

# **DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA REALIZAR ENSAYOS DEL CICLO TERMODINÁMICO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR.**

(Design of a tester table to make tests of the refrigeration thermodynamical cycle of vapor compression)

**Autor:** ING. Caldón Méndez José Rafael

**Tutor:** MSC. Wilmer La Cruz

**Año:** 2.007

## **RESUMEN**

El banco de pruebas CIC-4, (Ciclo Inverso de Carnot-4) como instrumento de aprendizaje para los estudiantes de la Universidad Valle del Momboy, permite en lo que para muchos será su primer contacto con equipos y sistemas de refrigeración, identificar los elementos que lo componen: Evaporador, condensador, compresor, y válvula de expansión, así como su función dentro del sistema. Por otra parte, este banco de pruebas permite observar el comportamiento de un sistema de refrigeración bajo ciertas condiciones de operación, identificar los cambios de estado en la materia (Refrigerante), y cálculo de algunas variables de operación. El Banco de pruebas fue concebido con el fin de mostrar de manera práctica el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, propuesto por primera vez en el año de 1824 por el ingeniero Francés Sadi Carnot, su construcción es bastante sencilla, se dispone de un evaporador y un condensador enfriados por agua, un compresor de tipo semi hermético y una válvula de expansión del tipo aguja de flotador. Algunos elementos secundarios presentes son: el caudalímetro, manómetros, sensores de temperatura, válvulas de carga y válvulas de desahogo de presión. El costo de construcción de este banco de pruebas es de 4.576.832Bs. así mismo se calcularon las cargas térmicas para tres refrigerantes (R-12, R-22 y R-134), obteniendo que el banco de pruebas CIC-4 podrá cubrir las todas.

**Descriptor: Refrigeración, Refrigerante, Ciclo, Compresión, Condensación, Expansión, Evaporación, Compresor, Condensador, Evaporador.**

## **ABSTRACT**

The tester's table CRC-4 (Carnot's Rverse Cicle -4) like a learning way for the UVM's students, shows in the fist contact with refrigeration equipments and systems all the components of those: Evaporator, Condensator, Compressor, and Expansion valve, as the way how those elements works into the system. In other ideas order, this tester table, is able to show a refrigeration's system behavior in different work conditions. Identify all material changes (Refrigerant) as the calculation of some

operation variables. This test table was created with the propose to show in a easy way the vapor's compression refrigeration cycle, proposed by fist time n 18824 by the French engineer Sadi Carnot . Its building is really simple, Has a cooled by water Evaporator and Condensator, a semi hermetical compressor , and an expansion, valve. Some secondary elements are present. The building cost of this tester table are 4.576,83 Bs.F, in the same way, some thermal charges has been calculated to three refrigerants (R-12, R-22 and R-134), obtaining that, the Tester's table CRC-4 will be able t cover all these.

**Key words: Refrigeration, Refrigerant, Cycle, Compression, Condensation, Expansion, Evaporation, Compressor, Condensator, Evaporator.**

## INTRODUCCIÓN

La utilización del frío es un proceso conocido ya desde la antigüedad; en el siglo XII los chinos utilizaban mezclas de salitre con el fin de enfriar agua; los árabes en el siglo XIII utilizaban métodos químicos de producción de frío mediante mezclas; en los siglos XVI y XVII, investigadores y autores como Boyle, Faraday (con sus experimentos sobre la vaporización del amoníaco), hacen los primeros intentos prácticos de producción de frío.

En 1834, Perkins desarrolla su patente de máquina frigorífica de compresión de éter y en 1835 Thilorier fabrica nieve carbónica por expansión; Tellier construyó la primera máquina de compresión con fines comerciales, Pictet desarrolla una máquina de compresión de anhídrido sulfuroso, Linde otra de amoníaco, Linde y Windhausen la de anhídrido carbónico, Vincent la de cloruro de metilo. Mención aparte merece Carré, propulsor de la máquina frigorífica de absorción y Le Blanc-Cullen-Leslie la de eyección.

Desde el punto de vista de sus aplicaciones, la técnica del frío reviste un gran interés dentro de la evolución industrial. La refrigeración tiene un amplísimo campo en lo que respecta a la conservación de alimentos (Barcos congeladores de pescado en alta mar, plantas refrigeradoras de carnes y verduras), productos farmacéuticos y materias para la industria (Plantas productoras de hielo, unidades de transporte de

productos congelados, barcos, aviones, trenes, camiones.), en sistemas de acondicionamiento de aire y calefacción, etc. Esto da una idea del grandísimo interés universal que reviste el frigorífico industrial desde el punto de vista económico, humano y social.

La experiencia y la ciencia demuestran que, el calor se transfiere de medios de alta temperatura, a medios de baja temperatura. Este proceso de transferencia sucede en la naturaleza sin requerir ningún dispositivo. Sin embargo, el proceso inverso, no puede ocurrir por sí solo. La transferencia de calor de un medio de baja temperatura, a un medio de alta temperatura requiere de dispositivos especiales llamados Refrigeradores o Frigoríficos.

Los refrigeradores, como las máquinas térmicas, son dispositivos cíclicos. El flujo de trabajo utilizado en el ciclo de refrigeración se llama Refrigerante, siendo los más comunes el amoníaco y los hidrocarburos halogenados o freones. Los freones dañan la capa de ozono de la atmósfera causando un peligro potencial a la vida en el planeta.

El ciclo de refrigeración que se usa con mayor frecuencia es el ciclo de Refrigeración por compresión de vapor, que incluye cuatro componentes principales: Un compresor, un condensador, un evaporador, y finalmente una válvula de expansión. El refrigerante entra al compresor como un vapor y se comprime a la presión del condensador. Sale del compresor a una temperatura relativamente alta y se enfría y condensa conforme fluye por el serpentín del condensador liberando calor hacia el medio circundante. Luego entra a un tubo capilar donde su presión y su temperatura descienden drásticamente, debido al efecto de estrangulación. El refrigerante de baja temperatura entra luego al evaporador, donde se evapora absorbiendo calor del espacio refrigerado. El ciclo se completa cuando el refrigerante sale del evaporador y vuelve a entrar al compresor.

Considerando la importancia que tiene en el área de refrigeración y climatización el ciclo de compresión de vapor propuesto por Carnot, se plantea la necesidad de diseñar un banco de pruebas para realizar ensayos de este ciclo en la

Universidad Valle del Momboy, esto con el fin de mostrar a sus estudiantes a través de experiencias prácticas la composición de un sistema de refrigeración, lo cual facilitará la identificación de sus principales componentes y con algunos refuerzos teóricos, el cálculo de algunas variables de operación para distintas condiciones de funcionamiento.

Cada una de las experiencias prácticas debe estar desarrollada para comprender el estudio de un fenómeno físico o de un efecto, analizar sus características o corroborar la teoría, se debe contar con equipos y herramientas que permitan al estudiante conocer todos los procesos que componen el fenómeno a estudiar.

### **EL PROBLEMA:**

La termodinámica constituye una de las principales áreas de estudio de la ingeniería, conocer sus procesos, leyes y enunciados se convierte en una necesidad para cualquier estudiante, ya que gran parte de su trabajo por lo general corresponde al diseño, estudio y control de fenómenos que ocurren en su entorno de manera natural, y que suelen estar vinculados a esta rama de la ciencia como es la termodinámica; mención especial merecen los relacionados con refrigeración, que por su importancia y aplicaciones dentro del ámbito industrial, se han convertido en el área preferida de muchos ingenieros. Hoy día vemos universidades que dedican asignaturas completas al estudio de la refrigeración, y cada vez más profesionales de la ingeniería se hacen partícipes en cursos de especialización en climatización, procesos de producción de frío, etc.

Teniendo en consideración todo lo expuesto, se plantea el siguiente problema de estudio: ¿Será posible diseñar un banco de pruebas para realizar ensayos del ciclo termodinámico de refrigeración por compresión de vapor?

### **OBJETIVOS**

Los objetivos son generales y específicos y ellos salen del planteamiento del problema. No puede concebirse una investigación sin planteamiento de los objetivos.

Los objetivos de esta investigación estarán constituidos por los siguientes indicadores:

### **Objetivo general:**

Diseñar un banco de pruebas para realizar ensayos del ciclo termodinámico de refrigeración por compresión de vapor, adscrito a la carrera de ingeniería industrial de la universidad Valle del Momboy.

### **Objetivos específicos:**

- Diseñar el modelo de banco de prueba, y calcular las cargas térmicas necesarias para algunos parámetros de operación.
- Determinar los costos asociados a la implantación del modelo de banco de prueba.
- Diseñar el manual de procedimientos experimentales para el desarrollo de las prácticas de ciclo de refrigeración por compresión de vapor.
- Diseñar el manual de mantenimiento para el banco de pruebas.

### **JUSTIFICACIÓN:**

La universidad valle del Momboy dentro de su misión contempla la formación de personas altamente participativas, competentes y emprendedoras; (...). Ésta misión se basa en el Currículo Integral adoptado por la Universidad como base de sus programas académicos. Este currículo integral fue diseñado por el sabio peruano Dr. Walter Peñalosa, quien afirma que La responsabilidad fundamental de que todos y cada uno de los alumnos reciban una formación integral reside en las Facultades y en las Escuelas.



Los componentes del Currículum Integral son cinco, a saber:

**FIGURA 1:** Componentes del currículo integral de la U.V.M

**FUENTE:** <http://www.uvm.edu.ve/curriculumintegral> (Consultado: Enero 28, 2.007)

La investigación y los proyectos son el componente curricular que se desarrolla en la Universidad Valle del Momboy teniendo como marco general el Desarrollo Humano Sustentable y cinco Líneas de Investigación: Pequeña y Mediana Empresa, Sociedad Civil, Sector Público Regional y Local, Nuevas Tecnologías de la Información y Calidad de la Educación.

Éste último punto referido a la calidad de la educación, es el que representa mayor significado para éste estudio, ya que, la calidad de la educación no sólo se basa en los conocimientos teóricos adquiridos en el aula, puesto que éstos por lo general, no suelen vincular al estudiante con situaciones reales que le permitan entender dónde y cómo puede aplicar aquellos conocimientos que ha recibido, lo que se traduce en que el estudiante olvide todo aquello que cree haber “aprendido” de manera más rápida.

El alcance de ésta investigación es tal, que logrará para la Universidad Valle del Momboy, un novedoso banco de pruebas para el ensayo del ciclo termodinámico de refrigeración por compresión de vapor, con lo que podemos decir, que la educación privada también puede hacer grandes aportes a la enseñanza de la ingeniería.

## **DELIMITACIÓN:**

Toda investigación debe enmarcarse o delimitarse. No se puede llevar a cabo sin un ámbito previamente concebido. Deben establecerse indicadores sobre dónde y en que época se va a concentrar o concretar la investigación, por ello se hace necesario definir espacio y tiempo.

Espacio:

Será el soporte especial para el tema de estudio el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, por ser el que mayor interés despierta desde el punto de vista termodinámico, involucrando en un mismo ciclo evaporación, compresión, condensación y expansión, se considerarán todos los procesos que ocurren en este ciclo, y se contrastarán con la importancia que estos procesos tiene para la enseñanza de la ingeniería en la Universidad Valle del Momboy; del mismo modo, La investigación se realizará dentro de la universidad Valle del Momboy, específicamente en la Facultad de Ingeniería, Ubicada en calle La Paz, esquina calle Buenos Aires, Valera- edo. Trujillo, en las instalaciones del laboratorio de ingeniería Industrial.

Tiempo:

La delimitación temporal de esta investigación estará comprendida por:

- El periodo de tiempo para la ejecución de la investigación será de Un (1) año, Comprendido entre: Mayo de 2007-Mayo de 2008.
- La propuesta económica que servirá de soporte para la construcción del banco de pruebas, tendrá igualmente Un (1) año de validez, Comprendido entre: Mayo de 2007-Mayo de 2008.

## **ANTECEDENTES:**

Los antecedentes de esta investigación corresponden una serie de estudios realizados, que guardan relación directa o indirecta con la presente investigación, algunos de los cuales sirvieron como orientación o guía; en este caso, se tomarán

como antecedentes, investigaciones realizadas específicamente con los ciclos de refrigeración por compresión de vapor, y ensayos relacionados con este ciclo, siendo entonces los siguientes:

**ANDRADE V. (2003):**

*“La refrigeración constituye uno de los procesos de mayor importancia a nivel industrial, conocer los fenómenos que ocurren en éstos procesos es vital, ya que esto será el reflejo de la pertinencia que se tenga a la hora de diseñar, mejorar y controlar sistemas frigoríficos o de climatización; es por eso que el laboratorio de transferencia de calor de la Universidad Santiago de Chile constituirá una didáctica herramienta para que nuestros estudiantes puedan entender los principios de la refrigeración, y puedan aplicar los conocimientos adquiridos en el creciente mercado laboral de la República Chilena (...).”*

Este manual como guía para el desarrollo de esta investigación sirvió para desarrollar el modelo de banco de prueba que se propone, así como para la estructuración del manual de procedimientos experimentales que acompañará al banco de pruebas.

**MILÁN J. (2004):**

*“Esta propuesta de laboratorio se hace con la finalidad de familiarizar al alumno con las instalaciones de refrigeración, el análisis del ciclo termodinámico de refrigeración por compresión de vapor, Analizar la morfología de una instalación de refrigeración y de sus componentes principales. Identificar los distintos elementos que conforman el circuito frigorífico y*

*cálculo del coeficiente de operación de la máquina en distintas condiciones de funcionamiento.”*

Su fundamentación teórica hace especial énfasis en ecuaciones matemáticas para el cálculo de cargas térmicas, coeficientes de operación y otros cálculos asociados al funcionamiento del banco de pruebas usado para el desarrollo de las prácticas en este laboratorio. Sirviendo así esta investigación para el sustento y complemento del marco teórico y como guía para el desarrollo de las prácticas a proponer.

**¿Qué es un banco de pruebas?**

Un banco de pruebas puede describirse como un grupo de elementos que interactúan entre sí para estudiar el comportamiento real de un sistema bajo ciertas condiciones, llamadas parámetros, esto permite realizar un estudio intenso no sólo de los procesos particulares que constituyen el sistema, sino también de las relaciones que existen entre los diferentes componentes de dicho sistema, además de los efectos que un cambio en cualquiera de los procesos, tendría sobre el resto de los elementos que lo componen.

**¿Qué es un manual de procedimientos experimentales?**

Se define como un esquema que presenta explícitamente un conjunto de pasos estructurados que permiten a sus usuarios realizar ensayos sobre un determinado sistema, este esquema permite al usuario del manual, apoyar y complementar su aprendizaje mediante actividades experimentales, logrando así conocer las bases de los fenómenos estudiados, corroborar la teoría, y analizar las características del sistema, sin obviar que este manual debe proporcionar las herramientas que el usuario requiera para la ejecución de una experiencia de calidad, complementado con información teórica que guíe a éste a entender de una mejor manera la experiencia que está realizando.

## **TERMODINÁMICA:**

La termodinámica es una rama de la ciencia que trata sobre la acción mecánica del calor. Hay ciertos principios fundamentales de la naturaleza, llamadas leyes termodinámicas, que rigen nuestra existencia aquí en la tierra, varios de los cuales son básicos para el estudio de la refrigeración. La primera y la más importante de estas leyes dice:

“La energía no puede crearse ni destruirse, sólo puede transformarse de un tipo de energía a otro”

Más adelante, se hará referencia a la segunda ley de la termodinámica, vinculada directamente con los ciclos de refrigeración.

### **SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA:**

Existen diferentes formas de enunciar la segunda ley de la termodinámica, pero en su versión más simple, establece que: “El calor jamás fluye espontáneamente de un objeto frío a un objeto caliente”

Resulta deseable construir un refrigerador que pueda realizar su proceso con el mínimo de trabajo. Si se pudiera construir uno donde el proceso de refrigeración se realice sin ningún trabajo, se tendría un refrigerador perfecto. Esto es imposible, porque se violaría la segunda ley de la termodinámica, es aquí donde nace el enunciado de Clausius de la segunda ley (Rudolf Clausius 1822-1888).

***“Es imposible construir un máquina cíclica, que no tenga otro efecto que transferir calor continuamente de un cuerpo a otro que se encuentre a una temperatura más elevada”***

Este enunciado de la segunda ley establece la dirección del flujo de calor entre dos objetos a diferentes temperaturas, y dice que el calor sólo fluirá del cuerpo más frío al más cálido si se hace trabajo sobre el sistema.

Otros enunciados establecen que en la práctica se encuentra que todas las máquinas térmicas sólo convierten una pequeña fracción del calor absorbido en trabajo mecánico. Por ejemplo, un automóvil tiene una eficiencia aproximada de 20%

y los motores diesel una eficiencia de 35% a 40%. En base a este hecho, el enunciado de Kelvin Plank de la segunda ley es el siguiente:

***“Es imposible construir un máquina cíclica, que no tenga otro efecto que absorber la energía térmica de una fuente y realizar la misma cantidad de trabajo ”***

Si en algo coinciden estos dos enunciados es que el calor no fluirá de un medio refrigerado aun medio más caluroso por sí solo, que se requiere de un trabajo mecánico sobre el sistema para que se cumpla este fin, además de esto, ambos enunciados establecen que el calor fluye a través de tres formas de transmisión:

- Conducción
- Convección
- Radiación

#### **REFRIGERANTES:**

Como refrigerante se entiende todo aquel fluido que se utiliza para transmitir el calor en un sistema frigorífico y que absorbe calor a bajas temperaturas y presión, y lo cede a temperaturas y presión mas elevada, generalmente con cambios de estado del fluido.

Los refrigerantes se identifican por su fórmula química o por una denominación simbólica numérica; no es suficiente identificarlos por su nombre comercial.

En 1956, la compañía DU PONT ideó y registró un método para clasificar numéricamente los refrigerantes, con el se eliminaba el uso de complicados nombres químicos. La asociación americana de ingenieros en refrigeración calefacción, ventilación y aire acondicionado (ASHRAE) adoptó este sistema en 1960.

El número del refrigerante esta relacionado con el número de átomos de flúor, de hidrogeno, de carbono y el número de enlaces químicos dobles.

Propiedades térmicas deseadas de los refrigerantes:

- Presiones convenientes de evaporación y condensación,
- Alta temperatura crítica y baja temperatura de congelamiento,
- Alto calor latente de evaporación y alto calor específico del vapor,
- Baja viscosidad y alta conductividad térmica de la película.

Otras propiedades deseadas en los refrigerantes:

- Bajo costo.
- Químicamente inerte bajo las condiciones de operación.
- Químicamente inerte con los materiales con que esté construido el sistema de refrigeración.
- Bajo riesgo de explosión solo o al contacto con el aire.
- Baja toxicidad y potencial de provocar irritación.
- Debe ser compatible y parcialmente miscible con el aceite utilizado en el sistema.
- Las fugas deben ser detectadas fácilmente.
- No debe atacar el medio ambiente ni actuar como agente catalizador que deteriore el equilibrio ecológico.

### **CARGA TÉRMICA:**

Para mantener fría una cámara y todo lo que este contenida en ella, es necesario extraer el calor inicial y después el que pueda ir entrando en la cámara por bien aislada que este.

El requerimiento total de refrigeración,  $Q$  total, puede establecerse como siguiente:

$$Q \text{ Total} = Q \text{ Producto} + Q \text{ Otras fuentes}$$

En la anterior ecuación, los términos del segundo miembro tienen el siguiente significado:

Q producto = Representa los sumandos necesarios que tiene en consideración la carga térmica para eliminar procedente del calor sensible, calor latente de solidificación, de las reacciones químicas del embalaje y del calor absorbido para la congelación del agua de los alimentos o productos que se desea refrigerar.

Q otras fuentes = Incluye entre otros los flujos de calor a través de los cerramientos de la cámara por transmisión de paredes, suelo y techo, la refrigeración para el aire exterior que se introduce, la ventilación, las cargas térmicas debidas a ventiladores, bombas, iluminación eléctrica, personas que manipulan los productos, etc.

### **CICLO DE REFRIGERACIÓN**

Como ya se ha descrito los refrigerantes son sustancias utilizadas en los equipos de refrigeración. Tienen la particularidad de evaporarse en condiciones de presión y temperaturas relativamente bajas, absorbiendo calor. Por otra parte, al condensarse a presiones superiores, ceden su calor a un medio circundante que puede ser en general agua o aire. Los refrigerantes actualmente están instalados, mediante un equipo formando por compresor, condensador dispositivo de expansión y evaporador en el denominado Ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

Su utilización práctica supera el 98% de las aplicaciones frigoríficas. En este sistema se incrementa la presión del vapor del refrigerante, desde la que tiene en el evaporador hasta la necesaria en condensador, mediante la incorporación energética proporcionada por el compresor.

Los ciclos de refrigeración obedecen al Ciclo de Carnot, propuesto por primera vez en 1824 por el ingeniero Francés Sadi Carnot, el cual, a través de una máquina térmica compuesta por un evaporador, un condensador, un compresor y una turbina de aire, esta última producía un trabajo útil sobre los alrededores, convirtiendo a este ciclo de Carnot en un ciclo totalmente posible, por consiguiente, todos los procesos que comprende pueden invertirse, en cuyo caso se convierte en el Ciclo de refrigeración de Carnot. Este ciclo permanece igual que el anterior, excepto que las direcciones de cualquier interacción de calor y trabajo están invertidas, y que

la turbina de vapor es sustituida por una bomba, lo que quiere decir que este ciclo no realiza trabajo sobre los alrededores, sino que los alrededores realizan trabajo sobre el. Se absorbe calor en una cantidad  $Q_L$  del depósito de baja temperatura, y se desecha calor en una cantidad  $Q_H$ . para lograr esto se requiere la entrada de trabajo de la bomba  $W_{\text{neto, entra}}$

### **CICLO TEÓRICO DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR:**

Para estudiar un sistema de refrigeración o de producción de frío, es preciso fijarse en el comportamiento de refrigerante y mediante que elementos se produce la variación de las características físicas para llevar a cabo el proceso.

En el proceso tienen lugar dos fenómenos con balance de calor:

La evaporación de un refrigerante en estado líquido produce la absorción de calor o, lo que es lo mismo, baja la temperatura en el recinto o cámara donde se encuentra, produciendo sensación de frío.

La condensación del Vapor de un refrigerante se produce mediante una sesión de calor al ambiente, lo cual se traduce en una elevación de temperatura el mismo. Este proceso es continuo y depende de las condiciones que los elementos que configuren la instalación impongan al refrigerante, de modo que pueda seguirse desde cualquier punto.



Si nos situamos en el punto antes del dispositivo de expansión, previa al evaporador, en que el refrigerante se encuentra en estado líquido a una cierta presión; su paso al evaporador se controla mediante un dispositivo cuya función es regular el paso de refrigerante. Dicha válvula produce una estrangulación brusca que hace que a presión descienda desde la que tenía a la salida del condensador hasta la existente a la entrada del evaporador.

La válvula es el regulador automático de los límites entre los que se denomina parte de alta presión y parte de baja presión, presiones entre las cuales la válvula se ve forzada de trabajar. Esta bajada de presión en el evaporador hace que el refrigerante hierva y se produzca su evaporación, auxiliado por la cantidad de calor que absorbe del recinto en que se encuentra, a través del aire del mismo y transfiriéndolo al líquido, que se va transformando en vapor en el interior de los tubos de serpentín hasta que se evapora completamente.

El refrigerante, en forma de gas, entra en el compresor por la tubería denominada de aspiración o succión, a través de la válvula de aspiración (semejante a los cilindros de un automóvil). Aquí el refrigerante es comprimido aumentando por ello su presión y su temperatura hasta llegar al punto en cuyas condiciones fluye hasta la entrada del condensador.

La válvula de salida del cilindro del compresor actuará de retención, impidiendo que el gas regrese hacia el mismo.

En el condensador, mediante la acción de un fluido exterior (aire, agua o ambas a la vez), se extrae calor al gas refrigerante, lo cual produce un enfriamiento del mismo favoreciendo su condensación hasta alcanzar el estado líquido; a partir de aquí es impulsado de nuevo por la tubería hacia la válvula de expansión, punto donde se repite el ciclo explicado.

Los cambios termodinámicos de un estado a otro tienen lugar de varias maneras, que se denominan procesos, y éstos a su vez pueden ser:

**Adiabático:** es aquel en el cual no hay entrada ni salida de calor. El proceso de expansión de un gas comprimido se entiende como adiabático porque se efectúa muy rápido.

**Isotérmico:** el cambio se efectúa a temperatura constante durante todo el proceso.

**Isoentrópico:** el cambio se efectúa a entropía constante.

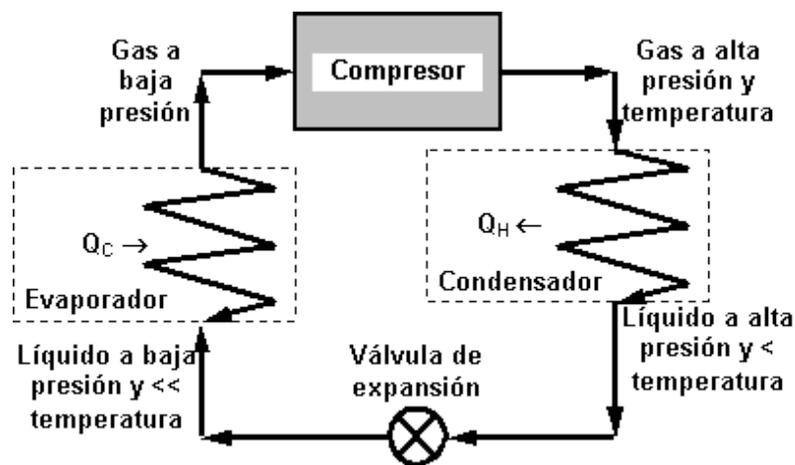
**Politrópico:** el cambio se efectúa según una ecuación exponencial.

En este proceso existen varias temperaturas diferentes, lo cual hace que el estado refrigerante sea distinto en varios puntos; por ejemplo, se obtiene líquido subenfriado y saturado, vapor saturado y sobrecalentado, como se verá en el ciclo real.

No obstante, en principio solo hay dos presiones perfectamente diferenciadas, que son las que corresponden a la evaporación y a la condensación.

Es por ello que puede hablarse del Lado de alta presión y del Lado de baja presión de una planta o instalación frigorífica.

Inicialmente y de forma muy esquemática los elementos principales intervienen en un ciclo de refrigeración por compresión de vapor son los que ese representan en la figura siguiente:



**FIGURA 2:** Diagrama de un ciclo teórico de refrigeración por compresión de vapor

**FUENTE:** NETTO RICARDO [http://www.fisicanet.com.ar/fisica/f2\\_termodinamica.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/f2_termodinamica.php)  
(Consultado: Enero 14, 2.007)

## **COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR:**

### **Evaporador:**

El evaporador o serpentín de enfriamiento es la parte del sistema de refrigeración donde se retira el calor del producto: aire, agua o algo que deba enfriarse, y se define como un intercambiador de calor.

### **Compresor:**

Después de que ha perdido calor y se vaporiza en el serpentín de enfriamiento, el refrigerante pasa a través de la línea de succión al siguiente componente mayor en el circuito de refrigeración, el compresor. Esta unidad que tiene dos funciones principales dentro del ciclo, se clasifica frecuentemente como el corazón del sistema, porque hace circular el refrigerante a través del sistema. Las funciones que realiza son:

- Recibir o remover el vapor refrigerante desde el evaporador, de tal manera que la presión y la temperatura deseada de evaporación se mantengan.
- Incrementar la presión del vapor refrigerante a través del proceso de compresión y simultáneamente incrementar la temperatura del refrigerante de tal manera que pueda ceder calor al medio condensante del condensador.

### **Condensador:**

El componente mayor en el sistema mayor de refrigeración, que sigue a la etapa de compresión, es el condensador. Básicamente, el condensador es otra unidad de intercambio de calor en el cual el calor extraído por el refrigerante en el evaporador, y también el añadido al vapor en la fase de compresión, se disipa a un medio condensante.

El vapor a alta presión y temperatura que sale del compresor está sobrecalentado y este sobrecalentamiento se retira en la línea de descarga y la primera porción del condensador. Como la temperatura del refrigerante es bajada a su punto de saturación, el vapor se condensa en líquido para continuar el ciclo. Los condensadores pueden ser enfriados por aire, agua o por evaporación. Los refrigeradores domésticos generalmente tienen un condensador enfriado por aire, el cual depende del flujo de gravedad del aire que circula a través de él. Otras unidades enfriadas por aire usan ventiladores para secar o extraer grandes volúmenes de aire a través de los serpentines del condensador.

### **Dispositivos de expansión:**

Un componente fundamental e indispensable de cualquier sistema de refrigeración es el control de flujo o dispositivo de expansión. Sus principales propósitos son:

- Permitir el flujo de refrigerante al evaporador a la razón necesaria para remover el calor de la carga.
- Mantener el diferencial de presión apropiado entre los lados de alta y baja en el sistema de refrigeración.

Los dos dispositivos de expansión más usados son la válvula de expansión termostática, la válvula de expansión de aguja flotante y el tubo capilar.

### **MARCO METODOLÓGICO**

La investigación es un proceso que, mediante la aplicación del método científico, procura obtener información relevante y fidedigna (digna de fe y crédito), para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento.

Para obtener algún resultado de manera clara y precisa es necesario aplicar algún tipo de investigación, esta posee una serie de pasos para lograr el objetivo planteado o para llegar a la información solicitada. La investigación tiene como base el método científico y este es el método de estudio sistemático de la naturaleza que incluye las técnicas de observación, reglas para el razonamiento y la predicción, ideas

sobre la experimentación planificada y los modos de comunicar los resultados experimentales y teóricos.

Además, el proceso de investigación posee una serie de características que ayudan al investigador a regirse de manera eficaz en la misma. La investigación es tan compacta que posee formas, elementos, procesos, diferentes tipos, entre otros.

La actividad investigadora se conduce eficazmente mediante una serie de elementos que hacen accesible el objeto al conocimiento y de cuya sabia elección y aplicación va a depender en gran medida el éxito del trabajo investigador.

## **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta parte comprende la elección del mejor método a seguir para el logro de los objetivos planteados, esto se logra, partiendo de la identificación del tipo de investigación que mejor se adapte al problema estudiado, teniendo en cuenta tres criterios fundamentales: El propósito o finalidad de la investigación, Clase de medios para la obtención de datos, y nivel de conocimientos que se adquieren; es de importancia mencionar que cada criterio posee otros sub-criterios y de la combinación de éstos, se obtiene entonces el diseño propio de la investigación. Se debe ser muy pertinente al seleccionar cada uno de los sub-criterios que regirán el proceso, ya que una mala elección de los mismos puede verse reflejada en el incumplimiento de los objetivos planteados, y viceversa, una buena elección de sub-criterios dará entonces un fiel cumplimiento de los objetivos planteados.

Según *Johan Galtuna*, conocido investigador Argentino, en su publicación sobre la teoría y métodos de la investigación, define El propósito o finalidad de la investigación, la clase de métodos a usar para la obtención de datos, y el nivel de conocimientos que se adquieren de la siguiente manera:

### **Investigación, según el propósito o finalidad que persiga:**

Puede ser Básica o aplicada.

### **Investigación Según la clase de medios utilizados para obtener los datos:**

Clasificamos una investigación en Documental, de Campo o Experimental.

**Investigación Según El nivel de conocimientos adquiridos:**

Se dice que una investigación puede ser Exploratoria, descriptiva o explicativa.

Ya definidos claramente los criterios que regulan el diseño de una investigación, podemos decir que la investigación: Diseño de un banco de pruebas para realizar ensayos del ciclo termodinámico de refrigeración por compresión de vapor, seguirá los siguientes parámetros para el logro de los objetivos:

- Por su finalidad será de tipo Aplicada, ya que se aplicarán los conocimientos adquiridos en el área de refrigeración por compresión, para generar un modelo de banco de pruebas que permita a los estudiantes de la Universidad Valle del Momboy comprender el funcionamiento de éste ciclo de refrigeración; logrando de este modo, convertir este banco de pruebas en la consecuencia práctica de la aplicación de éstos conocimientos.
- Por la clase de medios para obtener los datos decimos que será del tipo Documental, los apoyos están constituidos por revisiones bibliográficas, hemerográficas, y otras investigaciones relacionadas con el tema.
- Finalmente, por el nivel de conocimientos que se adquieren será del tipo Explicativa, se combinarán el análisis y la síntesis, para deducir e inducir como se comportará el sistema propuesto (Banco de pruebas) y así responder el por qué se investiga este ciclo de refrigeración, y la importancia que este tendrá en el desarrollo de las capacidades profesionales de los estudiantes de la Universidad Valle del Momboy.

Entonces, esta investigación, en base a lo anterior mencionado es de tipo: Aplicada, Documental, Explicativa.

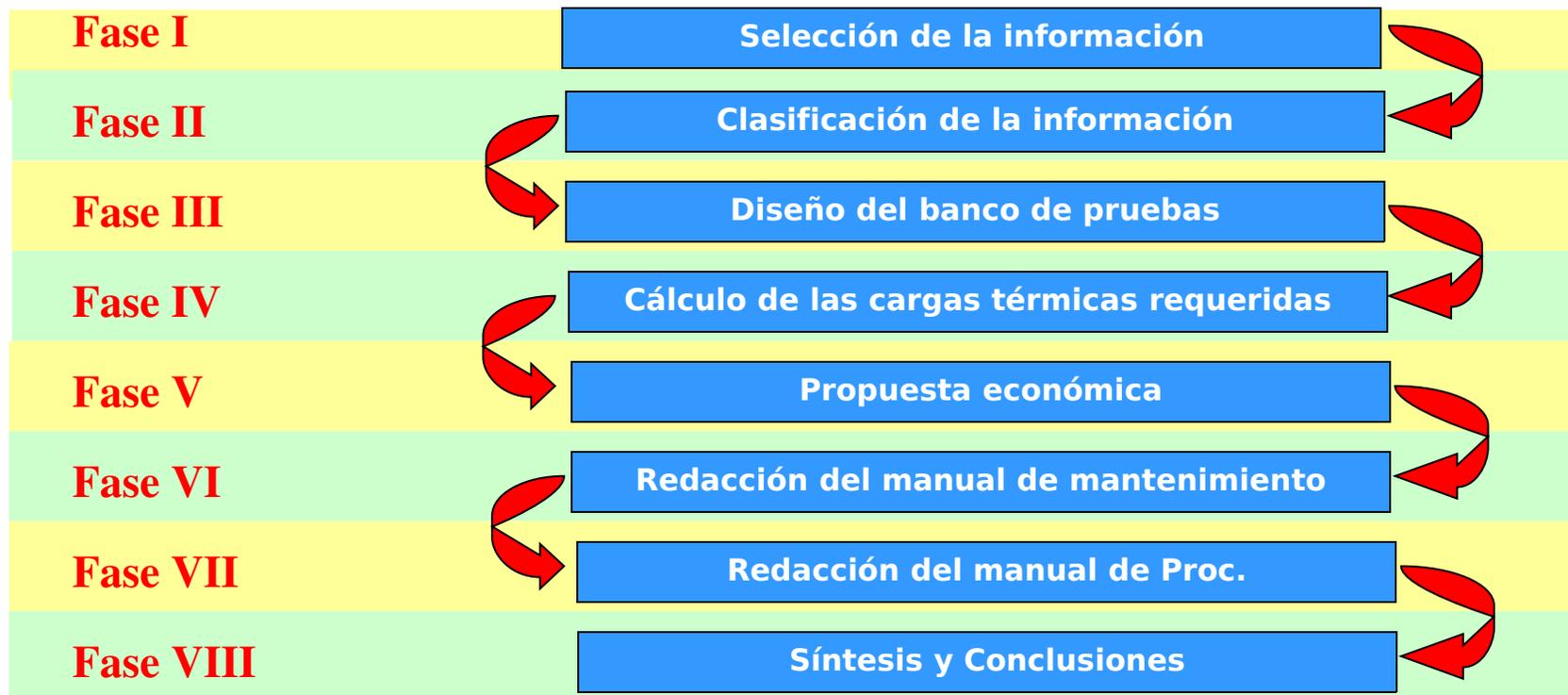


FIGURA 3: Esquema general de la investigación.

FUENTE: Calderón (2007)

## RESULTADOS:

El banco de pruebas que se generó en esta investigación se denominará a partir de este momento *Banco de Pruebas CIC-4*, donde el CIC-4 significa Ciclo inverso de Carnot, y el 4 representa las cuatro etapas que en él se cumplen (Evaporación, compresión, condensación y expansión), esta compuesto por cuatro equipos principales, como son un compresor de tipo semi-hermético de 10hp de potencia, un evaporador de tipo enfriado por agua, de construcción casera, compuesto por un paralelepípedo de vidrio, con tapas superior e inferior de acero, soldado con silicón para vidrio, y el serpentín por donde circulará el agua de enfriamiento es de cobre, de 1,27cm (1/2 pulg.) de diámetro, en las tapas superior e inferior están los acoples que permiten la conexión con otros dispositivos, el condensador también es de tipo casero, y presenta las mismas características del evaporador, finalmente una válvula de expansión, de tipo aguja de flotador, acoplada en la parte inferior del condensador, con caudal unitario que varía entre 0 y 100gr.7min.

Además de estos cuatro equipos principales, tenemos otros equipos secundarios, que sirven como complemento de los principales, y para medir el comportamiento del sistema, ya que en su mayoría se tratan de instrumentos de medición. Estos equipos son:

- Sensores de temperatura: Dos de rango  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $110^{\circ}\text{C}$ , para medir las temperaturas de evaporación y condensación. Acoplados al sistema con acoples de tipo tapón, llamados receptáculos similares a los que se usan para tapar erlenmeyers, de 5mm de ancho para el termómetro y 11mm de ancho para el receptáculo.
- Sensores de temperatura: Seis de rango  $-50^{\circ}\text{C}$  a  $110^{\circ}\text{C}$ , para medir las temperaturas de entrada y salida del agua de enfriamiento al evaporador y condensador, así mismo, la temperatura del refrigerante a la salida del compresor y la temperatura del líquido en el fondo del condensador,

acoplados a las tuberías con receptáculos, de manera similar a los anteriores.

- Manómetros: Dos de tipo Bourdon con rango de medidas entre -100 a 250kN/mt<sup>2</sup> para indicar presiones del evaporador y condensador.
- Válvula de Carga con accesorios: Una, situada en al base del evaporador para introducir o purgar el refrigerante.
- Válvulas esféricas integrales: Cinco, para regular el flujo de refrigerante a través del sistema, así mismo, para cerrar o abrir el banco de pruebas CIC-4.
- Caudalímetro: Dos, con válvulas de control incorporadas, y con rango de apertura de caudal entre 0 y 3Kg./hora. (0 y 50gr./min.)
- Visor de Humedad: Uno, situado en la entrada del evaporador, para observar si el refrigerante está entrando al evaporador como líquido o como una pequeña mezcla de líquido más vapor.
- Interruptor de presión: Uno, para monitorear la presión de condensación y evitar sobrepresiones en el sistema.

La figura 4 muestra el esquema general del banco de pruebas CIC-4, las figuras siguientes nos dan algunas ideas acerca de los detalles técnicos y de cotas que deben tenerse en cuenta para la construcción del banco de pruebas, así mismo, el esquema general sirve para observar y ubicar los distintos elementos que forman el conjunto CIC-4, y de este modo entender su función dentro del sistema.



**T6:** Temperatura de condensación

**T7:** Temperatura de salida del refrigerante del compresor

**Ce:** Caudalímetro del evaporador y válvula de control

**Cc:** Caudalímetro del condensador y válvula de control

**Vc:** Válvula de carga (Para refrigerante y purga de aire)

**V1:** Válvula esférica integral de control en la entrada de aire y refrigerante al condensador

**V2:** Válvula esférica integral de control de entrada de refrigerante al compresor

**V3:** Válvula esférica integral de control del retorno del aceite al compresor

**V4:** válvula esférica integral de control en la salida de refrigerante líquido desde el condensador

**Ea:** Entrada de agua al sistema

**Sa:** Salida de agua del sistema

**Sp:** Switch Principal

**Dp:** Válvulas de desahogo de presión en el evaporador y condensador

**Pc:** Presión de condensación

**Pe:** Presión de evaporación

**Vo:** Visor de humedad o vidrio de observación

**Vv:** Válvula de ventilación (extracción de aire del sistema)

**Tc:** Tubo capilar de retorno del aceite desde el evaporador hacia el compresor

#### **OBJETIVOS DEL BANCO DE PRUEBAS CIC-4:**

- Mostrar a los alumnos de la universidad Valle del Momboy a través de experiencias netamente prácticas la composición de un sistema de refrigeración que facilite el análisis y comprensión del ciclo de refrigeración por compresión de vapor.
- Identificar los principales elementos que componen un sistema de refrigeración y sus funciones dentro de éste.

- Cálculo de algunas variables de operación como coeficiente de operación, coeficiente global de transferencia de calor bajo distintas condiciones de operación.

#### **CAPACIDAD EXPERIMENTAL DEL BANCO DE PRUEBAS CIC-4:**

El banco de pruebas CIC-4 está habilitado para realizar los siguientes ensayos:

- Demostración del ciclo de refrigeración por compresión de vapor
- Relación presión-temperatura
- Demostración del bombeo de refrigerante al condensador
- Efecto del aire en un sistema de refrigeración
- Efecto de las temperaturas de evaporación y condensación en la tasa de refrigeración
- Determinación de la tasa de transferencia general de calor entre el refrigerante y el agua en el evaporador y condensador.
- Generación de un diagrama del ciclo de refrigeración en un gráfico presión-entalpía.

#### **Cálculo de las cargas térmicas**

Cuando se diseña un sistema de refrigeración se deben conocer los requerimientos de calor que el fluido encargado de producir la evaporación en el refrigerante debe suministrar a éste para lograr un  $\Delta t$  deseado. Esto es lo que por definición se conoce como cargas térmicas.

El banco de pruebas CIC-4 no escapó a esta regla, y es por ello que se debieron calcular las cantidades de calor que el agua que entra a la cámara del evaporador debe suministrar al refrigerante, para que éste logre alcanzar el  $\Delta t$  requerido por el operario.

Como se hizo mención en el capítulo II, las cargas térmicas son el resultado de la suma de diversas fuentes que aportan calor al proceso, siendo éstas:

Carga por producto: Corresponde entonces a la cantidad de calor que el fluido de enfriamiento (en este caso agua) debe aportar al refrigerante para que el cambio de temperatura  $\Delta t$  sea el esperado.

Cargas por transferencia de calor a través de piso, paredes o techo: En este caso, las cargas de este tipo fueron despreciadas, ya que el banco de pruebas CIC-4:

- No es un cuarto de refrigeración, cuyas paredes, piso o techo están expuestos al contacto directo con el sol u otras fuentes de calor que puedan inducir cambios de temperatura significativos en el sistema.
- No requiere de aislantes, ya que su función no es refrigerar ningún espacio, sino producir un  $\Delta t$  en el refrigerante, a través de la regulación del caudal unitario de agua que entra al evaporador.

Cargas por cambios de aire: Cuando el sistema de refrigeración está expuesto a flujos de aire que traen consigo calor y humedad, deben estimarse estas cargas, pero como el laboratorio de ingeniería de la universidad Valle del Momboy no está expuesto a flujos de aire en su interior que puedan alterar el funcionamiento o alcance de la temperatura de operación, éstas cargas también son despreciables.

Misceláneos: El banco de pruebas CIC-4 al no poseer luces y/o motores en el evaporador y condensador que produzcan calor, no poseerá cargas por este tipo, por lo que éstas cargas igualmente serán igualadas a cero.

Al concluir entonces, que se requirió sólo estimar las cargas térmicas por producto, el requerimiento total de calor  $Q$  será:

$$Q: Q_{\text{Producto}} + Q_{\text{Otras fuentes}} \rightarrow 0$$

Entonces:

$$Q: Q_{\text{Producto}}$$

Y la carga térmica por producto vendrá expresada por la siguiente ecuación:

$$Q: [ m \times C_{sp} \times (T_i - T_f) \times 24Hr ] / N^{\circ} \text{ Horas}$$

**Donde:**

**Q:** Calor total requerido para lograr el  $\Delta t$ .

**m:** Masa del producto a evaporar o refrigerar.

**C<sub>sp</sub>:** Calor específico del producto a enfriar.

**T<sub>i</sub>-T<sub>f</sub>:** Temperatura de entrada del producto – temperatura de salida esperada del producto.

**N° horas:** Tiempo de enfriamiento o tiempo de estabilización del sistema.

Para calcular las cargas térmicas por producto, antes fue necesario conocer los siguientes puntos:

- El banco de pruebas CIC-4 está cargado con 2,20lib. De refrigerante (1kg.)
- El refrigerante entra al evaporador como un líquido saturado a presión atmosférica, ya que al no estar en fase vapor no hay otras presiones influyendo, al igual que el líquido está comprimido en envases u otros dispositivos.
- La ciudad de Valera, lugar donde se realizarán las prácticas de laboratorio, se encuentra, según el departamento de meteorología del estado Trujillo a 541msnm y posee una presión atmosférica de 0,94atm  $\cong$  1atm.
- La temperatura del agua en la ciudad de Valera es aproximadamente de 21 °C con un calor específico (Cps) de 1,80Kj/Kg. °C
- Las cargas térmicas se calcularon para los siguientes refrigerantes: **R-12**, **R-22** y **R-134a**, ya que son los más usados en sistemas de refrigeración y climatización tanto doméstica como industrial, algunos datos importantes para éstos refrigerantes son:

**TABLA 1:** Propiedades de los principales refrigerantes usados en climatización.

Propiedad:	R-12	R-22	R-134a
Pto. Ebullición °C	-29,7	-40,7	-26,5
T @ 1atm. (°C)	-29,8	-41	-40
Cps @ 1atm. (Kj/kg °C)	0,9809	1,227	1,43

FUENTE: CENGEL Y BOLES, *Termodinámica*

- La válvula de expansión de tipo aguja de flotador ubicada en la base del condensador bombea al evaporador un flujo másico de refrigerante entre 0 y 100gr./seg. Es decir 0 y 6kg./min.
- El caudalímetro de e entrada de agua al evaporador permite la entrada de agua al serpentín del evaporador entre 0 y 50gr/seg. (0 y 3kg./min.)
- Para el **R-12** se calcularon las cargas térmicas para llevar el refrigerante de  $-29,8^{\circ}\text{C} \cong -30^{\circ}\text{C}$  a:  
 $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $15^{\circ}\text{C}$ , alcanzando así  $\Delta t$  de:  
 $25^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $35^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $45^{\circ}\text{C}$
- Para el **R-22** se calcularon las cargas térmicas para llevar el refrigerante de  $-41^{\circ}\text{C}$  a:  
 $-16^{\circ}\text{C}$ ,  $-11^{\circ}\text{C}$ ,  $-6^{\circ}\text{C}$ ,  $-1^{\circ}\text{C}$ ,  $4^{\circ}\text{C}$ , alcanzando así  $\Delta t$  de:  
 $25^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $35^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $45^{\circ}\text{C}$
- Para el **R-134a** se calcularon las cargas térmicas para llevar el refrigerante de  $-40^{\circ}\text{C}$  a:  
 $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$ , alcanzando así  $\Delta t$  de:  
 $25^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $35^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $45^{\circ}\text{C}$
- Los tiempos de refrigeración para todos los cálculos son de 15min. Considerando que éste sea el tiempo que tome al sistema estabilizarse.

El siguiente ejemplo muestra la forma en que se calcularon las cargas térmicas, lo cual facilitará la comprensión de las tablas y gráficos siguientes:

Se tiene refrigerante R-12 (Cps: 0,9809Kj/Kg°C) @ 1atm. De presión (-30°C) entrando al evaporador del banco de pruebas CIC-4 a una tasa de 50gr./min. (3kg./hora), el tiempo de refrigeración es de 15minutos (0,25hora). El refrigerante se desea llevar a una temperatura de 15°C (Tf), teniendo así un  $\Delta t$  de (-30 -15)°C: -45°C . Entonces, el requerimiento total de calor será:

$$Q: [ (m \times C_{sp} \times (T_i - T_f)) / N^{\circ} \text{ Horas}] \times 24 \text{ horas}$$

$$Q: [( 3\text{Kg/hora.} \times 0,9809\text{kJ/Kg}^{\circ}\text{C} \times -45^{\circ}\text{C}) / 0,25\text{hora}] \times 24 \text{ horas}$$

$$Q: -529,68 \text{ kJ} \times 24 \text{ horas} \times (1 \text{ día} / 24 \text{ horas}): -529,68 \text{ kJ.día}$$

Expresado en kJ/hora:

$$Q: -529,68 \text{ kJ.día} / 24 \text{ horas. Día: } -22,07 \text{ kJ/hora}$$

El signo indica que se debe extraer esa cantidad de calor para obtener el  $\Delta t$  de 45°C

Si queremos conocer el calor total requerido kJ/min.:

$$Q: -22,07 \text{ kJ/Hora} \times 1 \text{ hora} / 60 \text{ min.} : -0,36 \text{ kJ/min.}$$

Los BTU son una medida de calor muy usada en refrigeración, por eso, si queremos conocer el valor de Q en BTU/min. Tendremos:

$$Q: -0,36 \text{ kJ/min.} \times 1 \text{ BTU} / 1,05 \text{ kJ: } -0,35 \text{ BTU/min.}$$

Finalmente, si se desea conocer el caudal unitario de agua que debe entrar al evaporador por minuto para alcanzar el  $\Delta t$  esperado será:

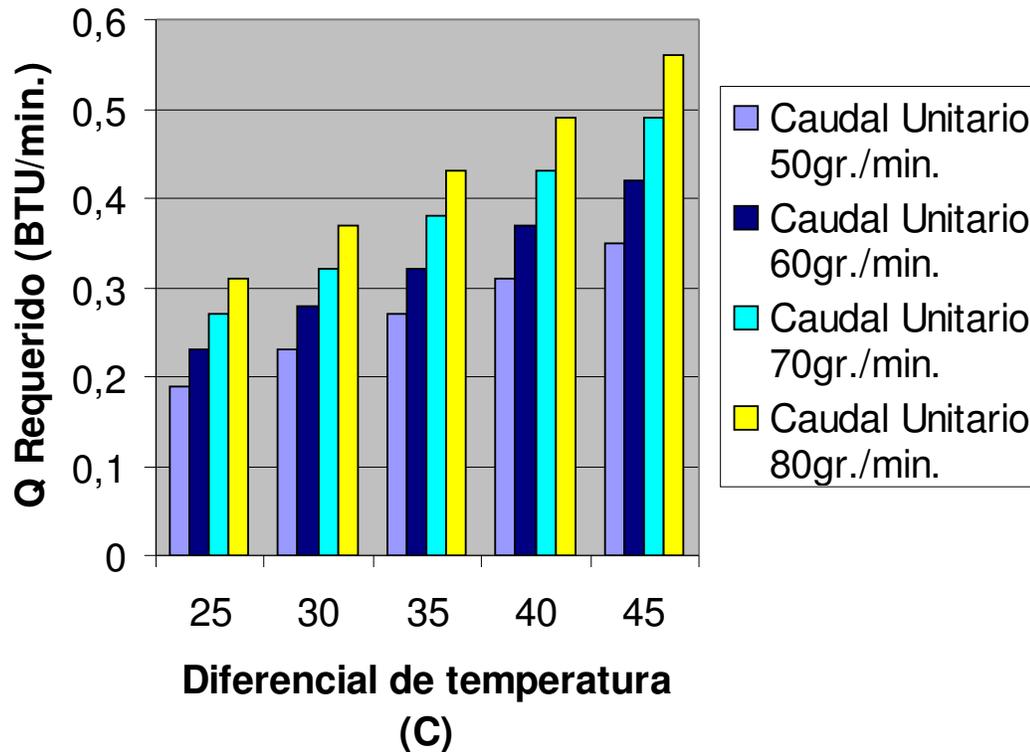
$$q: Q/C_{ps} \text{ del agua: } 0,36\text{kJ/min.} / 1,80\text{kJ/Kg.: } 0,20\text{Kg/min.}$$

Expresado en gr./seg.

$$q: 0,20\text{Kg/min.} \times (1000\text{gr./1Kg.}) \times (1\text{min./60seg.}): 3,33\text{gr./seg.}$$

Ya conocidos todos los parámetros bajo los cuales se calcularon las cargas térmicas para los refrigerantes seleccionados, se presentan entonces los resultados de éstos cálculos:

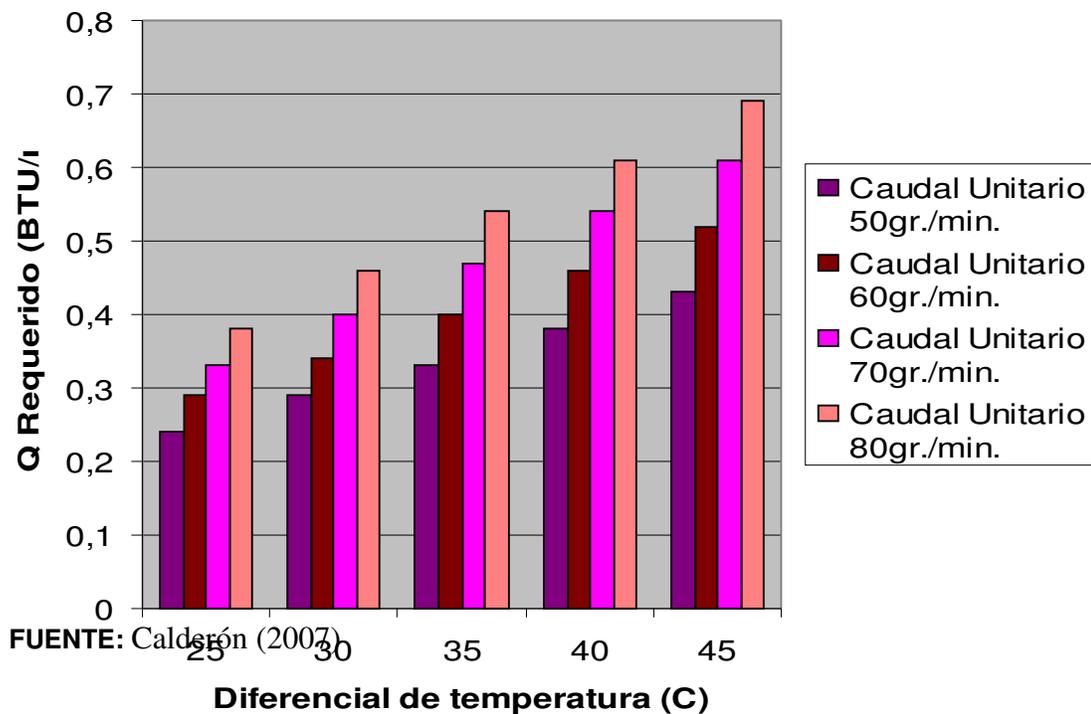
**GRÁFICO 01:** Requerimiento de calor  $Q$  para el *R-12* para los caudales estudiados, gráfico comparativo.



**FUENTE:** Calderón (2007)

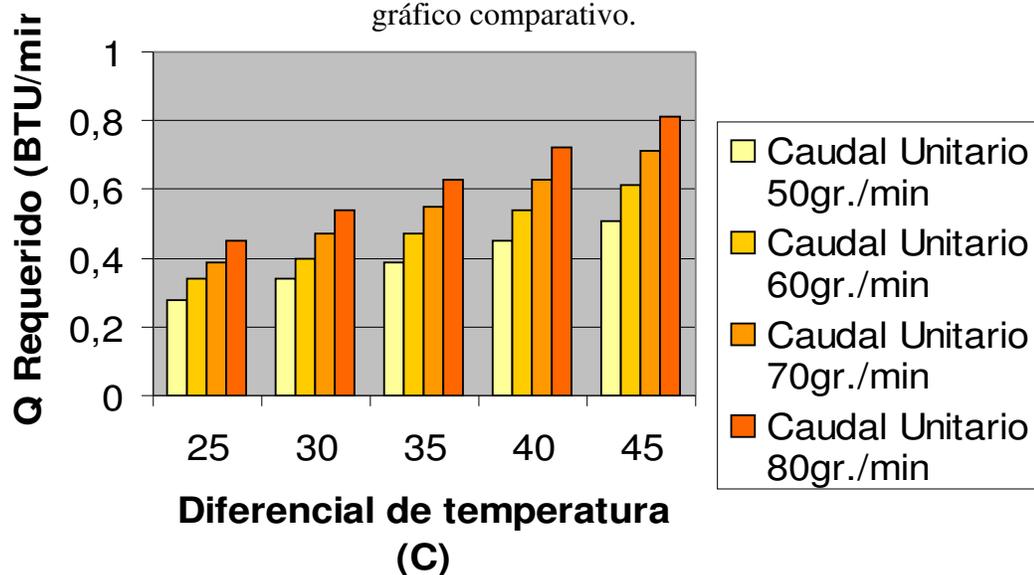
**Análisis:** Este gráfico es de gran importancia, ya que permite ver de manera general el comportamiento del refrigerante frente al diferencial de temperatura deseado, los requerimientos de calor en el gráfico, dan un mínimo de 0,19BTU/min. Y un máximo de 0,56BTU/min. Las líneas de tendencia para todos los caudales se comporta de manera lineal, lo que indica que el requerimiento total de calor crecerá en la misma medida que aumente el diferencial de temperatura requerido, y su comportamiento será el mismo, en la misma medida que el caudal aumente o disminuya.

**GRÁFICO 2:** Requerimiento de calor  $Q$  para el  $R-22$  para los caudales estudiados, gráfico comparativo.



**Análisis:** El máximo requerimiento de calor registrado para este refrigerante fue de 0,69 BTU/min., si se compara con el máximo requerimiento de calor registrado Para el R-12, que fue de 0,49 BTU/min. Tendremos entonces un requerimiento de 40,8% más calor, y si se habla del calor mínimo requerido, habrá entonces una diferencia de 31,57% de requerimiento de calor, ya que el R-12 registró un mínimo requerimiento de 0,19BTU/min., mientras que el R-22 registró un mínimo de 0,25BTU/min. Todo esto debido a que el refrigerante R-22 posee una capacidad de ganar y ceder calor mayor a la del R-12, esto es lo que se conoce con el nombre de calor específico de un cuerpo, es por esta propiedad que el R-22 es de uso más común en sistemas de refrigeración industrial, mientras que el R-12 es más usado en sistemas de refrigeración domésticos.

**GRÁFICO 3:** Requerimiento de calor  $Q$  para el **R-134a** para los caudales estudiados, gráfico comparativo.



**FUENTE:** Calderón (2007)

**Análisis:** El máximo requerimiento de calor registrado para este refrigerante fue de 0,81BTU/min., si lo comparamos con los otros refrigerantes estudiados, tendremos que, el requerimiento máximo del R-134 es 65,30% mayor al del R-12 y 17,39% mayor al del R-22, por otra parte, si hablamos de los requerimientos mínimos de calor, podemos decir que, el requerimiento mínimo del R-134a es 16,66% mayor que el de el R-22 y 47,36% mayor al del R-12, si se desea usar el R-134 en el banco de pruebas CIC-4 se deberá tomar en cuenta de que para todos los diferenciales de temperatura, el banco de pruebas estará en capacidad de cumplirlas, específicamente en los caudales de entrada de refrigerante al evaporador variantes entre 50 y 80gr./min. Donde encontramos requerimientos de agua en la entrada del serpentín del evaporador entre 2,75 y 7,94gr./seg., el R-134 es un refrigerante llamado ecológico, por no contribuir al deterioro de la capa de ozono y por ser el refrigerante que en menor medida contribuye al efecto invernadero. Este refrigerante en el cálculo de las cargas térmicas presentó un comportamiento muy bueno, requiriendo un caudal máximo de entrada de agua en el serpentín del evaporador de 7,94gr./seg. Es decir, sólo requiere el 15,08% de la capacidad del caudalímetro.

### **Propuesta Económica**

En esta etapa de la investigación el objetivo es conocer el valor económico que implicaría construir el banco de pruebas CIC-4, se especifican la lista de materiales necesarios para la construcción del banco, mano de obra, y algunos materiales para el mantenimiento del banco de pruebas. Los precios fueron suministrados por Frizer de Venezuela C.A, Ubicada en Valera, edo. Trujillo Refriger C.A, también ubicada en la ciudad de Valera.

**TABLA 2:** Costos de los Materiales Necesarios para la construcción del Banco de pruebas CIC-4.

Cantidad	Descripción	Precio (Bs.)
----------	-------------	--------------

1	Compresor Semi Hermético 2hp	84.000
1	Válvula de Aguja de Flotador	38.180
8	Sensores de temperatura rango (-50 a 110°C)	102.700 C/U
2	Manómetros rango (-100 a 250kN/mt <sup>2</sup> .)	72.00 C/U
1	Válvula de carga con accesorios	153.600
1	Vidrio de Observación	42.650
2	Caudalímetro rango (0 a 100gr./seg.)	158.000 C/U
5	Válvulas esféricas	24.800 C/U
1	Interruptor de presión digital	248.000
12	Tubo de Cobre ½"	5.900 C/mt.
2	Paralelepípedo de vidrio 50 x 30 x 30cm.	62.000 C/U
4	Tapas de acero inoxidable para evap. Y cond.	17.500 C/U
2	Válvulas de desahogo de presión	38.930 C/U
1	Doblador de tubos de cobre	26.900
<b>TOTAL</b>		<b>2.341.590 Bs.</b>

**FUENTE:** Cálculos realizados por el autor, **Calderón 2.007**

Ahora, además de los materiales para la construcción del banco de pruebas CIC-4, también se requieren de otros materiales que sirvan para el mantenimiento continuo de este dispositivo, entonces, también se hace necesario incluir los costos de estos materiales, costos que después se sumarán a los costos de la tabla 25, para obtener los costos totales.

**TABLA 3:** Costos de los Materiales Necesarios para el mantenimiento del Banco de pruebas CIC-4.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio (Bs.)</b>
1	Bomba de vacío	934.834
1	Cilindro de recuperación	71.908
1	Alicate de Corte	16.000
1	Alicate de presión con perforador	21.000
1	Alicate de presión con mordaza	18.400
1	Multímetro	123.800
1	Juego de manómetros 4 válvulas	249.300
<b>TOTAL</b>		<b>Bs. 1.435.242</b>

**FUENTE:** Cálculos realizados por el autor, **Calderón 2.007**

Sumado a todo esto están los costos de la mano de obra, los cuales serán de **800.000Bs.**

Los costos totales serán entonces la sumatoria de los totales de las tablas 25 y 26, teniendo así que el costo total de construir el banco de pruebas CIC-4 será de: **2.341.590Bs. + 1.435.242Bs. + 800.000Bs.: 4.576.832Bs.**

#### **FASE VI: Redacción del Manual de Mantenimiento.**

El manual de mantenimiento del banco de pruebas CIC-4 sirve como elemento de apoyo para conocer las principales fallas que pueden presentar los dispositivos que componen el sistema CIC-4, así mismo las posibles soluciones a éstas, como complemento a todo lo mencionado, se pueden encontrar en él, consideraciones sobre algunos tópicos de gran importancia en sistemas y equipos de refrigeración; siendo algunos:

- Consideraciones sobre Inspección periódica y mantenimiento preventivo
- Consideraciones sobre el diagnóstico efectivo de fallas
- Consideraciones sobre las fugas
- Consideraciones sobre la sustitución de componentes
- Consideraciones sobre salud y seguridad
- Consideraciones sobre los componentes del banco de pruebas CIC-4
- Consideraciones sobre recuperación de refrigerante y recarga de refrigerante en el sistema
- Consideraciones sobre métodos de recuperación de refrigerante
- Consideraciones sobre de los refrigerantes
- Consideraciones sobre la legislación nacional sobre el uso de refrigerantes y otras SAO (Sustancias agotadoras del ozono)

Todo esto, combinado con lo didáctico del manual permite al estudiante comprender los métodos de mantenimiento en sistemas y equipos de refrigeración, así como las medidas de seguridad que deben tomarse para tal fin.

La legislación venezolana acerca del uso de las SAO se presentan en este manual como un medio para conocer todos los tratados y acuerdos en los cuales ha participado nuestro país, y que aún no siendo muy divulgados, nos da una idea de cómo se ha presentado nuestro país frente al uso de las SAO.

Redacción del Manual de Procedimientos Experimentales.

El manual de procedimientos experimentales del laboratorio de termodinámica; Área: Refrigeración y sistemas frigoríficos, es la ruta que llevará a los cursantes del área de termodinámica de la Universidad valle del Momboy a transitar por siete experiencias prácticas que serán el instrumento que les sirva para comprender los principios fundamentales del ciclo de refrigeración por compresión de vapor, al estar adscrito al laboratorio de ingeniería industrial de la universidad Valle del Momboy, se adoptaron las normas internas de este laboratorio, y la estructura del manual se hizo en base a los manuales de laboratorio ya existentes en la universidad, la estructura de cada práctica consta de:

- Título
- Objetivos
- Puntos de interés
- Introducción teórica
- Procedimiento experimental
- Post Laboratorio

Así mismo, como es costumbre en los laboratorios de la universidad Valle del Momboy, se exige la presentación de un informe científico con todo lo observado en el desarrollo del procedimiento experimental, esta propuesta de informes científicos está basada en el modelo de informes científicos de la ing. Silvia Calderón, metodología que es bien conocida por los estudiantes de la universidad.

Por su parte, las siete experiencias que el alumno tendrá la oportunidad de desarrollar son:

- **Práctica # 01:** Demostración del ciclo de la bomba de calor o ciclo de refrigeración por compresión de vapor

Esta práctica tiene el objetivo de demostrar los procesos o etapas que ocurren en el ciclo inverso de Carnot, y conocer el proceso de encendido y apagado del banco de pruebas CIC-4.

- **Práctica # 02:** Relación Presión-Temperatura

Esta práctica brinda la oportunidad de conocer como varía la temperatura en el condensador con el aumento de la presión dentro de éste dispositivo y demostrar como varía la presión en el condensador con el aumento y disminución del caudal unitario de agua en la entrada del evaporador y condensador.

- **Práctica # 03:** Demostración del bombeo de refrigerante hacia el condensador.

En el desarrollo de ésta práctica el estudiante podrá conocer como bombear refrigerante hacia el condensador y demostrar como retornar el aceite arrastrado por el refrigerante desde el compresor hasta el evaporador de vuelta al compresor.

- **Práctica # 04:** Efecto del aire en un sistema de refrigeración.

Al culminar esta experiencia. El estudiante será capaz de conocer como afecta el aire el rendimiento de un sistema de refrigeración y demostrar como el aire produce un aumento en la presión del condensador.

- **Práctica # 05:** Efecto de las temperaturas de evaporación y condensación en la tasa de refrigeración del sistema.

Esta práctica es de gran importancia para el estudiante, ya que le permite conocer que es la tasa de refrigeración de un sistema, demostrar como una variación en el caudal de agua de refrigeración altera la tasa de refrigeración del sistema, y demostrar como regular el caudal de entrada de agua para encontrar una tasa de refrigeración deseada.

- **Práctica # 06:** Transferencia general de calor entre el refrigerante y el agua en el evaporador y condensador.

Con esta práctica el estudiante puede conocer el coeficiente de transferencia de calor  $U$  en el sistema CIC-4, calcular los coeficientes de transferencia de calor entre el refrigerante y el agua de enfriamiento para el evaporador y condensador.

- **Práctica # 07:** Generación de un diagrama del ciclo de compresión de vapor a través de un gráfico presión-entalpía

Esta última práctica permite al estudiante conocer el diagrama presión-entalpía del ciclo de refrigeración CIC-4 y demostrar el cumplimiento del ciclo inverso de Carnot en el banco de pruebas CIC-4.

### **CONCLUSIONES:**

- El banco de pruebas CIC-4 sirve como un instrumento para mostrar a los alumnos de la universidad Valle del Momboy a través de experiencias netamente prácticas la composición de un sistema de refrigeración que facilite el análisis y comprensión del ciclo de refrigeración por compresión de vapor.
- Otro punto de interés del banco de pruebas CIC-4 es que ayuda a identificar los principales elementos que componen un sistema de refrigeración y sus funciones dentro de éste.
- Por su parte, al realizar los cálculos de las cargas térmicas, se obtuvo que el refrigerante R-12 registró un máximo requerimiento de calor de 0,49BTU/min. Y un mínimo de 0,20BTU/min., y fue el que obtuvo mayor rendimiento con menor calor requerido, de aquí se corrobora el por qué de su preferencia para uso en sistemas de refrigeración.
- El R-22 al tener propiedades similares al R-12, su comportamiento en el tiempo también se presenta de manera lineal, y si lo comparamos con el comportamiento del R-12 para un caudal de entrada de 50gr./min., nos

daremos cuenta de que este refrigerante requiere aproximadamente 26% más calor que el R-12 para este caudal.

- Lograr un diferencial de temperatura de 45°C con un caudal de 70gr./min. para el freón 22, requiere de un caudal de entrada de agua al evaporador de sólo 5,93gr/min., es decir que requiere apenas un uso del 11,06% de la capacidad del caudalímetro ubicado en la entrada del evaporador. Con esto se puede afirmar que el caudalímetro podría cubrir mayores diferenciales de temperatura para el mismo caudal, y también se puede corroborar el por qué este freón es tan popular a nivel industrial, a pesar de ser uno de los refrigerantes que amenaza en mayor medida la capa de ozono.
- Obtener un diferenciales de temperatura entre 25 y 45°C, con un caudal de entrada de refrigerante al evaporador de 80gr/min., se tornará totalmente posible para el banco de pruebas CIC-4, ya que, se requieren caudales de entrada al serpentín del evaporador entre 3,76 y 6,77gr./seg., es decir, se requiere entre 7,52 y 13,54% de la capacidad del caudalímetro del banco de pruebas CIC-4, ya que éste puede aportar un máximo de 50gr./seg. Esto hace del ciclo de refrigeración del banco de pruebas CIC-4, un ciclo totalmente posible.
- El máximo requerimiento de calor registrado para el R-22 fue de 0,69 BTU/min., si se compara con el máximo requerimiento de calor registrado Para el R-12, que fue de 0,49BTU/min. Tendremos entonces un requerimiento de 40,8% más calor, y si se habla del calor mínimo requerido, habrá entonces una diferencia de 25% de requerimiento de calor, ya que el R-12 registró un mínimo requerimiento de 0,20BTU/min., mientras que el R-22 registró un mínimo de 0,25BTU/min.
- El requerimiento mínimo del R-134a es 16% mayor que el de el R-22 y 45% mayor al del R-12, esto se debe, al valor del calor específico de este refrigerante que es mayor que el de los otros dos estudiados.

- Para el R-134 con un caudal de 60gr./min. requiere una entrada de agua al serpentín del evaporador de entre 3,31 y 5,95gr./seg., es decir, entre 6,62 y 11,9% de la capacidad del caudalímetro. Con esto se afirma, que el caudalímetro puede cubrir la operación del banco de pruebas con estas variables de operación.
- El R-134 con caudal de entrada de refrigerante al evaporador de 70gr./min. requiere de caudales de entrada de agua al serpentín del evaporador oscilantes entre 3,86 y 6,95gr./seg. menores a los que el caudalímetro y el diseño de las tuberías pueden suministrar, estos diferenciales de temperatura requieren de una carga térmica que varía entre 0,39 y 0,71BTU/min.
- Con un flujo de refrigerante entrando al evaporador de 80gr./min., el R-134 al poseer un calor específico mayor al R-12 y el R-22, requiere de mayor calor para lograr los diferenciales de temperatura esperados, en este caso, se calcularon las cargas térmicas para este refrigerante con un flujo de refrigerante entrando al evaporador de 80gr./min., obteniendo que para los diferenciales de prueba, las cargas térmicas requeridas varían entre 0,45 y 0,81BTU/min., y se requieren caudales de entrada que van por el orden de 4,41 y 7,94gr./seg. Es decir, 7,35 y 15,08% de la capacidad del caudalímetro de entrada de agua al serpentín del evaporador.
- El manual de mantenimiento, funciona ruta de ayuda a la solución de problemas y fallas en el banco de pruebas CIC-4.
- Con las experiencias que el estudiante puede desarrollar gracias al manual de procedimientos experimentales del laboratorio de termodinámica, Área: Refrigeración y sistemas frigoríficos, se reforzarán los conocimientos teóricos adquiridos en el aula, y darán al estudiante mayores herramientas, para que de forma verás pueda realizar inferencias sobre los ciclos de refrigeración.
- Las siete prácticas fueron diseñadas para que de forma práctica el estudiante pudiera comprender el funcionamiento del ciclo de refrigeración por

compresión de vapor. Estas abarcan desde la demostración del ciclo de la bomba de calor, hasta la generación del diagrama presión-entalpía del sistema CIC-4.

- Otras experiencias que de manera común el estudiante ya como profesional verá dentro de su ámbito laboral, será la de bombeo de refrigerante hacia el condensador, bombeo de aceite al compresor, y relación presión temperatura, es por ello que también se incluyeron dentro de las experiencias a desarrollar.

**Recomendaciones:**

- Se debe dejar claro que, esta investigación queda abierta a futuras investigaciones, sobre todo a aquellas que reorienten a la construcción del banco de pruebas CIC-4, y a la corroboración de los cálculos realizados.
- Los materiales a usar para la construcción del banco de pruebas CIC-4 deben ser de alta calidad, ya que como su función es servir como instrumento de aprendizaje, este será un reflejo de la manera como este funcione.
- Se deben seguir las normas del laboratorio de ingeniería industrial de la universidad Valle del Momboy, ya que la limitación de espacio que la facultad de ingeniería ofrece, no permite la construcción de un laboratorio propio que permita la autonomía de normas.
- Al trabajar con refrigerantes, se deben seguir las recomendaciones de salud y seguridad, ya que estas no sólo servirán para proteger la salud de los alumnos, sino también para evitar emisiones necesarias de refrigerante al ambiente.
- Se deben comprobar frecuentemente las condiciones eléctricas de los equipos que componen el sistema CIC-4, ya que el compresor y los sensores de temperatura son fundamentales para el control del comportamiento de este sistema.
- Se debe tener cuidado con las fugas de refrigerante, ya que ellas pueden provocar daños de salud si la exposición a estas supera los límites permitidos,

así mismo, contribuir en mayor medida a la contaminación de la capa de ozono.

- La calidad del lubricante es fundamental para la vida del compresor. No se deben emplear sino aceites de calidad reconocida y nunca deben cambiarse las especificaciones del fabricante.
- La práctica del empleo de anticongelantes-alcohol o “Floss”, o cualquier producto comercial que actúe en el sistema mezclándose con el agua para reducir su punto de congelación debe eliminarse por completo, estos aditivos son productos químicos que contribuyen y aceleran la formación de ácidos más complejos, agravando aún más el deterioro del sistema de refrigeración.

#### **BIBLIOGRAFÍA:**

**ANDRADE; V:** *Práctica de transferencia de Calor*, Biblioteca editorial Universidad Santiago de Chile, Primera edición, Páginas 42. Año 2003

**AZUAJE; A.:** **Principios de la refrigeración**, Editorial Porto Blanco, Primera edición, Páginas 328. Año 2006

**BORJAS; J.:** *Acondicionamiento del aire y refrigeración*, Editorial Maltinas, Segunda edición, Páginas 97. Año 2003

*Capacitación Nacional en Buenas Prácticas en Refrigeración-Una Guía de Apoyo para las UNO: La Eliminación de SAO en los países en Desarrollo*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, División de Tecnología, Industria y Economía. (PNUMA-DTIE), Primera Edición, Páginas 104, Año 2001.

*Buenos Procedimientos en Refrigeración-Manual de Instrucción*: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, División de Industria y Ambiente, (PNUMA-IA), Primera Edición, Páginas 426, año 1994.

**CENGEL Y BOLES:** *Termodinámica*, Editorial Mac Graw Hill, cuarta edición, Páginas 830. Año 2001

**COLOMA; L.:** *Manual de capacitación en buenas prácticas de refrigeración*, Cámara Chilena de refrigeración y climatización, Primera edición. Páginas 96, año 2005.

*Compresor SD, Manual de Mantenimiento*, SANDEN International USA, Primera edición. Páginas 33, año 1999.

**CORONA WILLIAMS Y OTROS:** *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado*, editorial universidad de La florida (USA), Páginas 305. Año 2003

**CORONEL; J.:** *Colección de transparencias comentadas en tecnología frigorífica*, Grupo de Termotecnia, Universidad de Sevilla (España). Primera edición. Páginas 125, año 2001.

**GALTUNA; J.:** *El buen diseño de la investigación, como medio para el logro de lo objetivos*, editorial Argeeditores, tercera edición, Páginas 207. Año 1995

**HERNÁNDEZ; E.:** *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*, editorial Los Ilustres, cuarta edición, Páginas 1208. Año 1998

**LAORDEN; J.:** *Detalles de instalaciones de refrigeración y aire acondicionado*, Editorial Buena Vista, Tercera edición, Páginas 938. Año 1993.

**LARRAZABAL; M.:** *Manual práctico de refrigeración*, Fondo editorial Universidad de los andes, primera edición, páginas 436. Año 2003

*Mantenimiento de sistemas de refrigeración y aire acondicionado, Normas de competencia laboral obligatorias*, Unidad técnica ozono-Colombia. Tercera Edición. Páginas 12, año 2003.

**MILLÁN; J.:** *Propuesta de un laboratorio de refrigeración adscrito al laboratorio de máquinas y motores térmicos*, Escuela Universitaria Politécnica de Donostia-San Sebastián (España), primera edición, Páginas 208. Año 2004.

**PÉREZ; M.:** *Ciclos De refrigeración mecánica: Manual de laboratorio*, Editorial Ciudad universitaria de La serena (España). Segunda edición, Páginas 93. Año 2004.

**PUEBLA; A.:** *Manual de buenas prácticas en refrigeración*, Fondo de recuperación industrial FONDOIN, primera edición, Páginas 156. Año 2004.

**SIMANCAS; J.:** *Manual de refrigeración y aire acondicionado*, Fondo editorial Universidad de Los Andes, Páginas 258. Año 1997

**SOLERA; C.:** *Ciclos de potencia y refrigeración*, Asociación argentina de editores, Segunda edición, Páginas 274. Año 1999

**RAMÍREZ; C.:** *Ciclos de máquinas térmicas*, Doeditores, Cuarta edición, Páginas 401. Año 2003

**RIVERO; J.:** *Ciclos de refrigeración por compresión*, Universidad de Las Américas, Primera edición, Páginas 148. Año 2000

**ROSALES; J.:** *Cálculo de cargas térmicas; una guía práctica para conocer sus requerimientos de refrigeración*, Editorial Universidad Del Zulia, Primera edición, Páginas 108. Año 2000

**ZAMBRANO; S.:** *Fundamentos Básicos de Mantenimiento*, Fondo Editorial Universidad Experimental del Táchira (FEUNET), primera edición, Páginas 130. Año 2005.

**Enlaces Web:**

[Http://www.uvm.edu.com.ve/curriculumintegral](http://www.uvm.edu.com.ve/curriculumintegral), Disponible en línea Junio 18, 2007-09-06

- [Http://www.refrigeracionortg.com.ar/evaporadores.tubodesnudo.htm](http://www.refrigeracionortg.com.ar/evaporadores.tubodesnudo.htm), Disponible en línea Julio 04, 2007.





