

Determinación de la caída de presión y el diámetro de tubería en un sistema de refrigeración por compresión de vapor

AGUILAR-MORENO, Antonio Alberto*†, PÉREZ-GARCÍA, Vicente, RODRÍGUEZ-MUÑOZ, José Luis y DUARTE-CABRERA, Gerardo Daniel

Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato, carr. Valle-Huanimaro sn C.P. 38420 Guanajuato, Gto.

Recibido Enero 28, 2014; Aceptado Mayo 29, 2014

Resumen

La refrigeración es el proceso de extracción de calor a un objeto u espacio confinado. La extracción de calor se realiza reduciendo la energía de un cuerpo.

Los sistemas de refrigeración están diseñados primordialmente para disminuir la temperatura del producto almacenado en las cámaras de refrigeración, las cuales pueden contener una variedad de alimentos o compuestos químicos.

Es así que, dentro de las principales actividades que se deben realizar antes de montar una instalación es el correcto dimensionamiento de las líneas por donde circulara el fluido de trabajo (refrigerante).

En este trabajo se presenta el dimensionamiento de las líneas de un sistema de refrigeración por compresión de vapor de una capacidad de 5.7 kW, que será construido en la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato.

Los resultados obtenidos muestran que los diámetros de la tubería de la línea de succión debe de ser de 2.54 cm (1 pulg) y la línea de descarga de 0.95 cm (3/8 pulg), la tubería seleccionada para dichas líneas es de cobre, las caídas de presión calculadas son de 12.87 y 14.21 kPa, respectivamente. Actualmente se trabaja en la construcción de la instalación experimental que servirá para realizar pruebas a futuro dentro de la UTSOE.

Refrigeración, instalación experimental, tubería, caída de presión

Abstract

Refrigeration is the process of extracting heat an object or confined space. Heat extraction is performed by reducing the energy of a body.

Refrigeration systems are designed primarily to lower the temperature of the stored product in refrigeration chambers, which may contain a variety of foods or chemical compounds.

Much so that, within the main activities to be performed before mounting installation it is the correct sizing of the lines through which circulate the working fluid (refrigerant).

In this paper is presented the design of the lines of a cooling system vapor compression of capacity 5.7 kW, which will be built at the Technological University of the Southwest of Guanajuato.

The results show that the diameter of the pipe from the suction line should be 2.54 cm (1 inch) and the discharge line of 0.95 cm (3/8 inch) pipe selected for these lines is copper, the calculated pressure drops are 12.87 and 14.21 kPa, respectively.

Currently it is working on the construction of the experimental installation which will serve for testing future within the UTSOE.

Refrigeration, systems, pipe, software

Citación: AGUILAR-MORENO, Antonio Alberto, PÉREZ-GARCÍA, Vicente, RODRÍGUEZ-MUÑOZ, José Luis y DUARTE-CABRERA, Gerardo Daniel. Determinación de la caída de presión y el diámetro de tubería en un sistema de refrigeración por compresión de vapor. Revista de Prototipos Tecnológicos. 2015, 1-1:39-47

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jaaguilarm@utsoe.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El hielo natural fue usado para enfriar desde tiempos antiguos, transportándose de zonas frías a zonas calientes o se guardaba el hielo en el invierno para usarse en verano. En 1755, William Cullen produjo un poco de hielo en el laboratorio evaporando éter por medio de vacío, este proceso no es cíclico pues cuando el éter se evapora por completo la refrigeración termina. En 1803, se inventó la “caja de hielo”, primer refrigerador doméstico que funciona poniendo hielo en un lugar elevado generando convección, fue usado por más de un siglo. En 1805, Oliver Evans describió un mecanismo que haciendo uso de un compresor (operado por un motor) permite refrigeración continua, fue construido y patentado por Jacob Perkins, en 1835.

La refrigeración es un proceso que se ha vuelto común en la vida diaria, ha evolucionado a lo largo de los años, tanto en su comprensión como en la fabricación de los dispositivos que la hacen posible y de las diversas sustancias que son utilizadas como refrigerantes.

Ésta se define como el proceso de mantener un producto o espacio a una temperatura menor a la de sus alrededores, Von Platen y Munters (1928), Dossat (1991). Este concepto no debe confundirse con el enfriamiento, el cual implica una disminución en la temperatura, no necesariamente menor a la de los alrededores.

Mediante el uso de instalaciones de compresión de vapor experimentales se puede lograr esto.

El presente trabajo aborda las principales actividades que se deben realizar antes de montar una instalación, siendo el correcto dimensionamiento de las líneas del sistema de refrigeración por compresión de vapor, el sistema se realizó considerando la línea de baja presión adiabática y permitió seleccionar el tipo de tubería, diámetros adecuados para la zona de descarga y succión, así como el tipo de refrigerante.

Los resultados obtenidos permitirán el desarrollo del sistema de refrigeración y serán de gran utilidad para su construcción. Actualmente se trabaja en la construcción de la instalación experimental que servirá para realizar pruebas a futuro dentro de la Universidad Tecnológica del Suroeste de Guanajuato.

Sistemas de Refrigeración Convencional

La refrigeración involucra procesos como son la evaporación y la condensación, mismos que se describen a continuación.

Evaporación y condensación: La evaporación es un proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial. La condensación es el cambio de fase de la materia que se encuentra en forma gaseosa (generalmente vapores) y pasa a forma líquida. Es el proceso inverso a la vaporización.

Enfriamiento por evaporación: durante la evaporación, al ser las partículas con mayor velocidad las que escapan del líquido lo dejan, en promedio, con menos energía cinética, por lo que disminuye su temperatura.

En un refrigerador el refrigerante es llevado a través de un ciclo que, a diferencia del ciclo de Carnot, no es reversible ni de eficiencia máxima. Este ciclo se lleva a cabo en la región de saturación, donde coexisten el líquido y el vapor del refrigerante (sustancia encargada del transporte de calor en un refrigerador y se utiliza para absorber calor del espacio o cuerpo a refrigerar).

Usualmente estos ciclos son estudiados en un diagrama de presión-entalpía del refrigerante en cuestión, ya que tienen la ventaja de facilitar el cálculo de la cantidad de calor extraído y cedido en los procesos a presión constante, que equivale a la diferencia de entalpía entre el estado final e inicial.

De la Figura 1, donde se muestra un ciclo de refrigeración típico, el ciclo comienza cuando todo el refrigerante está en su forma líquida, a alta presión y temperatura. En estas condiciones puede estar en el punto A', donde el líquido está saturado; o en el punto A, donde el líquido está subenfriado. Al disminuir su presión y temperatura abruptamente se evapora parte del refrigerante (es lo que sucede cuando abrimos una olla express que aún está muy caliente: la presión y la temperatura dentro de ésta son muy altas, al abrir disminuimos la presión hasta la atmosférica drásticamente, evaporándose parte del agua dentro de la olla; como no hay intercambio de calor con los alrededores, la energía necesaria para la evaporación se toma de la energía interna del líquido, disminuyendo con esto la temperatura del mismo), punto B o B'; la diferencia entre estos puntos radica en la cantidad de refrigerante líquido que se tiene: entre más cerca se está de la línea de líquido saturado mayor es el porcentaje de líquido presente.

Al pasar del punto B (o B') al punto C, el refrigerante se evapora por completo extrayendo calor del espacio a refrigerar (se produce un enfriamiento por evaporación del refrigerante; es la razón por la que, por ejemplo, una taza de café se enfría. Entonces, ¿por qué el refrigerante se mantiene a temperatura constante? Esto se debe a que se mantiene en contacto con el espacio a refrigerar robándole calor y compensando así su enfriamiento por evaporación).

Se llamara efecto refrigerante a la cantidad de calor que se extrae de dicho espacio; aquí hay que notar que el efecto refrigerante para el proceso B-C es mayor que para el proceso B'-C, ya que en el segundo tenemos menos refrigerante disponible para la evaporación, razón por la cual el subenfriamiento al inicio del ciclo se vuelve importante. Una vez que tenemos vapor saturado se lleva a cabo una compresión, es decir, aumentamos su presión y temperatura hasta alcanzar el punto D.

A partir de este punto, el refrigerante cede calor a un medio condensante para saturarse, llegar al punto E, y posteriormente condensarse por completo, regresando al punto A o A' (por ejemplo, cuando se forman gotas de agua en una bebida es porque el vapor de agua, presente en el aire circundante, cede calor a la bebida condensándose en la superficie del recipiente que la contiene) Castro et. al (2010).

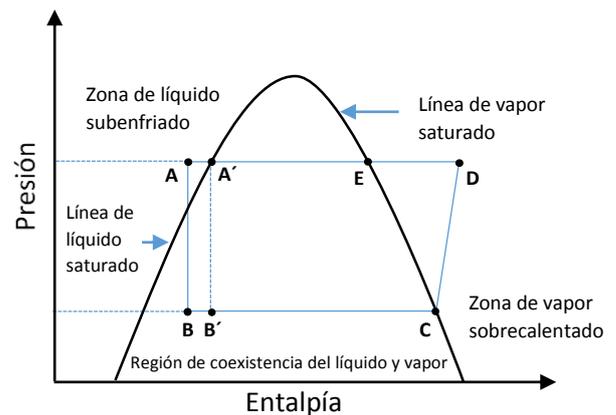


Figura 1 Diagrama de presión-entalpía. Se muestran las zonas de líquido y vapor, también la región de coexistencia delimitada por las líneas de saturación; dentro de la región de coexistencia, las líneas de presión constante también son líneas de temperatura constante.

Haciendo un balance entre la capacidad de refrigeración que tiene el ciclo (efecto refrigerante) y la cantidad de trabajo que se debe invertir para lograrlo (trabajo realizado durante la compresión), se define el Coeficiente de Rendimiento (Coefficient of Performance, COP) como, Dossat (1991):

$$\text{COP} = \frac{\text{Efecto Refrigerante}}{\text{Trabajo de Compresión}} \quad (1)$$

Cuando se quiere diseñar un sistema de refrigeración se busca que el COP sea lo más alto posible, esto ayuda a aumentar la eficiencia del mismo.

Un sistema de refrigeración es un mecanismo que hace posible la refrigeración llevando una sustancia a través de un ciclo termodinámico como el descrito anteriormente; durante el cual se extrae calor del espacio que se quiere refrigerar, administrando cierta cantidad de energía al sistema. Los sistemas más usuales son el sistema por compresión y el sistema por absorción de vapor. La principal diferencia entre ambos, son los mecanismos utilizados para llevar al refrigerante a través del ciclo respectivo y la forma de administrarles energía, siendo en el primero mecánica y en el segundo calorífica.

A continuación se describe el sistema de refrigeración por compresión de vapor, el cual se utilizara para el dimensionamiento de este trabajo.

Refrigeración por compresión

Un sistema de refrigeración por compresión puede dividirse en dos partes, una de alta presión y otra de baja presión. En la zona de baja presión y baja temperatura (zona de líneas, Figura 2) se lleva a cabo la evaporación del refrigerante dentro de un depósito llamado evaporador, el cual está en contacto con el espacio a refrigerar o cámara refrigerante.

Durante este proceso se pierde calor de la cámara refrigerante, manteniendo su temperatura más baja que la de los alrededores. Para mantener la presión constante en el evaporador se utiliza un compresor (impulsado por un motor), su función es succionar el refrigerante sacándolo del evaporador.

La zona de alta presión (zona de puntos, Figura 2) comienza a la salida del compresor, el cual aumenta la presión y temperatura del vapor hasta sobrecalentarlo.

Después, se hace pasar al refrigerante por un condensador, en contacto con el medio condensante (usualmente se usa agua o aire) al que cede calor, a la salida del condensador se tiene refrigerante líquido. El refrigerante se almacena en un contenedor o tanque conectado al evaporador mediante una válvula de expansión que, al abrirse, disminuye rápidamente la presión y la temperatura del refrigerante cerrando el ciclo.

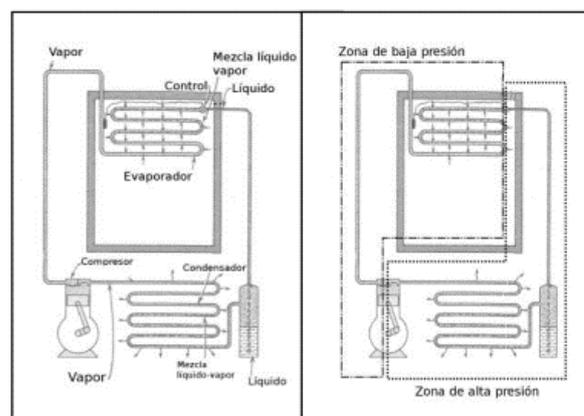


Figura 2 Refrigeración por Compresión. A la izquierda se muestra un dibujo esquemático de un sistema refrigerante por compresión de vapor, A la derecha se muestran las zonas de alta y baja presión.

El sistema descrito anteriormente son de ciclo continuo y la generación es simultánea, la presencia del evaporador, el condensador, el compresor y la válvula de expansión, donde en el sistema de compresión de vapor (SCV) el compresor mantiene baja la presión en el evaporador y alta presión en el condensador.

Por otro lado, debido a la gran variedad de refrigerantes disponibles para los SCV se pueden diseñar refrigeradores con una amplia gama de temperaturas de trabajo. La Tabla 1 muestra las características de los sistemas de compresión de vapor.

Sistema de Compresión de Vapor
Se alimenta con potencia eléctrica
COP alto (~ 3), pero sensible a las temperatura del evaporador
El COP se reduce en las zonas de recarga
Se debe evitar tener líquido a la salida del evaporador ya que puede dañar el compresor
COP sensible al sobrecalentamiento en el evaporador
El motor del compresor requiere mantenimiento constante
Económicos cuando hay electricidad disponible

Tabla 1 Características del Sistema de Compresión de vapor.

Sustancias involucradas en la Refrigeración

Como ya se mencionó anteriormente, para lograr la refrigeración se requiere de una sustancia que transporte calor llamada refrigerante.

Un refrigerante es cualquier cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento, absorbiendo el calor de otro cuerpo. Desde el punto de vista de la refrigeración mecánica por evaporación de un líquido y la compresión de vapor, se puede definir como el medio para transportar calor donde lo absorbe por ebullición, a baja temperatura y presión, hasta donde lo rechaza al condensarse a alta temperatura y presión.

Los refrigerantes son cualquier fluido vital en un sistema de refrigeración mecánica. Toda sustancia que cambie de líquido a vapor puede funcionar como un refrigerante, dependiendo del rango de temperaturas, presiones y tener aplicación en los sistemas de refrigeración mecánica en la industria.

Refrigerantes

Existe una gran variedad de refrigerantes, sus características y propiedades físicas y químicas son muy diversas.

En la Tabla II se presentan las propiedades que idealmente debe tener un refrigerante; sin embargo, es muy difícil encontrar una sustancia que cumpla con todas. Así que, al momento de escoger un refrigerante, se debe buscar que se adecúe al tipo de refrigerador que se pretende construir así como la aplicación que se le dará al mismo. Además se debe tener en cuenta su toxicidad, seguridad e impacto ambiental.

Presión dentro del sistema	Debe estar por encima de la atmosférica (incluso en la zona de baja presión). Evita entrada de humedad y facilita detección de fugas.
Calor latente de vaporización	Alto para disminuir el flujo de masa dentro del sistema.
Calor específico	Del líquido, bajo para lograr subenfriamiento. Del vapor, alto para evitar sobrecalentamiento.
Conductividad térmica	Alta en ambas fases, para lograr buenas transferencias de calor.
Viscosidad	La viscosidad genera una fuerza de fricción contraria a la dirección del flujo, lo cual provoca caídas de presión dentro del sistema. Por lo que la viscosidad debe ser baja en ambas fases.
Presión del punto crítico	Elevada, esto permite trabajar siempre en la zona de coexistencia del líquido y el vapor.
Temperatura de fusión	Lo más baja posible, para evitar la congelación en el evaporador.
Miscibilidad	Es la capacidad de mezclarse con otras sustancias, en cualquier proporción, formando una solución homogénea. Una buena miscibilidad, evita tener que agregar un separador para obtener refrigerante puro a la salida del compresor.
Estabilidad y compatibilidad química	Evita reacciones indeseadas, que pueden generar sustancias corrosivas dañinas para el equipo.
Toxicidad	La toxicidad es el nivel de daño que puede provocar una sustancia al ser humano, ya sea pura o al mezclarse con el aire. Se busca que el refrigerante no sea tóxico.
Seguridad	Se refiere a que tan explosiva puede ser una sustancia pura o mezclada con el aire. Se busca que el refrigerante sea lo más seguro posible.
ODP	Da una medida del daño provocado a la capa de ozono por la sustancia. Debe ser lo más bajo posible.
GWP	Mide la contribución que tienen los refrigerantes al calentamiento global. Debe ser lo más bajo posible.

Tabla 2 Propiedades de los refrigerantes.

Como se dijo anteriormente, para mantener funcionando un refrigerador es necesario invertir energía en el sistema, dicha energía puede ser suministrada en forma mecánica o de calor, ya sea para los sistemas por compresión de vapor como para los sistemas por absorción de vapor.

Dado que el uso de los sistemas de refrigeración y los refrigerantes más comunes contribuyen en gran parte al calentamiento global y a la destrucción de la capa de ozono, los refrigerantes más usados suelen tener un ODP (Potencial de agotamiento de ozono, por sus siglas en ingles) y/o un GWP (Potencial de calentamiento global, por sus siglas en ingles) muy altos, se pueden buscar alternativas para modificar los sistemas convencionales de forma tal que puedan operar utilizando energía solar y refrigerantes no dañinos para el ambiente. En la Tabla 3 se muestran refrigerantes con su ODP y GWP.

Refrigerante	ODP	GWP
R11	1	3800
R22	0.055	1500
R134a	0	1300
R404 A	0	3260
R407 C	0	1520
R290	0	3
R507	0	3300
R744 (CO ₂)	0	1
R717 (NH ₃)	0	0

Tabla 3 Se muestra el ODP y el GWP de algunos refrigerantes. Los datos fueron tomados de Lamua (2000).

Metodología

El diseño del sistema de compresión de vapor se ha realizado con base a las temperaturas del evaporador de -15°C y una temperatura del condensador de 20°C, para llevar acabo esto se utilizó el sistema de refrigeración por compresión de vapor, el cual está compuesto de cuatro equipos, un evaporador, compresor, evaporador y un condensador, se considerara una eficiencia isentropica del 80% en el compresor.

En la Figura 3 se muestra de manera esquemática y en un diagrama T-s, este ciclo es el que más se utiliza en refrigeradores, el cual se compone de cuatro procesos:

- 1-2 Compresión isentrópica en un compresor
- 2-3 Rechazo de calor a presión constante en un condensador
- 3-4 Estrangulamiento en un dispositivo de expansión
- 4-1 Absorción de calor a presión constante en un evaporador

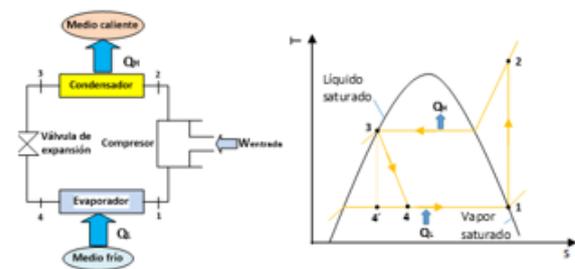


Figura 3 Esquema y diagrama T-s para el ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor.

Las ecuaciones utilizadas en la simulación del ciclo de compresión de vapor y para la obtención de las entalpías y los diámetros de tubería son:

Analizando el compresor:

$$W_c = (h_2 - h_1)m \tag{2}$$

$$\eta_c = \frac{h_{2,s} - h_1}{h_2 - h_1} \tag{3}$$

Analizando el condensador se encuentra el calor que desprende con la siguiente ecuación:

$$Q_{cond} = (h_2 - h_3)m \tag{4}$$

La valvula de expansión:

$$h_3 = h_4 \quad (5)$$

Y por ultimo se analiza en evaporador:

$$Q_{eva} = (h_1 - h_4)m \quad (6)$$

Otras ecuaciones adicionales que resultaran de gran utilidad son las siguientes:

$$COP = \frac{Q_{eva}}{W_c} \quad (7)$$

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (8)$$

$$m = \rho v A \quad (9)$$

La caída de presión en tuberías se calcula mediante la ecuación de perdida de carga:

$$\Delta P = \frac{f L v^2}{2 g D} \quad (10)$$

El factor de fricción de Darcy se calcula con la ecuación de Colebrook (1939).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.7 D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (11)$$

El refrigerante que se utilizará en el sistema de refrigeración es el R-134a, por su bajo potencial de daño a la capa de ozono, por lo que es apto para el uso en el sistema de refrigeración ideal. La Tabla 4 se muestra sus propiedades.

Propiedades físicas	
Fórmula molecular	CH2FCF3
Peso Molecular	102.03
Punto de ebullición, 101.3 Kpa (°C)	-26.10
Punto de congelación, 101.3 KPa (°C)	-96.60
Densidad 30°C (kg/m ³)	1188.10
Temperatura crítica (°C)	101.10
Presión crítica (MPa)	4.06
ODP	0.0
GMP	1300

Tabla 4 Propiedades del R134a

Resultados

Para obtener el dimensionamiento del sistema de compresión de vapor, el conjunto de ecuaciones descritas en la sección anterior fueron resueltas con la ayuda del software computacional Engineering Equation Solver, EESR. en la Tabla 5 se muestran los resultados de las ecuaciones anteriores utilizando como refrigerante el R134a.

T ₁ = -15.01°C	T ₂ = 61.95°C	T ₃ = 45°C
P ₁ =164 kPa	P ₂ =1161 kPa	P ₃ =1161 kPa
P ₄ =164 kPa	h ₁ =241.5 kJ/kg	h ₂ =292.6 kJ/kg
h ₃ =115.8 kJ/kg	h ₄ =115.8 kJ/kg	h _{2,s} =282.3 kJ/kg
COP=2.461	Q _{cond} =8 kW	Q _{eva} =5.7 kW
W _c =2.312 kW	m=0.045 kg/s	T ₄ = -15.01°C

Tabla 5 Resultados de las ecuaciones del sistema de refrigeración de compresión de vapor

La velocidad media en la succión y descarga fueron obtenidas por las velocidades frigoríficas con el refrigerante R-134a, ya que es una sustancia halógena, en la Tabla 6 se presenta las velocidades recomendadas para succión y descarga

Fluido	Succión (m/s)	Descarga (m/s)	Líquido (m/s)
Amoniaco	15 a 20	20 a 25	0.5 a 2.5
Halogenados	8 a 15 media 11.5	15 a 25 media 20	0.5 a 1.25 media 0.87
Dioxido de Carbono	5 a 8	5 a 6	0.5 a 1.25

Tabla 6 Velocidades recomendadas en tuberías de HFC's.

Para el dimensionamiento de la tubería de succión y descarga, con el análisis realizado y con los resultados obtenidos anteriormente se obtuvo el diámetro de las líneas de descarga y succión las cuales se muestran en la Tabla 6.

Línea	Velocidad	Longitud	Diámetro
Succión	11.5 m/s	4.2 m	3.175 cm (1¼ pulg)
Descarga	20 m/s	0.7 m	1.27 cm (1/2 pulg)

Tabla 7 Diámetros obtenidos de las líneas de succión y descarga, Emerson Climate Technologies (2012).

Los resultados muestran los diámetros de la turia de succión de 3.175 cm (1 ¼ pulg) y la línea de descarga de 1.27 cm (1/2 pulg), los culés son los diámetros seleccionados para las velocidades de 11.5 y 20 m/s respectivamente, el material de la tubería seleccionado para las líneas es de cobre tipo m.

En la Tabla 8 se muestra la caída de presión para las líneas de succión y descarga las cuales son de 12.87 y 14.21 kPa respectivamente, las cuales están por debajo de las caídas de presiones máximas permitidas que son de 13.2 y 15.2 kPa. Con esto se obtuvo la longitud de las líneas de succión y descarga, que son 1.9 y 0.7 respectivamente.

Las velocidades para el cálculo de las caídas de presión utilizadas son de 15 m/s para la línea de succión y 16 m/s para la línea de descarga.

Línea	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	ΔP (KPa)	ΔP_{max} (KPa)
Succión	15 m/s	1.9	12.87	13.2
Descarga	16 m/s	0.7	14.21	15.2

Tabla 7 Caídas de Presión de las líneas de succión y descarga.

Conclusiones

En esta investigación se ha presentado el dimensionamiento de un sistema de refrigeración por compresión de vapor.

Al seleccionar el refrigerante R-134a y la tubería de cobre en el dimensionamiento de un sistema de refrigeración por compresión de vapor, mejora la eficiencia considerablemente con respecto a los sistemas convencionales, Así como una resistencia a las presiones para poder completar el ciclo, con un costo accesible. El programa EES fue de gran utilidad para la solución de las ecuaciones.

Se logró obtener los diámetros y las longitudes para las líneas de succión y descargar que era el principal objetivo.

Con los resultados obtenidos se obtuvo una capacidad frigorífica de 5.7 kW del sistema de refrigeración por compresión de vapor.

Finalmente con estos resultados serán de gran utilidad para la construcción del sistema refrigeración por compresión de vapor

Nomenclatura

D	Diámetro (m)
ΔP	Caida de presión (kPa)
f	Factor de fricción (-)
g	Gravedad (m/s ²)
h	Entalpia especifica (kJ/kg)
L	Longitud (m)
m	Flujo masico (kg/s)
P	Presión (kPa)
Q	Potencial térmico (kW)
Re	Numero de Reynolds (-)
T	Temperatura (°C)
v	Velocidad m/s
W	Trabajo (kW)

Simbolos griegos η Eficiencia ρ Densidad (kg/m³)**Subindice**

c Compresor

1,2,3,4 Estado

cond Condensador

evap evaporador

Yunus A. Cengel, Michale. A. Boles, D.F (2009) McGrawHill/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Emerson Climate Technologies (2012), Catálogo General de Productos Válvulas, Controles y Protectores del Sistema Latinoamérica, www.emersonclimate.com/español, Forma No. 2009FC-112 R1 (02/12)

Referencias

C. F. Colebrook, Turbulent flow in pipes, with particular reference to the transition between the smooth and roght pipe laws, J. Inst. Civ. Eng. Lond. Vol 11, 1938-1939, pp. 133-156.

Castro, G. J., Herandez, Z. S., Alvarez, M. C. (2010), La Refrigeracion en la Enseñanza de la Fisica, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Universidad 3000, Mexico D.F.

Dossat, R. J., Principles of refrigeration, (PrenticeHall, Inc. 3a Edición. Estados Unidos de América, 1991).

Frank W. White, Mecanica de Fluidos, Sexta edición, McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A. U. 2008.

Lamúa, M. y Cuesta, F., El amoniaco como refrigerante, (AMV Ediciones. 1^a Edición, Madrid, 2000).

Pizano Ojer J. M., Hernandez Jaesuría E. y Jarque Salvador I., Dimensionamiento grafico para tuberías de refrigerante R-134^a, III Congreso Ebero-Americano de Aire Acpmencionado y Refrigeración, del 28 al 31 de Agosto de 1995, Sao Paulo, Brasil.

Von Platen BC, Munters CG (1928), Refrigerator, US Patent No. 1864562.