

PROTOTIPO DE RECUPERACION DE REFRIGERANTES

RESUMEN

Este artículo presenta un avance del proyecto de investigación en variables ambientales, relacionado con la construcción del prototipo de equipo recuperador de refrigerantes propuesto como equipo de laboratorio para pruebas, dentro de lo que será el plan de recuperación de refrigerantes para el área metropolitana

PALABRAS CLAVES: Recuperación de refrigerantes, refrigerantes, recuperadora

ABSTRACT

This paper is related with the project of measurement of environmental variables and report the design and construction of CFC recovery machine as a proof equipment, having in mind the environmental program of CFC recovery in metropolitan area of Pereira-Dosquebradas Colombia.

KEYWORDS: *Refrigerants recovery, Refrigerants*

CARLOS ALBERTO OROZCO

Profesor Titular, M.Sc
Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira.
corozco@utp.edu.co

JORGE

Profesor Auxiliar M.Sc,
Facultad de Ciencias Ambientales,
Universidad Tecnológica de Pereira
jorgeama@utp.edu.co

AUGUSTO

MONTOYA

HÉCTOR A. GONZÁLEZ

Profesor Asistente. IM, MSc.
Facultad de Tecnologías, UTP
Escuela de Tecnología Mecánica
Universidad Tecnológica de Pereira
hagonza@utp.edu.co

Proyecto 2-03-4

1. INTRODUCCIÓN

La problemática ambiental generada por el escape indiscriminado hacia la atmósfera de refrigerantes clorofluorcarbonados y los hidroclorofluorcarbonados (CFC y HCFC) cuyo contenido de cloro está ocasionando el deterioro de la capa de ozono, la cual cumple un papel importante como filtro de los rayos ultravioletas y como gas de efecto invernadero, ha generado un amplio movimiento mundial para remediar el daño hasta ahora hecho. En 1987, los gobiernos de todos los países del mundo acordaron tomar las medidas necesarias para solucionar este grave problema firmando el Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que agotan la Capa de Ozono. Fue un acuerdo notable que sentó un precedente para una mayor cooperación internacional al encarar los problemas globales del medio ambiente. En 1990 se hicieron enmiendas importantes al Protocolo de Montreal, en Londres, y en 1992 en Copenhague, para acelerar la eliminación de las sustancias destructoras del ozono. En Colombia la unidad técnica de ozono fue creada en 1994 por el Ministerio del Medio Ambiente, y se han obtenido recursos del PNUD por proyectos diversos, creándose también un programa de recuperación y reciclaje de refrigerantes CFC, el cual permitió instalar unidades de recuperación y reciclaje en diferentes talleres y laboratorios del SENA en el país.

Actualmente todas las fábricas de refrigeradores domésticos en el país no utilizan SAO (sustancias agotadoras de la capa de ozono), al igual que muchos de los fabricantes de refrigeradores comerciales. Podemos

mentar las industrias como MABE, ICASA, INDUSEL, HACEB Y CHALLENGER en el sector doméstico y a INDUFRIAL WESTELL, INDUCOL, WONDER, FRIOMIX Y REFRIGERACIÓN SUPERNÓRDICO en el sector de refrigeración comercial. La tecnología alternativa escogida por estos fabricantes utiliza el gas HFC-134a como agente refrigerante en lugar del CFC-12; y el gas HCFC-141b como agente espumante en lugar del CFC-11. Se destacan la resolución 2152 del 28 de Junio de 1996 del MMA donde se prohíbe la importación, producción y distribución de bromuro de metilo. Solo se usaran como plaguicidas en puertos y fronteras. La resolución 2152 del 16 de Junio de 1997 del MMA, donde se prohíbe la producción de refrigeradores-congeladores de uso doméstico que contengan o requieran CFC.

Con el fin de reducir su uso y facilitar el cambio la resolución 304/2001 del MMA establece medidas para reducir las importaciones de CFC acorde con el ANEXO A: grupo I del Protocolo de Montreal. Actualmente se trabaja a nivel de proyecto de grado de la Facultad de Ciencias Ambientales en el Plan de Gestión para la masificación de la recuperación de refrigerantes en el área metropolitana el cual contempla conceptos que involucran aspectos socioeconómicos, técnicos y ambientales; que permitirán desarrollar un programas de tipo masivo en las ciudades del área metropolitana Pereira – Dosquebradas. Dicho plan tendrá por objeto definir las actividades tendientes a prevenir, controlar, compensar y corregir los aspectos negativos de los gases

refrigerantes, en contra de la capa de Ozono, y en el procedimiento de los cambios en los gases refrigerantes. Los productos resultantes de este proyecto serán: un plan de gestión para la recuperación de refrigerantes en el eje cafetero, una propuesta de norma técnica sobre seguridad, recuperación, reciclaje y disposición de refrigerantes CFC y otra que tenga en cuenta la clasificación de los refrigerantes y sus niveles de inflamabilidad y toxicidad. Los procedimientos para la certificación del personal técnico se harán con base en las normas de competencia laboral expedidas por el SENA y aprobadas por el Ministerio de Medio Ambiente. Igualmente se debe generar una propuesta de norma técnica para certificar máquinas de recuperación y reciclaje. El grupo de investigación en variables ambientales, de la Universidad Tecnológica de Pereira construye una unidad de recuperación instrumentada de CFC-12 ó R-12 de bajo costo, con los siguientes objetivos:

- Extraer el fluido refrigerante de un sistema frigorífico con el fin de almacenarlo.
- Encapsular el refrigerante en estado líquido.
- Reducir el nivel de emisiones en la atmósfera.
- Contribuir a la conservación de la capa de ozono.
- Capacitar y sensibilizar usuarios finales en buenas prácticas de refrigeración.
- Elaborar una propuesta de norma técnica para certificar máquinas como la construida en la UTP.
- Incubar una empresa productora de equipos de recuperación.

En este artículo se describen los pasos seguidos en la construcción de una versión de recuperadora para pruebas de laboratorio en una primera fase y una versión económica para uso comercial en una segunda fase, tipo de recuperador escogido, pruebas realizadas, procedimiento de operación y especificaciones técnicas.

2. RECUPERACIÓN Y RECICLAJE DE REFRIGERANTE

Cada día es más importante la recuperación y el reciclaje de los refrigerantes, para evitar que las emisiones de gases afecten al medio ambiente. Para eso se emplean unidades de recuperación que extraen el gas de la instalación, lo deshidratan y extraen el aceite. Después este gas se puede emplear otra vez o almacenarse para su destrucción en el caso de los CFC. Estos equipos llevan un pequeño compresor hermético, normalmente rotativo, además de los separadores de aceite y los filtros separadores, cuando más grande más rápido extrae el refrigerante y más pesado.

2.1 Recuperación

Recuperar es extraer un fluido frigorífico de un sistema frigorífico con el fin de ser almacenado, reciclado, regenerado o transportado. Las operaciones de recuperación implican la utilización de tres clases de material: Recipientes específicos, equipos de recuperación, materiales y herramientas conexas.

Recuperar exige:

- Extracción del fluido frigorífico de una instalación frigorífica.
- Transvasar el fluido a un recipiente específico, que normalmente posee dos válvulas, una para líquido (roja) y otra para vapor (azul).
- Utilizar utensilios afines para:
 - a- Crear accesos a las tuberías.
 - b- Conectar los recipientes.

Los equipos de recuperación pueden clasificarse en función de los modos de transvase, líquido o gaseoso.

2.2. Reciclado

La reutilización de una sustancia controlada recuperada mediante un procedimiento de depuración básico, tal como el filtrado o el secado. En el caso de los refrigerantes, el reciclado normalmente entraña la recarga en el equipo. A menudo tiene lugar "sobre el terreno".

2.3. Regeneración

La reelaboración y purificación de una sustancia controlada recuperada mediante mecanismos como el filtrado, el secado, la destilación y el tratamiento químico a fin de reestablecer el estándar de rendimiento especificado de las sustancias. A menudo entraña la elaboración "fuera del lugar" en una instalación central.

3. RECUPERADOR EN FASE VAPOR

La mayoría de las unidades de recuperación están diseñadas para el vapor ya que el líquido podría dañar la unidad, sin embargo existen máquinas para recuperar por fase líquida. La recuperación del refrigerante se puede realizar cuando el refrigerante está en fase vapor, es decir en el punto 1 del diagrama presión – entalpía, o cuando el refrigerante está en fase líquida, es decir en el punto 3 del mismo diagrama. La recuperación por fase líquida. Con $T_c = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ se tiene una alta presión, alrededor de 12,2 bares ó 174 psia (R-12) y 19,5 bares ó 283 psia (R-22). En la fase de vapor con $T_e = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ se tiene una baja presión, alrededor de 1,5 bares ó 21,7 psia (R-12) y 2,4 bares ó 39 (R-22).

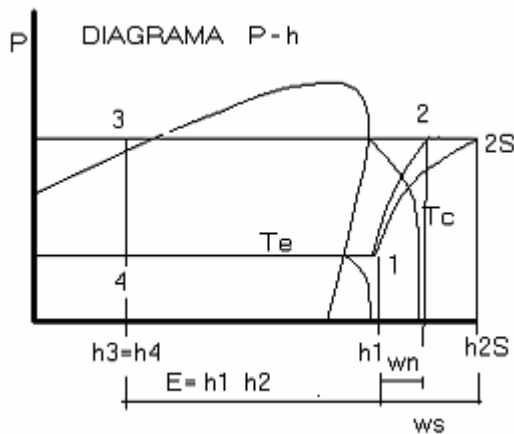


Figura No. 1 Diagrama presión entalpía para el recuperador

4. PROTOTIPO RECUPERADOR DE REFRIGERANTES

Esta unidad, además de servir para la recuperación y envase de refrigerante CFC 12 y CFC 22 está instrumentada de tal manera que pueda tener fines académicos en un aula de clase. La figura 1 muestra un esquema del prototipo recuperador. Es importante tener en cuenta que la recuperación de refrigerante se hace en equilibrio con el equipo al que se le hace recuperación apagado donde las presiones son : R-12, 75-80 psig; R-22, 120 psig. La válvula de la unidad opera en un rango de 35-150 psig. El diseño fue realizado por el grupo, pero la construcción la realizó la firma Airear Ingeniería [2], al igual que el manual de operación de la máquina, con la interventoría del grupo.

4.1 Funcionamiento

La unidad para recuperación de refrigerante R-12, está constituida básicamente de 2 componentes esenciales: **El Compresor y El Condensador**. Los demás elementos que lo constituyen son básicamente elementos de Control o de Protección. A continuación se detallan todos los elementos y su forma de uso:

- **Válvula de gusanillo (Pinch-off):** Este dispositivo, muy utilizado en sistemas de refrigeración industrial, sirve para acceder al refrigerante que está dentro de las tuberías. Consiste en un cuerpo de cobre con una rosca interna en donde se aloja un gusanillo ("nipple"), que actúa como válvula, permite el flujo en ambos sentidos.
- **Válvula reguladora de Succión:** Esta válvula actúa como restrictor, regulando la presión de entrada al compresor hasta los límites máximos permitidos. Posee un tornillo que permite ajustar la presión de entrada gradualmente hasta el punto óptimo de operación.
- **Compresor:** este es el alma de la unidad recuperadora de refrigerante. Con 1/8 HP, succiona el refrigerante desde el dispositivo poseedor de la sustancia agotadora de ozono y lo envía hacia el condensador para

luego ser envasado en un recipiente no reciclable. La eficiencia esperada de un motor de esas características 0,125 HP (93.25w) es de 0,35.

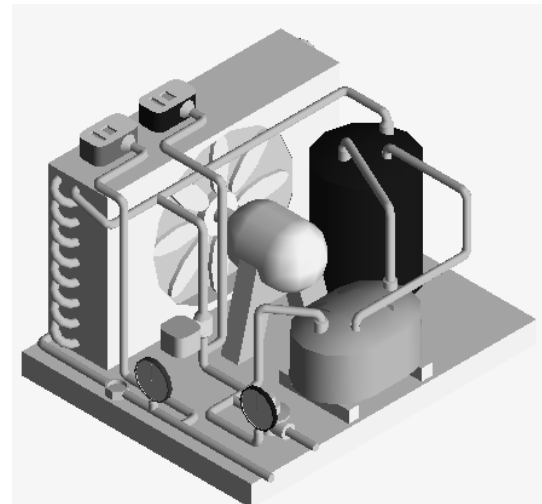


Figura No. 2 Esquema Equipo recuperador.

- **Separador de Aceite:** Este dispositivo, el cual se encuentra en su primera edición, no cuenta con un compresor que en su operación evite la migración de aceite hacia el recipiente receptor, motivo que nos obliga a tener este dispositivo que garantiza que el aceite regresa al compresor.
- **Condensador:** El refrigerante es admitido por la unidad de recuperación en forma gaseosa. Después del proceso de compresión, el refrigerante entra al condensador a alta presión y alta temperatura, en forma gaseosa, allí con ayuda de un ventilador la temperatura del refrigerante se reduce y empieza el proceso de condensación, el cual sucede a presión constante. El objetivo es que el refrigerante salga del serpentín condensador en estado líquido y en lo posible con una temperatura menor de la temperatura de saturación a la presión de condensación.
- **Moto-Ventilador:** Para el proceso de condensación es necesario que exista un intercambio de calor entre el refrigerante y el medio ambiente. Para que este proceso sea más eficiente, generalmente se hace convección forzada cruzando aire a alta velocidad a través del serpentín.
- **Mirilla:** Este elemento, no cumple ninguna función específica, tan solo permite ver el estado del refrigerante al salir del serpentín condensador. Además, posee un papel tornasol, que indica el grado de acidez que tenga el refrigerante en el momento de pasar por la mirilla.
- **Válvula Solenoide:** Las válvulas solenoides son válvulas encendido - apagado, es decir, o está abierta o está cerrada. Para la unidad de recuperación, esta válvula está enclavada a un contacto normalmente cerrado, para que en el momento de energizar la unidad, ella se abra, logrando con esto que las presiones de succión y de descarga sean iguales. Al momento de encender la unidad, la válvula se desenergiza y se cierra. Todo esto

con el fin de generar una comunicación entre la línea de alta presión y la línea de baja presión. Luego de recuperar la mayor cantidad posible de refrigerante, el sistema de la maquina a la que se le está extrayendo el refrigerante empieza a perder presión, a tal punto que el control de baja presión de la unidad se dispara. En ese justo instante la válvula solenoide se abre y rápidamente iguala presiones en la unidad de recuperación, dando la posibilidad de continuar inmediatamente con el proceso de recuperación, dejando el sistema de la máquina en recuperación casi en vacío.

- **Presostatos:** Estos dispositivos de control, protegen el compresor de las consecuencias que trae el trabajo con presiones fuera del rango límite de operación.
- **Manómetros:** Indican la presión existente en la tubería en un momento dado.

La unidad de recuperación de refrigerante se ha diseñado para trabajar a 110 V.

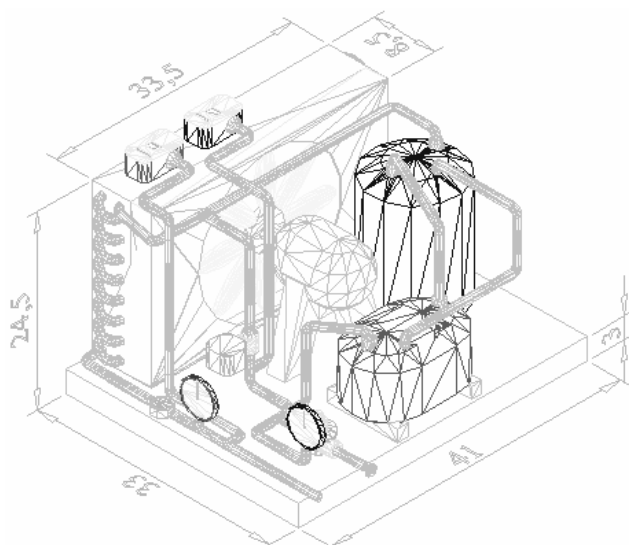


Figura No. 3 Esquema Equipo recuperador con dimensiones reales en centímetros.

4.2 Especificaciones técnicas

El cuadro No. 1 presenta un resumen de las especificaciones técnicas del equipo recuperador de refrigerantes R-12

DATOS TÉCNICOS		
Modelo		RC4415A
Capacidad Recuperación	HP	1/8
Flujo de masas		8,28 Kg/h
GENERAL		
Voltaje	V	115/127
Fases	Ph	1
Frecuencia	Hz	60

Amperaje	A	0,1
Consumo Eléctrico	kW	11,63
VENTILADOR		
Tipo		Axial
Velocidades		1
Diámetro Aspas	in	8
Diámetro Eje	in	¼
Cabeza	in. Wg	0,0
Potencia	w	10
Velocidad	rpm	1.550
Voltaje	V	115/127
Amperaje Plena Carga	A	0,6
COMPRESOR		
Tipo		Hermético
Marca		Tecumseh
Modelo		CAE8Z
Voltaje	V	110/127
RLA	A	8,6
Capacidad	Btu/h	370
Número de Cilindros	Und.	1
Carga de Aceite	cm3	400
Rango de Temperatura	°C	-15 a +8
Conexión Tubería de Cobre	In	3/8
CONDENSADOR		
Tipo		Tubo Cu
Aletas		Aluminio
Número de Filas		3
Diámetro tubos	In	3/8
Aletas por Pulgada	fpi	10
Dimensiones (W x D x H)	mm	370 x 85 x 210
DATOS FÍSICOS		
Peso	kg	16
Dimensiones (W x D x H)	mm	430 x 330 x 330

Cuadro No. 1 Especificaciones técnicas Equipo recuperador de R-12

Unidad con base en lámina de acero Inoxidable y perfiles en aluminio, con gabinete acrílico. Serpentín condensador en tubería de cobre y aletas en aluminio. Compresor hermético. Fácil visibilidad a los controles eléctricos a través del panel acrílico. Completa Instrumentación de medida y de control

5. PROCEDIMIENTO DE RECUPERACION

El proceso de recuperación es muy simple, basta con interconectar el sistema contenedor de refrigerante R-12 con una botella de recuperación con ayuda de la unidad de recuperación. Para lograrlo conecte la manguera azul a la válvula de entrada de la unidad. Seguido, conecte al puerto de servicio de baja presión del dispositivo al que le va a recuperar refrigerante. Si el dispositivo con Sustancia Agotadora de Ozono (SAO) no posee puerto de servicio, es necesario instalar una válvula que en el comercio se conoce como válvula galápago. Ella abraza el tubo y al ajustarla lo perfora generando un canal de comunicación con el interior. Ahora conecte la manguera roja a la válvula de salida de la unidad. Enseguida conecte a la válvula de recibo del recipiente de recuperación.

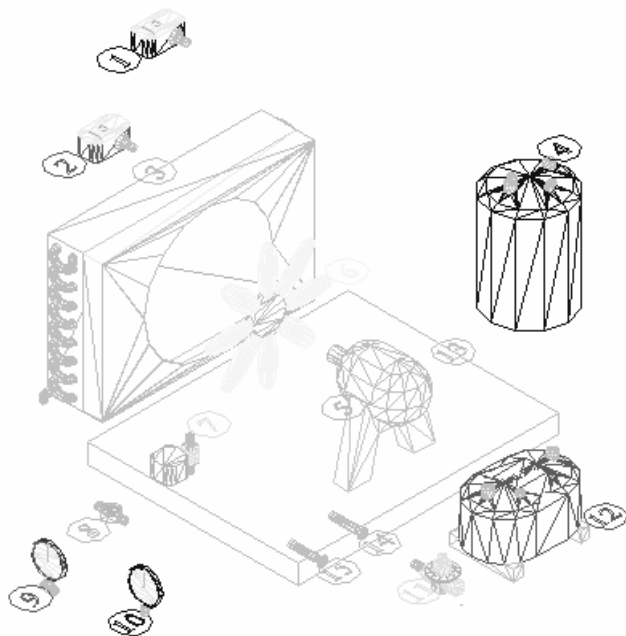


Figura No. 4 Despiece Equipo recuperador.

Antes de encender la unidad de recuperación, asegúrese que la presión de entrada al compresor es la apropiada. Para refrigerante R-12, debe estar entre 25 y 30 Psi. Si no es así, gire la válvula reguladora de succión hasta alcanzar la presión correcta.

Ubique el cilindro de recuperación sobre una balanza y verifique que tiene capacidad para recibir refrigerante.



Figura No. 5 Equipo recuperador construido por el grupo de investigación.

Ahora encienda la unidad de recuperación. Observe en el manómetro cual es la presión en la línea de alta presión, esté pendiente de ella. Aunque el presostato de alta presión protege la operación, no está demás que se cerciore de la buena operación.

Cuando el procedimiento esté concluyendo, la unidad se apagará porque el presostato de baja presión actúa, sensando el decremento de presión en el dispositivo poseedor de la SAO. Cuando esto suceda, la bobina de la válvula solenoide se energizará, levantando el vástago para que el sistema iguale rápidamente presiones.

En este momento se puede tomar la decisión de seguir el proceso de recuperación, si se desea recuperar exhaustivamente el refrigerante contenido en la máquina poseedora de la SAO. Para realiza esta maniobra, basta con accionar el interruptor de buen vacío, el cual desconecta el presostato de baja y permite que el compresor vuelva a trabajar, llevando el sistema de la máquina poseedora de la SAO, prácticamente a vacío. No olvide revisar el manómetro de alta presión y la báscula. Es conveniente que cuando se realice este procedimiento, se observe con atención el manómetro de baja presión, para evitar que el compresor trabaje en vacío. Cuando el manómetro llegue a cero apague la unidad de recuperación. Desconecte la manguera roja del cilindro de recuperación, y después de la unidad recuperadora. Desconecte la manguera de la maquina poseedora de la SAO y después de la unidad recuperadora.

Determine la factibilidad para el cambio de refrigerante en el equipo que acaba de descargar y si es posible hacerlo, siga los procedimientos correctos de conversión para evitar pérdidas de eficiencia en esta máquina.

6. RESULTADO PRUEBA REALIZADA

La capacidad de recuperación es:

$$\dot{m}_r = \frac{\dot{Q}_0}{\varepsilon} = \frac{0.13185 \text{ kJ/s}}{(388.9 - 245) \text{ kJ/kg}} = 0.000916 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (1)$$

Esto equivale a 3,29 kg/h, por lo tanto el refrigerante de una nevera de 11 pie se recuperaría en unos 10 minutos.

Para la prueba de recuperación se utilizó un congelador para almacenamiento de gaseosas (botellero) de ¼ de Hp y 3 libras de refrigerante. El tiempo, t , de recuperación del refrigerante se puede estimar como :

$$t = m / \dot{m}_r \quad (2)$$

donde m es la masa de refrigerante a recuperar, [kg] y $\dot{m}_r$ es la capacidad de flujo de masa del compresor, [kg/h]. De las especificaciones técnicas $\dot{m}_r$ vale 8,28 kg/h y m es 1,36 kg, que equivalen a 3 libras de R-12. Evaluando la ecuación 2 se tiene un tiempo aproximado de 0,16 horas o lo que es lo mismo 9,85 minutos.

La experiencia se realizó en un tiempo menor en razón a que el congelador contenía solo dos libras de refrigerante, confirmando los cálculos teóricos para el equipo recuperador. La figura 6 registra el momento de la prueba.



Figura No. 6 Prueba de recuperación de refrigerante R-12

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha fabricado una máquina para la recuperación de refrigerantes completamente instrumentada que servirá de modelo para la fabricación de un equipo de mas bajo costo y características comerciales. Dicho modelo se fabricara y ensayara bajo norma técnica. Lo anterior facilitara un plan de gestión para la recuperación en el área metropolitana de Pereira, que seria plan piloto y que incluye una propuesta de norma técnica para recuperación y disposición de refrigerantes CFC y otra que incluya los procedimientos de seguridad y

recuperación de sistemas de refrigeración a ejecutar por técnicos certificados por ICONTEC u otro ente de certificación como el CIDET. .

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ARI (American Refrigeration Institute). Refrigerantes y Lubricación. Capítulo VII, Refrigeración y Aire Acondicionado. Bogotá, Colombia: Impreso por Carvajal, Prentice-Hall, 1981.
- [2] AIREAR Ingeniería. Manual de fabricación y operación de la recuperadora tipo experimental UTP. Pereira, Colombia, Agosto de 2004
- [3] DUPONT. *Alternative Refrigerants*. Características de los Refrigerantes. Manual para el Uso de Refrigerantes Freon. Departamento de Mercadeo, Junio de 1989.
- [4] HOECHT. Diagramas p-h y propiedades termodinámicas de los Refrigerantes. Bogotá : ACAIRE. Curso Internacional Sobre Sistemas de Refrigeración frente a la Nueva Generación de Refrigerantes, Marzo 1993.
- [5] ICI Klea. *EMKARATE, Retrofit Procedure for R-134A, computer Animated Versión*. Cortesía del ICI-Colombia, Bogotá: ACAIRE Curso Internacional Sobre Sistemas de Refrigeración frente a la Nueva Generación de Refrigerantes, Marzo 1993.
- [6] KLEA-CALC, Version 3.0 1/1/95: *Computer Program to Simulate refrigeration systems. Animated Version*. Cortesía de ICI-Colombia, Bogotá: ACAIRE. Ídem., Marzo 1993.
- [7] OROZCO H. Carlos Alberto y Julio Néstor Giraldo. Nuevos Refrigerantes, Refrigerantes y la Atmósfera. SCIENTIA ET TÉCNICA No5, Junio 1997, paginas 107-114.
- [8] OROZCO H. Carlos Alberto, J.C.Burbano, Juan E. Tibaquirá y otros. Modelo Termodinámico para el diseño de refrigeradores Domésticos en Compresión de vapor y Absorción. . SCIENTIA ET TÉCNICA No17, Diciembre 2001 Junio 1997, paginas 7-12.
- [9] OROZCO H. , Carlos Alberto y Jorge Augusto Montoya. Plan de Recuperación de refrigerantes. SCIENTIA ET TÉCNICA No. 20. Pereira, Colombia: UTP, Octubre de 2002, paginas 93-98.
- [10] MEK Department of Mechanical Engineering, Section of Energy Engineering. Refutill: Simulation Tool for Refrigeration Systems. Danish Technical University, 2004.