

SENSADO DE ESCARCHA EN EVAPORADORES MEDIANTE CAÍDA DE PRESIÓN

FROST SENSING IN EVAPORATORS THROUGH PRESSURE DROP

José Pablo Sámano Muñoz

Tecnológico Nacional de México en Celaya
m1703100@itcelaya.edu.mx

Martín Caudillo Ramírez

Tecnológico Nacional de México en Celaya
Martin.caudillo@itcelaya.edu.mx

Resumen

En esta investigación se presentan una serie de pruebas que se realizaron con el objetivo de relacionar la caída de presión del aire que fluye a través del evaporador de un refrigerador, con el volumen de escarcha que se acumula en él. La relación entre la caída de presión y el volumen de escarcha permitió generar un método de sensado que puede ser utilizado para formular un modelo matemático que describa el crecimiento de escarcha en función de la caída de presión. El objetivo de un refrigerador es la conservación de alimentos almacenados en su interior mediante la disminución de la temperatura del aire interno. El inconveniente es la capa de escarcha que se genera sobre el evaporador, puesto que la escarcha genera un aislamiento térmico, disminuyendo la capacidad de transferencia de calor. Medir la cantidad de escarcha formada en el evaporador trae consigo varias posibilidades de mejora para los refrigeradores, la más importante es en el sistema de refrigeración, manteniendo estable la transferencia de calor entre el aire y el evaporador; otra sería en el consumo eléctrico, si se realiza la operación de deshielo con la misma cantidad de escarcha, se puede disminuir el tiempo de deshielo reduciendo el consumo eléctrico, además de que el calor generado por la resistencia también puede disminuir llegando en menor medida a los alimentos.

Palabra(s) Clave: deshielo, escarcha, presión, sensado, refrigerador.

Abstract

In this research, we presented a series of tests that were conducted with the objective of the pressure drop of the air flowing through the evaporator of a refrigerator, with the volume of frost that accumulates in it. The relationship between pressure drop and clock volume can generate a detection method that can be used to formulate a mathematical model that describes frost growth as a function of pressure drop. The objective of a refrigerator is the preservation of food stored inside by reducing the temperature of the internal air. The drawback is the layer of frost that is generated on the evaporator, since the frost generates a thermal insulation, decreasing the capacity of heat transfer. Measuring the amount of frost formed in the evaporator brings several possibilities of improvement for the refrigerators, the most important is in the refrigeration system, keeping the heat transfer between the air and the evaporator stable; another would be in electricity consumption, if the de-icing operation is carried out with the same amount of frost, the melting time can be reduced by reducing the electricity consumption, besides the heat generated by the resistance can also decrease, reaching a lesser extent to the food.

Keywords: *De-icing, Frost, Pressure, sensed, Refrigerator.*

1. Introducción

Actualmente los refrigeradores con sistemas de deshielo automático cuentan con un control en lazo abierto para el sistema de deshielo, este está basado en la cantidad de aperturas de puertas y ciclos de trabajo del compresor, sin embargo, la cantidad de escarcha que se desea remover puede variar dependiendo de las condiciones climáticas del lugar donde se encuentre el refrigerador, así como el uso que a este se le dé (Bárcenas, 2015).

Utilizar un control en lazo abierto no garantiza que la cantidad de escarcha a remover sea considerable para afectar al refrigerador, puesto que, si se tiene un par de unidades con el mismo uso, pero en regiones con climas distintos y con ciclos de deshielo iguales, estos podrían ser o no ser de utilidad. Por ejemplo, una unidad donde el clima sea cálido y húmedo, su cantidad de escarcha será grande

en comparación con una unidad ubicada en un sitio con un clima cálido y seco, donde tendrá muy poca escarcha. Si el deshielo se realizara con poca escarcha, el calor generado por la resistencia se transferiría a los alimentos, produciendo alteraciones de conservación (Bárcenas, 2015).

Cerrando el lazo del sistema, midiendo la cantidad de escarcha formada en el evaporador. Se puede controlar de una manera más efectiva los deshielos. Mejorar la forma en la que se deshiela reducirá la variación de temperaturas dentro del refrigerador, manteniendo una buena calidad en los alimentos (Bárcenas, 2015).

El evaporador es el componente del sistema de refrigeración encargado de mantener baja la temperatura dentro del refrigerador, esto mediante la cesión de calor que proviene del aire y que es adquirido por el fluido refrigerante. De esta manera el aire dentro del refrigerador baja su temperatura, creando el ambiente de conservación necesario en los alimentos (Avilés et al., 2003) (Bárcenas, 2015).

La segunda función que tiene el evaporador es concentrar la humedad del aire en el refrigerador. Si esta humedad se concentra en los envases, paredes u otros sitios del refrigerador puede tener problemas de conservación de alimentos (Coronel, 2007) (Fricke et al. 2011) (Stoecker, 1998).

El inconveniente de los evaporadores es la humedad contenida que se solidifica sobre su superficie formando escarcha. La escarcha tiene un bajo coeficiente de transferencia de calor, por lo que la velocidad para disminuir la temperatura interna del refrigerador se reduce (Minha, 2013) (Stoecker, 1998).

Para evitar que se genere este aislamiento, algunos refrigeradores cuentan con una resistencia, que al ser excitada por un voltaje genera el calor necesario para fusionar la escarcha, limpiando el evaporador (Bárcenas, 2015) (Coronel, 2007) (Ge, 2008).

Durante el ciclo de deshielo se incrementa la temperatura del refrigerador hasta en 10 °C, en algunos casos, lo que ocasiona que la temperatura de los alimentos almacenados en el refrigerador también aumente, esto favorece a reacciones indeseables como: desnaturalización de proteínas, oxidación de lípidos, hidrólisis de sacarosa, oscurecimiento no enzimático, disociación de lipoproteínas de la

membrana celular dejando libre el contenido celular y ocasionando la pérdida de agua, que es notoria durante el descongelamiento, ocasionando que los alimentos pierdan su rigidez, frescura, y que su tejido se vuelva muy suave (Avilés et al., 2003) (Coronel, 2007) (Orrego, 2008) (Stoecker, 1998).

2. Métodos

La caída de presión del aire que se genera por la obstrucción al flujo a través del evaporador por la acumulación de escarcha. Para este fenómeno se planteó medir la presión del aire en la entrada y en la salida del evaporador (ver figura 1), con la finalidad de tener un diferencial de presión que posteriormente se relacionó con el volumen de escarcha formada.

Para tener una visión más clara acerca de las tecnologías empleadas en el sensado y sobre el fenómeno de generación de escarcha en el evaporador, se optó por realizar pruebas con distintas condiciones para observar el comportamiento del crecimiento de la escarcha y su efecto en el refrigerador.

Las pruebas se llevaron a cabo con un refrigerador comercial con un evaporador de espigas con forma de V invertida, en una cámara térmica a 90 °F (32.2 °C) y una humedad entre 25 y 35 %, además se colocó una charola con agua y un ventilador que hizo fluir el agua en la charola (figura 1) dentro del compartimiento de alimentos frescos (FF por sus siglas en inglés), esto con la finalidad de agregar humedad al aire que va al evaporador y acelerar el proceso de formación de la escarcha.

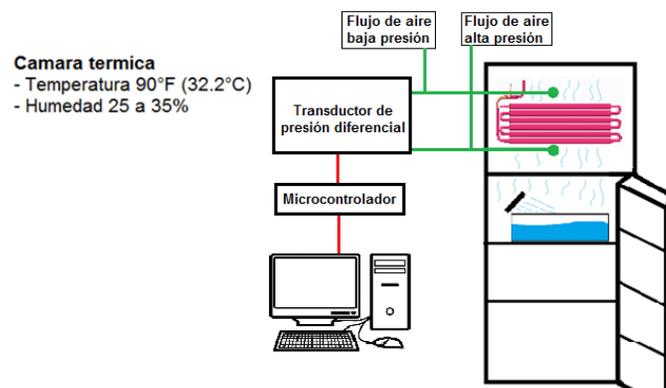


Figura 1 Metodología de las pruebas.

El transductor de presión diferencial que se utilizó entrega un voltaje de 0 a 5 V dependiendo del diferencial de presión. El rango de medición de presión diferencial del transductor es de 0 a 1.5 inH₂O (373.26 Pa). Esta relación está dada por la ecuación 1.

$$V = 74.378 * P - 2.862 \quad (1)$$

Donde:

V es el voltaje (en volts)

P es el diferencial de presión (en pascales)

El voltaje que entrega el transductor se filtró con una media móvil, fue registrado y almacenado por un microcontrolador y una computadora.

Las mangueras que requiere el transductor para el flujo del aire, que va a sensar, se colocaron verticalmente en dirección contraria al flujo del aire y a una distancia de 4 cm de la parte inferior y a 6 cm de la parte superior del evaporador.

Las pruebas que se realizaron fueron para determinar la viabilidad del uso de un sensor de presión diferencial por lo que se cambiaron algunos parámetros en las pruebas como la apertura y cierre de puertas, la modificación de los ciclos de trabajo del compresor, el uso del ventilador y la charola con agua, además de que se desconectó la resistencia de deshielo para realizarlo manualmente al término de cada prueba.

El diagrama de flujo de la figura 2 muestra el seguimiento de las pruebas realizadas.

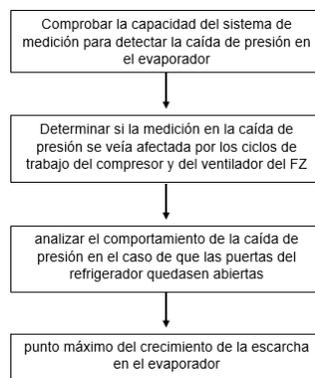


Figura 2 Diagrama de flujo de las pruebas realizadas.

3. Resultados

Prueba 1 (comprobar la capacidad del sistema de medición para detectar la caída de presión en el evaporador)

En la figura 3 se observa como el voltaje entregado por el transductor aumenta respecto al tiempo. Al pasar aproximadamente 8 horas se genera un deshielo lo que provoca que la caída de presión sea cercana a cero cuando el compresor vuelve a trabajar otra vez, indicando que el evaporador quedo libre de escarcha. Para esta prueba se dejó la puerta del compartimiento FF abierto, lo que ocasiona que el compresor y el ventilador del congelador (FZ por sus siglas en inglés) no realicen ciclos de standby.

Con esta prueba se concluye que la metodología utilizada es viable para relacionar la caída de presión con el volumen de escarcha ya que se obtienen datos similares en cada ciclo antes de los deshielos.

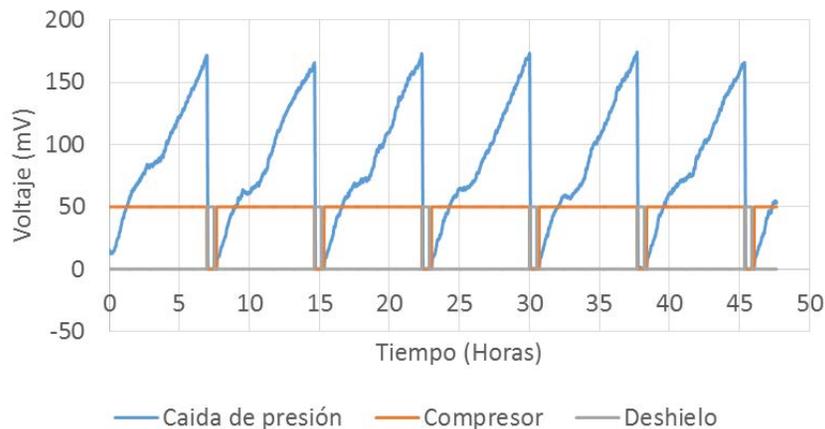


Figura 3 Ciclos de escarchado y deshielo.

Prueba 2 (determinar si la medición en la caída de presión era afectada por los ciclos de trabajo del compresor y del ventilador del FZ)

A diferencia de la prueba anterior, en esta se cerraron por completo ambas puertas, esto con la intención de tener ciclos de trabajo y periodos de standby del compresor. El ventilador y la charola no fueron removidos.

Para esta prueba se reprogramó el microcontrolador del refrigerador para tener ciclos de compresor más largos, esto con la finalidad de tener un mayor tiempo en

la convección forzada. Con el nuevo código del microcontrolador se producen periodos de standby más largos, lo que genera un incremento en la temperatura interna del refrigerador, aumentando la capacidad del aire de tener humedad y de que aumente la posibilidad de formar escarcha.

En la figura 4 se observan las temperaturas en los compartimientos del refrigerador, el voltaje relacionado a la caída de presión y los ciclos de trabajo del compresor y de deshielo. Se puede notar que en el momento que el compresor entra en periodo de standby, la caída de presión se reduce a cero, esto se debe a que el compresor y el ventilador de FZ están conectados en paralelo. Al estar apagado el ventilador la convección forzada se detiene y sólo existe convección natural, sin embargo, el flujo de aire es muy pequeño, tanto que el sensor no detecta variación.

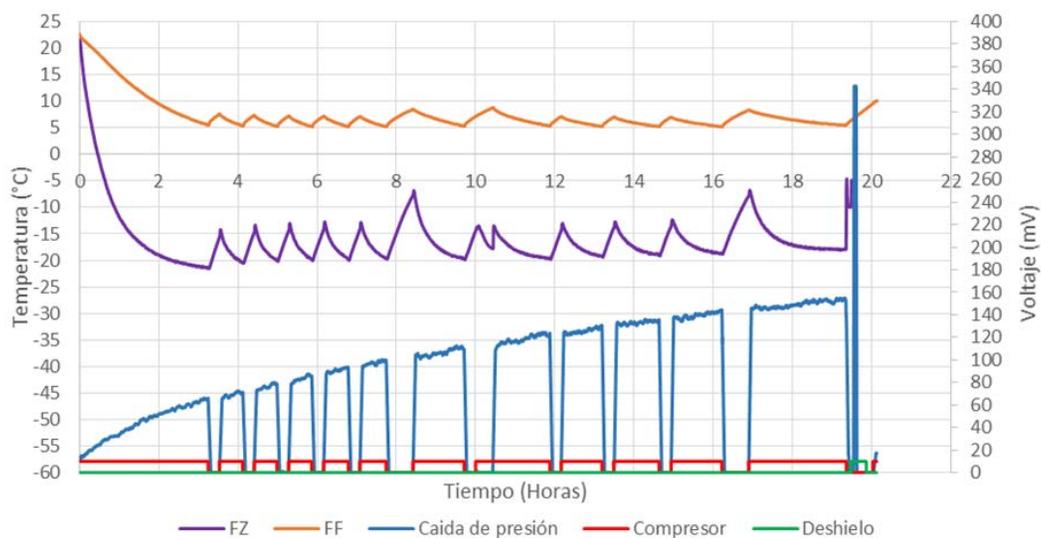


Figura 4 Caída de presión y temperaturas del refrigerador.

Prueba 3 (analizar el comportamiento de la caída de presión en el caso de que las puertas del refrigerador quedasen abiertas)

Esta prueba se realizó con la misma metodología que la prueba 2. El refrigerador se encontraba con las puertas cerradas y la charola con el ventilador. En la figura 5 se aprecia un incremento notable en las temperaturas a partir de las 20 horas de la prueba. Este incremento se debe a que las dos puertas del

refrigerador se dejaron abiertas por 2 minutos, después de este tiempo, se cerraron para que la temperatura bajase nuevamente. Esto se repitió 3 veces antes del deshielo. Observando la caída de presión en este periodo de tiempo, se puede notar que el aumento de temperatura y la apertura de las puertas no causaron un problema en el sensado de la caída de presión, ya que se observa cómo se mantiene la pendiente de la caída de presión.

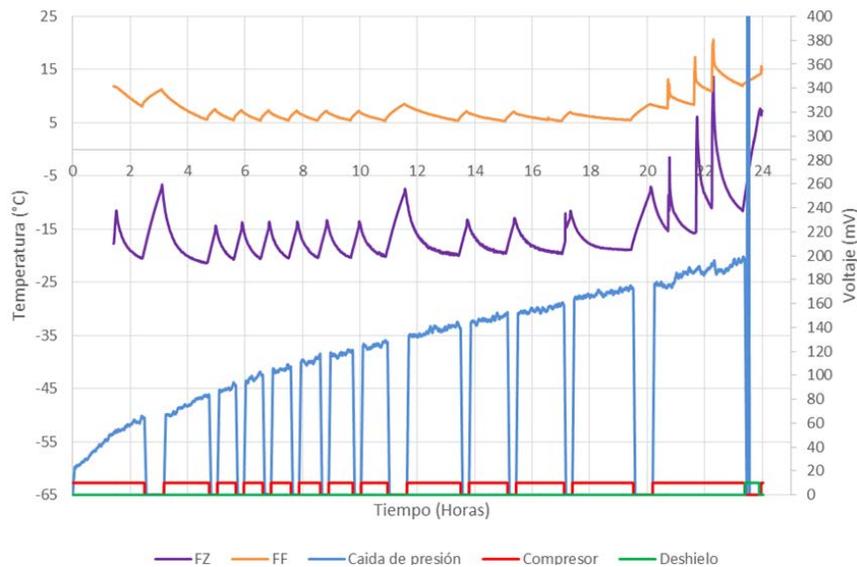


Figura 5 Caída de presión y temperaturas del refrigerador.

Prueba 4 (punto máximo del crecimiento de la escarcha en el evaporador)

Durante el crecimiento de la escarcha, esta llega a un punto donde ya no puede crecer debido al tamaño del compartimiento donde se encuentra el evaporador. Cuando esto pasa la humedad se empieza a acumular en otras zonas del refrigerador, como las paredes internas o los alimentos lo que afectaría en su conservación.

Para esta prueba se repitieron las condiciones de las pruebas anteriores, la diferencia es el tiempo que duró la prueba. En la figura 6 se observa como la caída de presión llega a un punto máximo aproximadamente a las 40 horas de la prueba. La caída se mantuvo en una pendiente casi horizontal hasta las 75 horas de la prueba. Este comportamiento del crecimiento es causado por gran la cantidad de

escarcha, que bloqueó gran parte del compartimiento del evaporador como se muestra en la figura 7.

En la figura 6 a partir de las 75 horas hasta el final de la prueba se distingue que el sensado de la caída de presión no es congruente con el resto de la gráfica. El comportamiento de la caída de presión en los últimos dos ciclos de la prueba fue causado por escarcha acumulada en las puntas de las mangueras.

En la misma figura también se nota como las temperaturas internas comenzaron a incrementar gracias al aislamiento térmico producido por la escarcha.

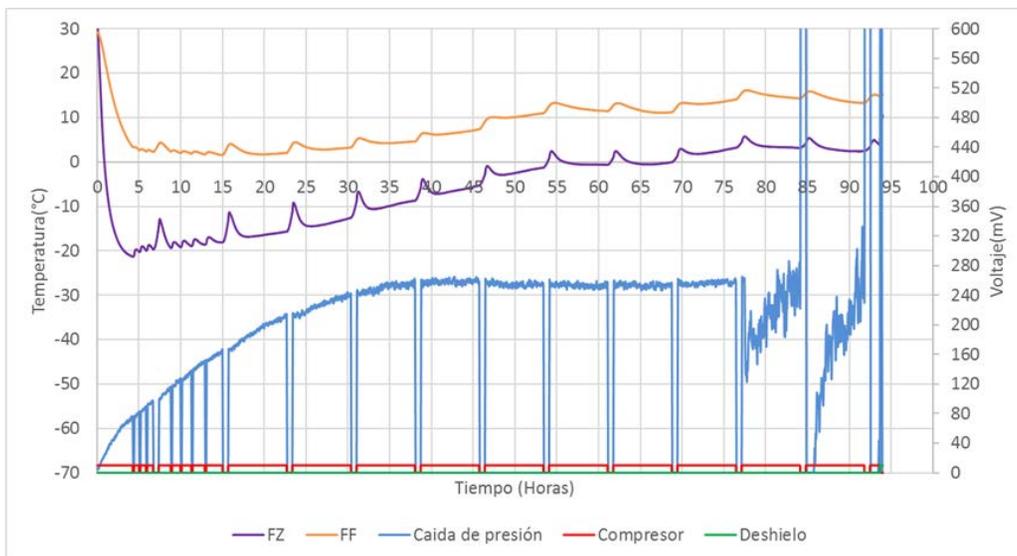


Figura 6 Caída de presión y temperaturas del refrigerador.



(a) Evaporador saturado.



(b) Crecimiento de escarcha fuera del evaporador.

Figura 7 Estado del evaporador.

Relación entre voltaje, presión y volumen de escarcha

Para determinar la relación de volumen de escarcha contra voltaje o pascales, se realizaron varias pruebas en las que varió la duración, la cantidad de agua en la charola y las aperturas de puertas con los brazos; con el objetivo de generar distintas cantidades de escarcha. Al término de cada prueba se recuperó el agua de cada deshielo para determinar el volumen.

Con el voltaje medido antes de iniciar cada deshielo y el volumen de agua se generó la gráfica mostrada en la figura 8. En esta figura se puede notar como al llegar a un voltaje entre 150 y 200 mV el volumen aumenta considerablemente, lo cual es congruente con la información de la prueba 4, pues en este punto es cuando se comienza a saturar de escarcha el compartimiento del evaporador.

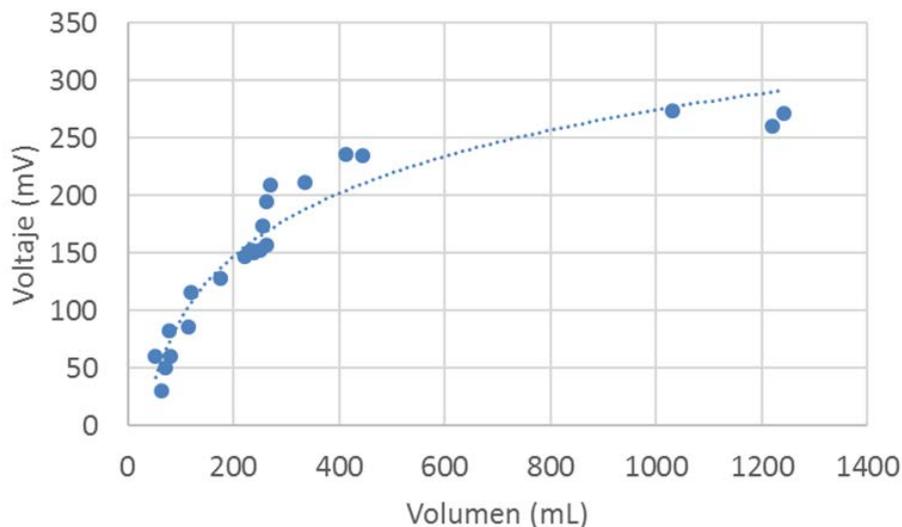


Figura 8 Relación entre volumen de escarcha y voltaje.

Con ayuda de la relación lineal entre el voltaje y la caída de presión dada por la ecuación 1, es posible sustituir el voltaje mostrado en las figuras anteriores por pascales. Realizando la conversión de voltaje a pascales en los datos la figura 8 se genera la misma curva, pero con una escala distinta (figura 9).

En las figura 13 se observa como la caída de presión llega a un punto en el que no aumenta considerablemente, por estar saturado el evaporador, la masa seguirá aumentando en mayor medida que la presión por el bloqueo casi total del aire.

Además, si se comparan estos puntos donde el aumento de la caída de presión es pequeño, con la temperatura interna se puede observar como esta aumenta.

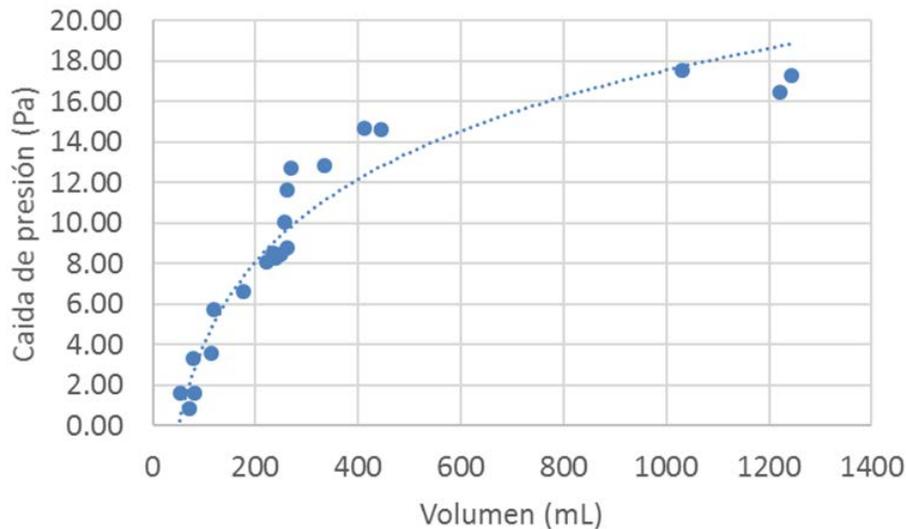


Figura 9 Relación entre volumen de escarcha y caída de presión.

4. Discusión

El fenómeno de formación de escarcha en el evaporador de un refrigerador es muy complejo y depende de variables como las temperaturas y humedades internas y externas del refrigerador, además de los ciclos de trabajo del compresor, la velocidad del aire y la geometría del evaporador. Es posible formular un modelo matemático que describa el crecimiento de la escarcha utilizando estas variables, sin embargo, no es la única opción.

En las figuras 12 y 13 observando las líneas de tendencia y los puntos que relacionan el voltaje, la caída de presión y el volumen de escarcha, se puede afirmar que existe una relación entre la caída de presión y la cantidad de escarcha que se forma en un evaporador. Se distingue la precisión que puede tener este método de sensado.

Realizando más pruebas, aumentando el número de puntos en las gráficas es posible llegar a un modelo matemático aproximado para el crecimiento de escarcha, con sus limitaciones ya que el volumen sería relacionado con un efecto de la acumulación, no a una o varias variables que intervienen en el fenómeno de

formación, además de que está limitado al modelo de refrigerador que se utilizó en la investigación.

A pesar de las limitaciones, el modelo logarítmico ayudaría a entender cómo crece la escarcha en el evaporador, además de cómo afecta la escarcha al rendimiento del refrigerador.

Utilizar la caída de presión del aire que fluye a través del evaporador es una variable que puede ser factible para cerrar el lazo en el sistema de control de deshielo de los refrigeradores, ya que actualmente este sistema es de lazo abierto y no considera todas las variables en el fenómeno del crecimiento de la escarcha.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Aviles, E. A., Miller, N. R., & Newell, T. A. (2003). Detection of Evaporator Frost. Air Conditioning and Refrigeration Center, University of Illinois, 61.
- [2] Bárcenas, P. (2015). Sistema de detección de escarcha utilizando sensores capacitivos para el control de deshielo en refrigeradores (tesis de maestría en sistemas de manufactura). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Querétaro.
- [3] Chavarrías, M. (26 de 10 de 2015). Escuela de alimentación. Condensación y alimentos, el líquido enemigo: <http://observatorio.escueladealimentacion.es/>
- [4] Coronel, J. (2007). Evaporadores. Dpto. Ingeniería Energética, Universidad de Sevilla
- [5] Fricke, B., & Sharma, V. (2011). Demand Defrost Strategies in Supermarket Refrigeration Systems. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- [6] GE. (2008). Manual de Uso y Cuidado.
- [7] Minha, E. (septiembre de 2013). Innoersia. Obtenido de Deshielo rápido de la carne congelada: <http://www.innoersia.net/>.
- [8] Orrego, C. (2008). Congelación y liofilización de alimentos. Manizales, Colombia: Artes Gráficas Tizan Ltda.
- [9] Stoecker, W. (1998). Industrial Refrigeration Handbook. McGraw-Hill.