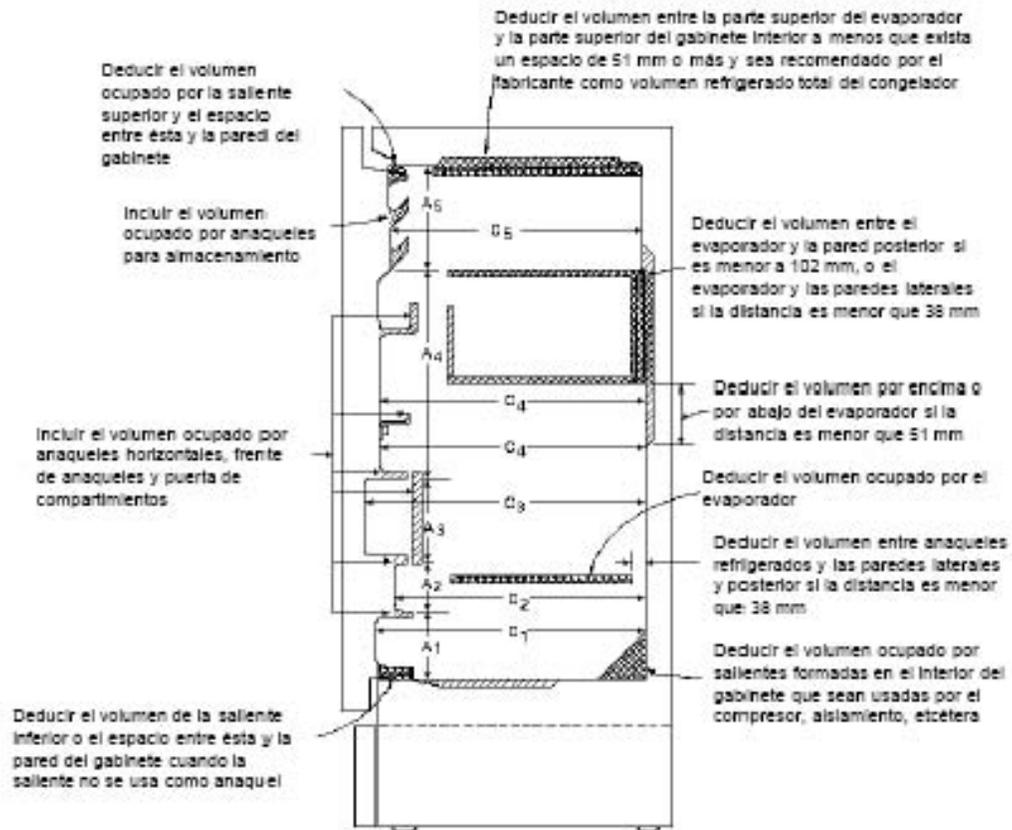


Figura 18. Congelador vertical

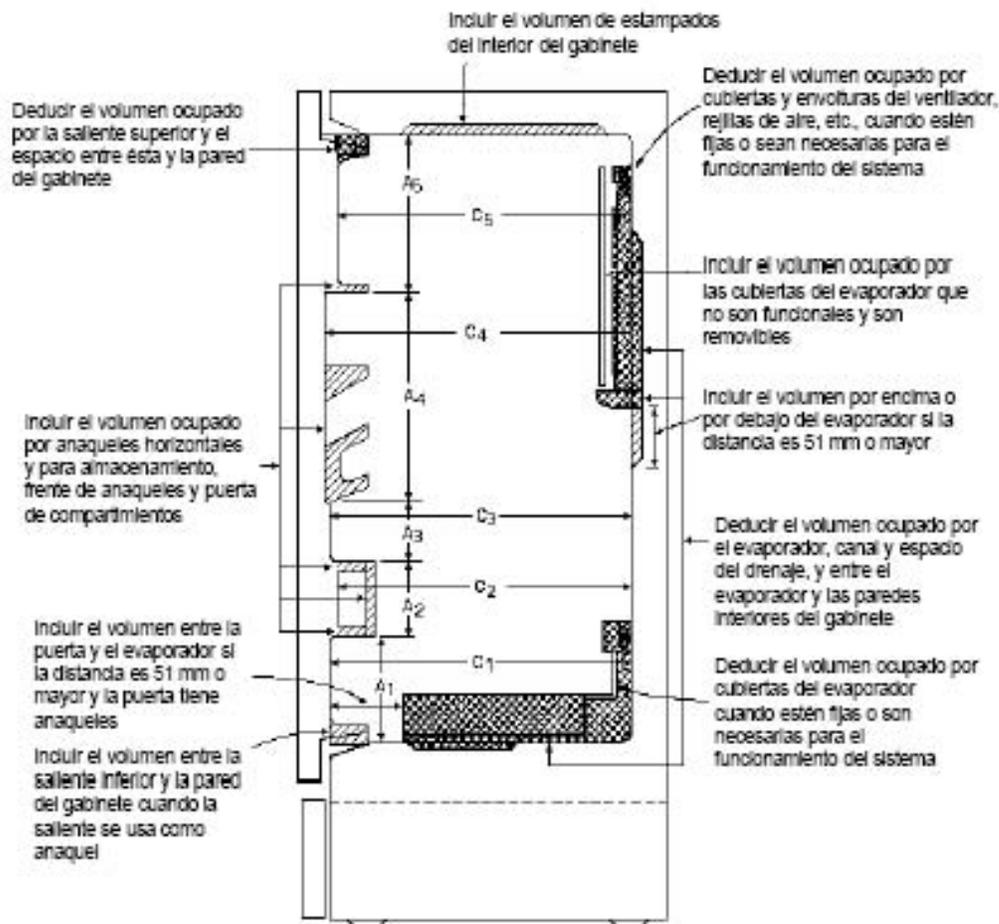


Figura 19. Congelador vertical

Deducir el volumen ocupado por el evaporador, canal y espacio del drenaje, cubiertas o particiones cuando estén fijas o son necesarias para el funcionamiento del sistema

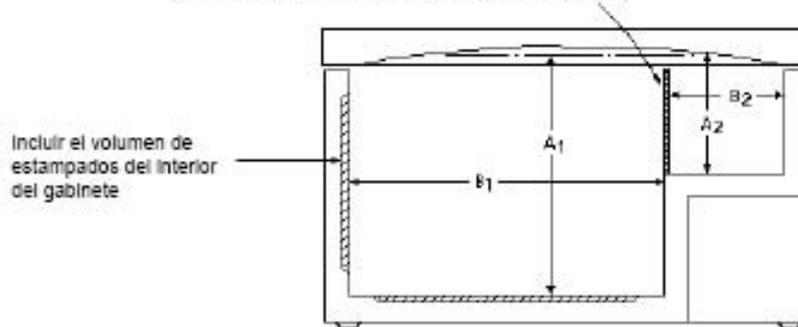


Figura 20. Congelador horizontal

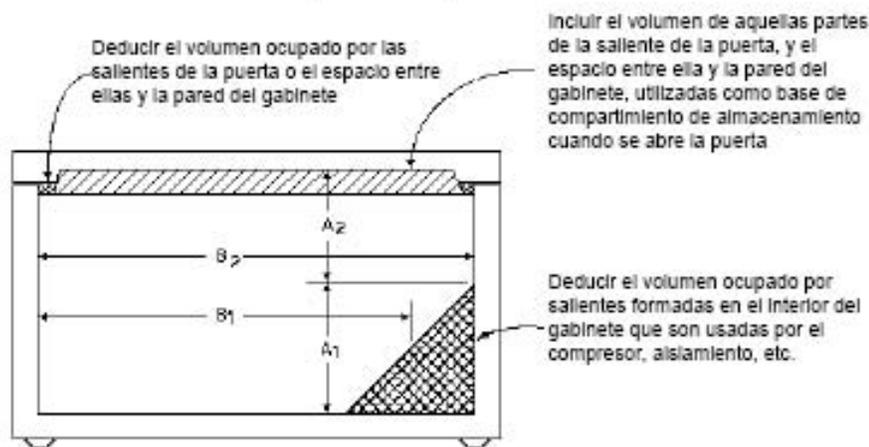


Figura 21. Congelador horizontal

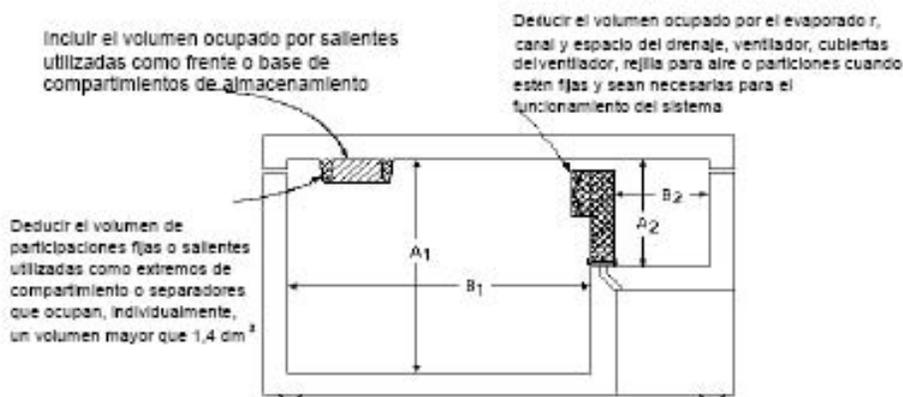


Figura 22. Congelador horizontal

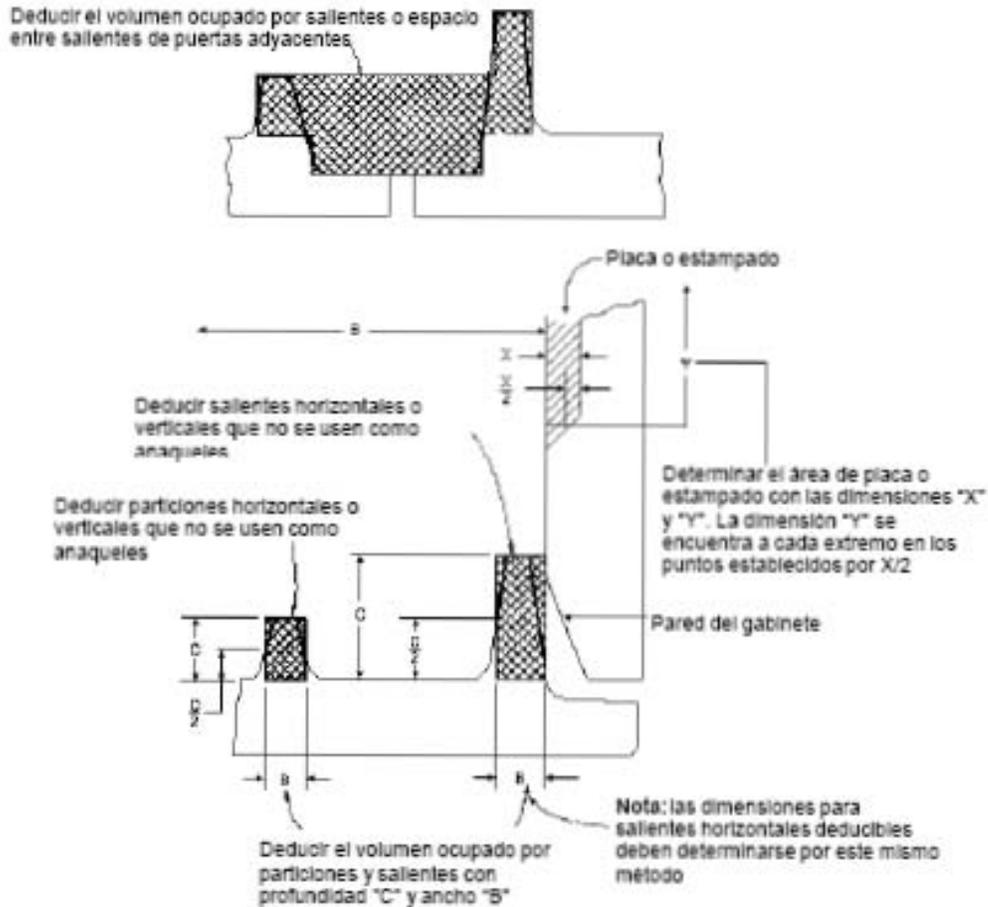


Figura 23. Saliente de la puerta y dimensiones lineales de la placa

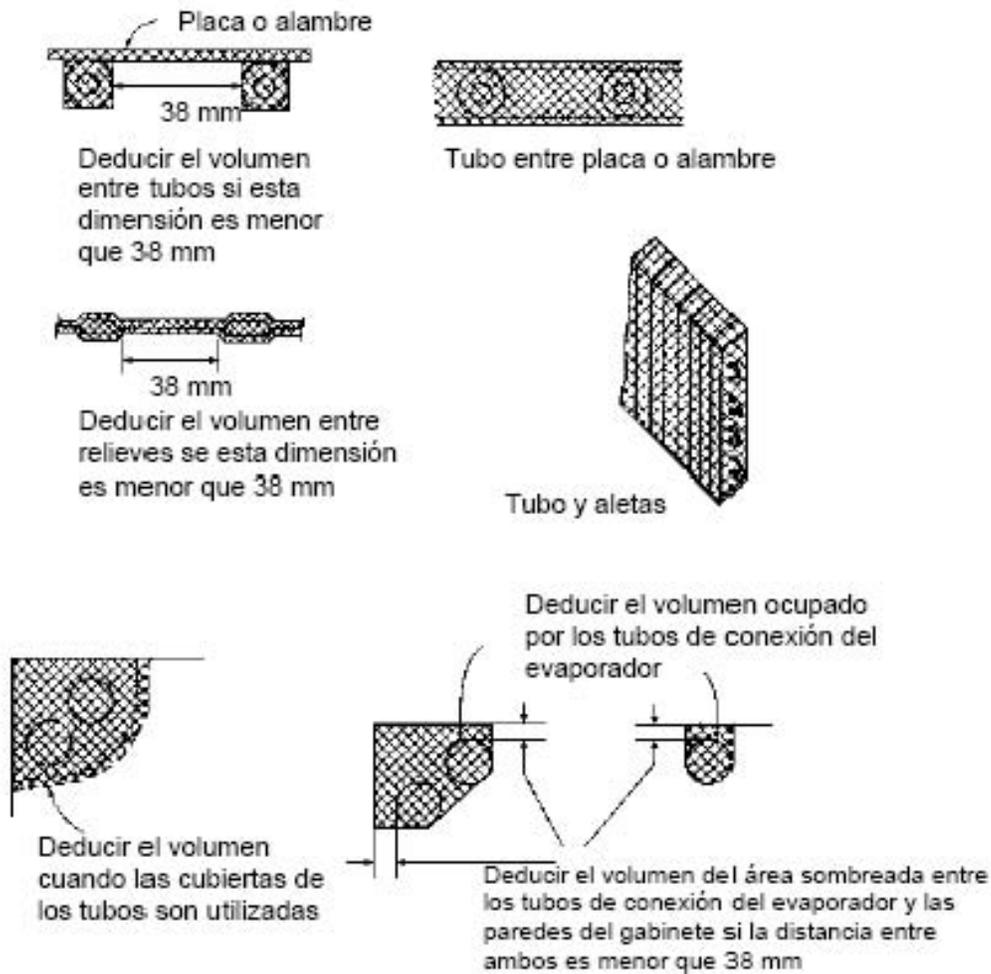


Figura 24. Tipos de evaporadores

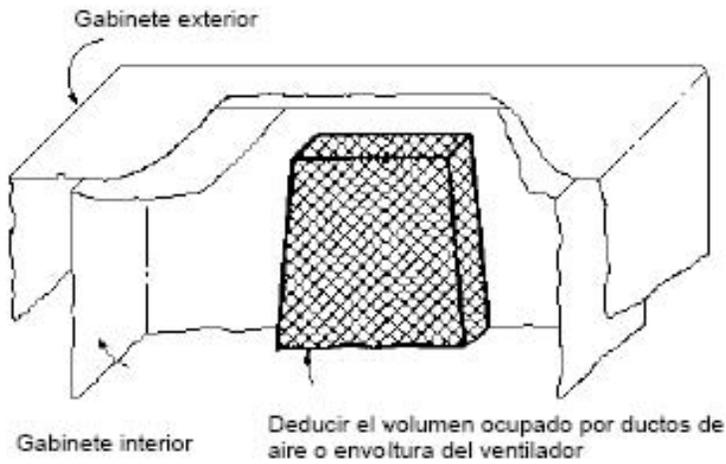


Figura 25. Volumen ocupado por ductos de aire

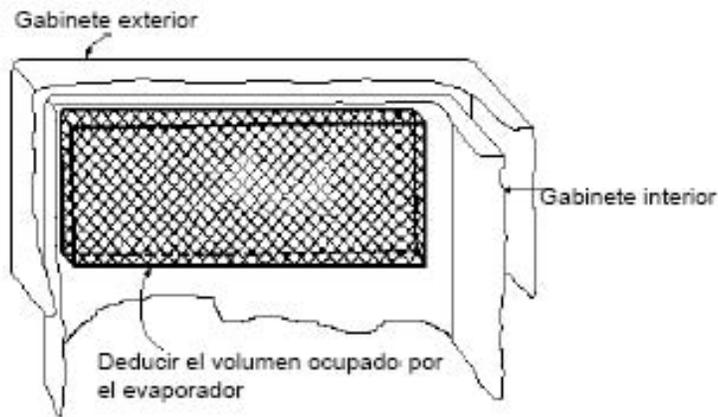


Figura 26. Volumen ocupado por el evaporador en sistemas de aire forzado

APENDICE C (Informativo)

Figuras solo de referencia para la colocación de sensores de temperatura para refrigeradores solos, refrigeradores convencionales y refrigerador-congelador con congelador montado en la parte superior y refrigerador-congelador con el congelador montado lateralmente.

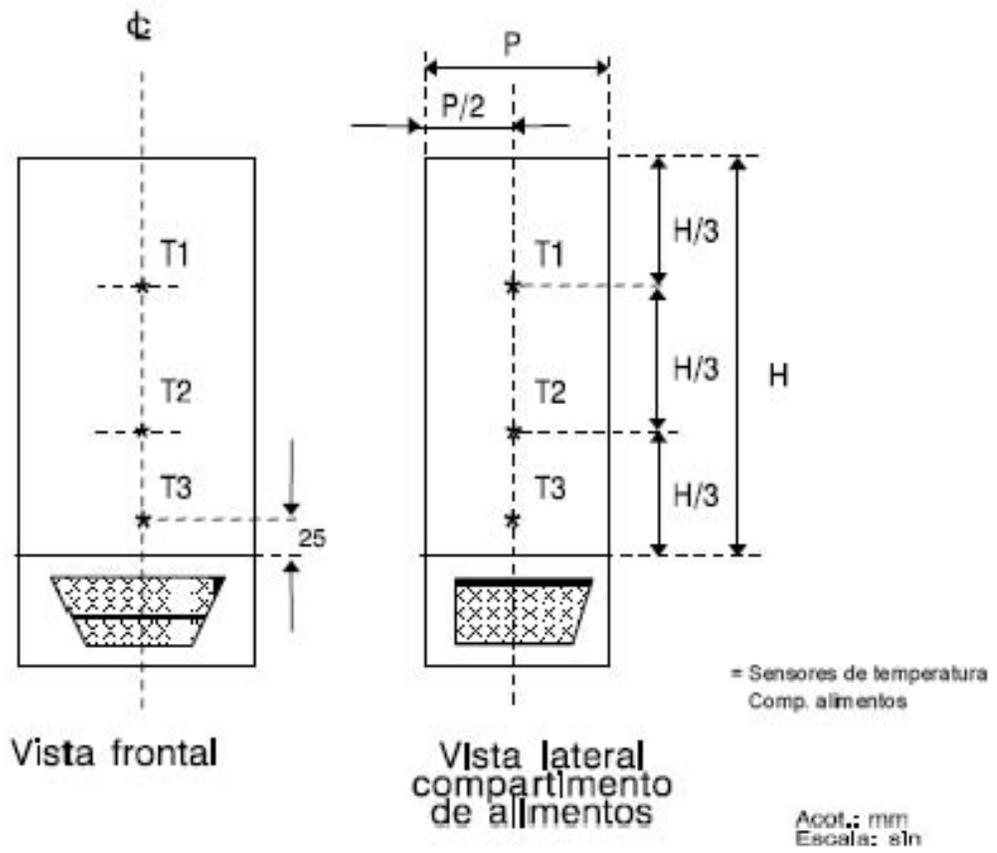


Figura 27. Colocación de sensores de temperatura en refrigeradores solos

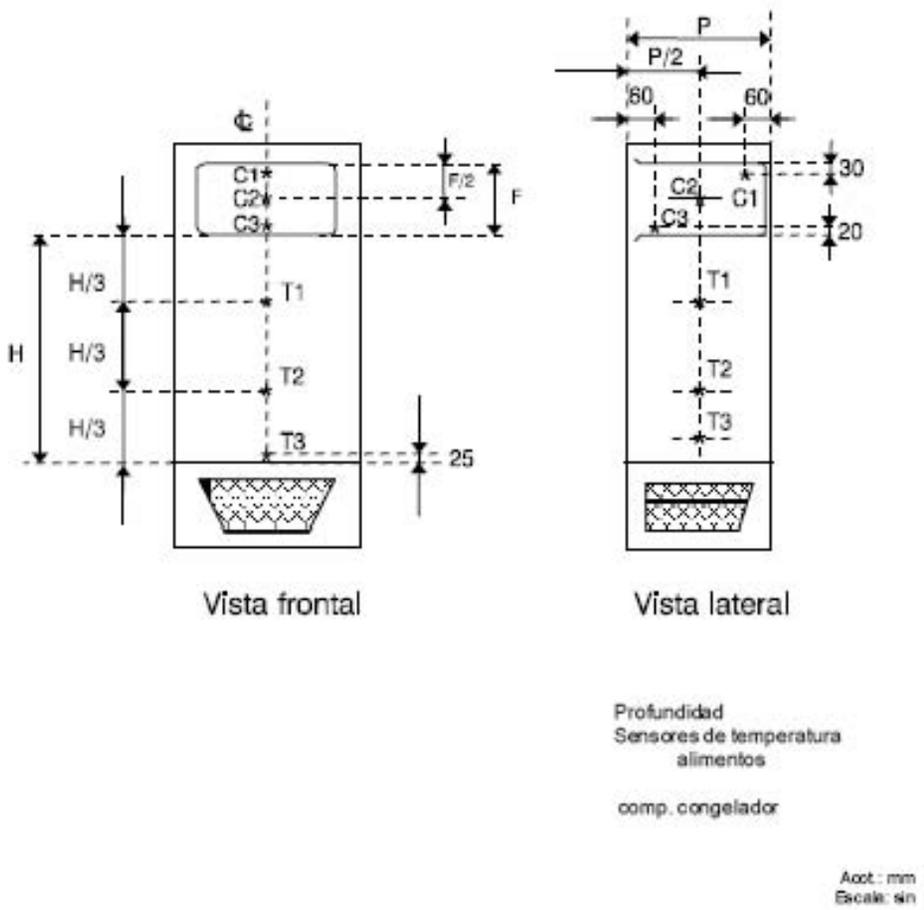
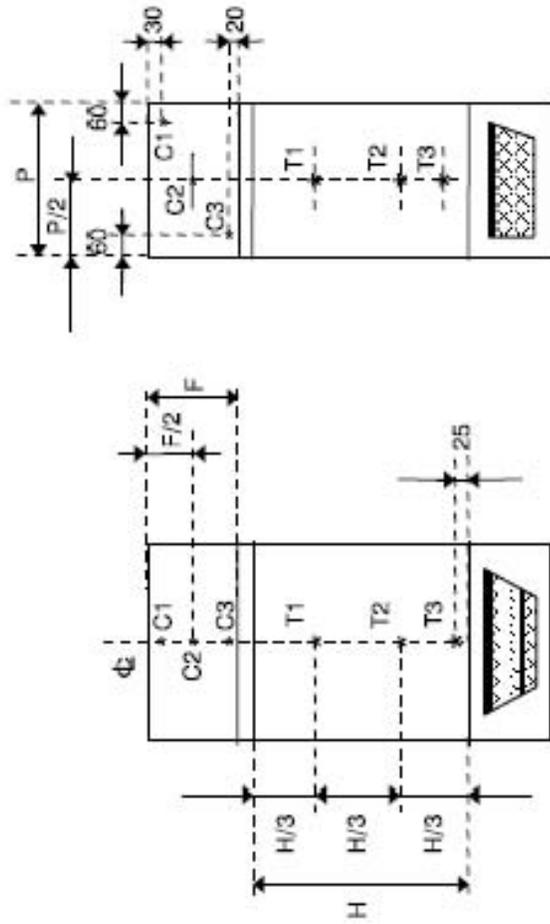


Figura 28. Colocacion de sensores de temperatura en refrigeradores convencionales



OBSERVACION: los sensores de temperatura se colocan en el compartimiento congelador de la misma forma cuando este compartimiento se localiza en la parte inferior del aparato

Figura 29. Colocación de sensores de temperatura en refrigeradores-congeladores con el congelador montado en la parte superior o inferior

nes de temperatura

m

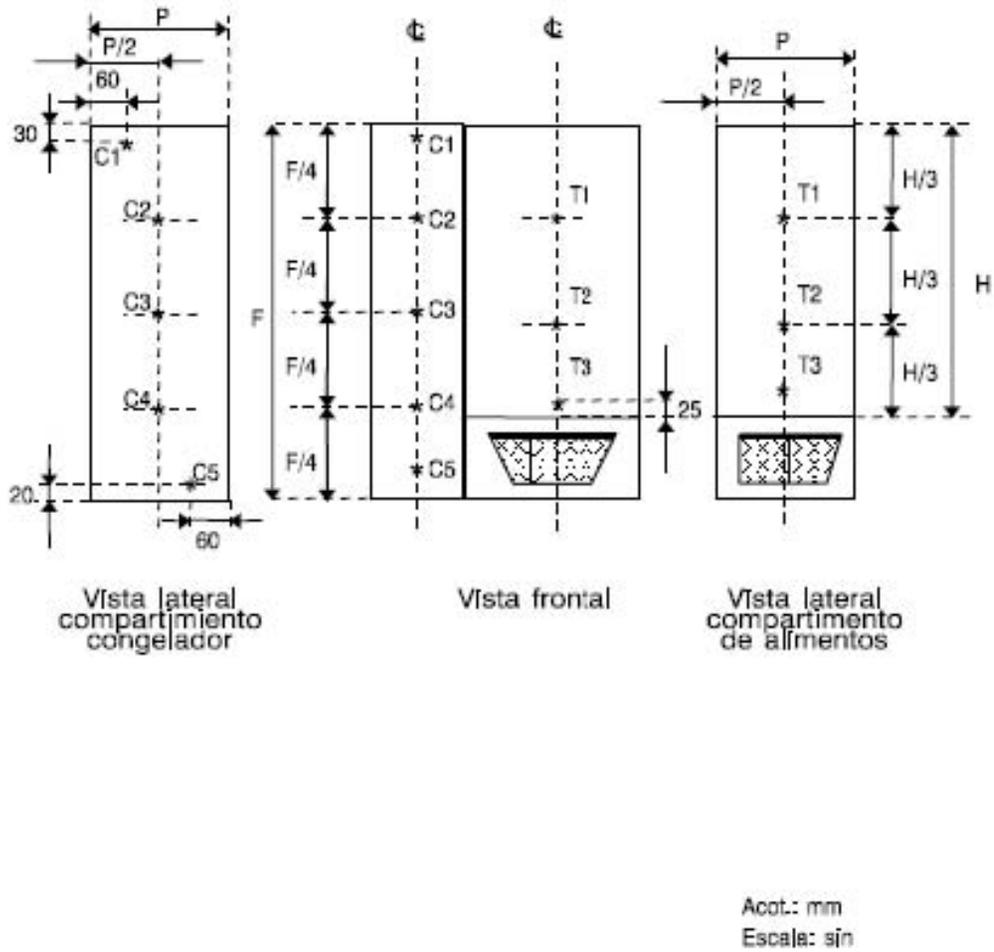


Figura 30. Colocación de sensores de temperatura en refrigeradores-congeladores con el congelador montado lateralmente