

**INSTRUMENTACION DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION POR
ABSORCION ROBUR CON FINES DIDACTICOS**

**LEONARDO ESTEBAN PACHECO SANDOVAL
LILIANA ANDREA SILVA BENAVIDES**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2006

**INSTRUMENTACION DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION
POR ABSORCION ROBUR CON FINES DIDACTICOS**

**LEONARDO ESTEBAN PACHECO SANDOVAL
LILIANA ANDREA SILVA BENAVIDES**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2.006

DEDICATORIA

El culminar esta meta me hace recordar todas las personas que de alguna manera han tenido que ver en cada una de las pequeñas etapas de mi vida, les agradezco con profundo aprecio por su amistad y comprensión.

Doy gracias infinitas a DIOS por mis padres y hermanos ya que gracias su amor y apoyo he podido finalizar con éxito esta meta.

Leonardo Esteban Pacheco Sandoval

DEDICATORIA

Muchas personas son partícipes de este logro, a todas ellas gracias por su colaboración, comprensión y amistad. Pero especialmente quiero agradecer a mi esposo Jhon Freddy, a mis hijos Juan Esteban y Luis Fernando y a mis padres por que gracias al cariño y amor de todos ellos, las dificultades que se presentaron fueron más fáciles de resolver.

Liliana Andrea Silva Benavides

AGRADECIMIENTOS

De manera especial y sincera agradecemos la colaboración y apoyo desinteresado al profesor Omar Gélvez, quien fue no solo nuestro director sino también nuestro amigo.

A Giovanotti por su disposición y colaboración desinteresada. Gracias.

Y en general a todos aquellos que contribuyeron para que este proyecto se realizara.

Liliana Andrea Silva Benavides

Leonardo Esteban Pacheco Sandoval

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. IMPORTANCIA DE LA REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN	3
1.1 JUSTIFICACION	3
1.2 OBJETIVOS	5
1.2.1 Objetivo generales	5
1.2.2 Objetivos específicos	5
2. DESCRIPCION DE LA UNIDAD ENFRIADORA DE AGUA POR ABSORCIÓN MARCA ROBUR	7
2.1 CARACTERISTICAS DE LA UNIDAD ENFRIADORA DE AGUA ROBUR SERIE ACC 60- 00	7
2.1.1 Confiabilidad	7
2.1.2 Enfriado por aire	7
2.1.3 Economía	7
2.1.4 Flexibilidad	7
2.2 DIMENSIONES DE LA UNIDAD	10
2.3 CICLO BASICO DE OPERACIÓN.DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION POR ABSORCION	12
2.4 COMPONENTES DE LA UNIDAD DE REFRIGERACION POR ABSORCION SERVEL-ROBUR	15
2.4.1 Elementos constitutivos del sistema de baja presión	18
2.4.2 Elementos auxiliares que determinan los niveles de presión	20
2.4.3 Elementos constitutivos del sistema de alta presión	21

2.5 COMPONENTES ASOCIADOS A LA UNIDAD	
REFRIGERACION POR ABSORCION SERVEL-ROBUR	25
2.5.1 Tanque de enfriamiento del agua	25
2.5.2 Bomba de agua fría	25
2.5.3 Rotámetro.	26
2.6 SISTEMA DE GAS.	27
2.6.1 Válvula reguladora de presión de gas	27
2.6.2 Válvula dual de gas	28
2.6.3 Quemador.	28
2.7 SISTEMA DE CONTROL Y POTENCIA	29
2.7.1 Sistema de control	30
2.7.1.1 Interruptor de retardo de tiempo	30
2.7.1.2 Transformador	31
2.7.1.3 Interruptor de alta temperatura del generador	32
2.7.1.4 Interruptor vela.	33
2.7.1.5 Interruptor de agua helada	34
2.7.1.6 Sistema de encendido eléctrico	35
2.7.1.7 Interruptor de flujo	36
2.7.1.8 Válvula dual de gas	37
2.7.2 Sistema de potencia	38
3. DATOS SOBRE EL MANTENIMIENTO Y ANALISIS DE LA UNIDAD	39
3.1 MANTENIMIENTO GENERAL DE LA UNIDAD	40
3.2 VERIFICACION DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS BASICOS DEL SISTEMA	45
3.3 LIMPIEZA DEL GENERADOR	46
3.4 LIMPIEZA DE LAS SERPENTINAS DEL CONDENSADOR- ABSORBEDOR	49

3.5 ANÁLISIS DE LA UNIDAD SEGUN EL COMPORTAMIENTO DE LOS MANOMETROS	50
3.6 BOMBA HIDRÁULICA.	59
3.7 CARGA DE REFRIGERANTE	62
3.7.1 Extracción del exceso de refrigerante.	64
3.7.2 Control del nivel de solución	64
3.7.3 Preparación de solución	66
3.7.4 Carga de solución.	67
3.7.5 Ajuste de la carga de solución	69
3.7.6 Corrección del defecto de la solución o refrigerante fuera de su lugar (STORE OUT).	70
3.7.7 Purgado de gases no condensables.	.72
4. BANCO DIDACTICO PARA PRUEBAS DE UN EQUIPO DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN	74
4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA UNIDAD	74
4.2 PANEL DE CONTROL	75
4.2.1 Secciones del panel de control	76
4.2.2 Ubicación y dimensiones	81
4.2.3 Operación del panel de control	81
4.2.4 Indicadores de fallas	82
4.3 FICHAS PARA PRUEBAS	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXOS	88

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Unidad enfriadora ROBUR modelo ACC 60 – 00.	10
Figura 2. Vista lateral de la unidad enfriadora ROBUR modelo ACC 60– 00.	11
Figura 3. Vista frontal de la unidad enfriadora ROBUR modelo ACC 60– 00	11
Figura 4. Panel de servicios de la unidad enfriadora de agua ROBUR modelo ACC 60 –00.	12
Figura 5. Esquema de un ciclo de refrigeración por absorción	14
Figura 6. Esquema básico de la unidad enfriadora de agua ROBUR.	17
Figura 7. Evaporador de la unidad ROBUR	19
Figura 8. Absorbedor enfriado por solución de la unidad ROBUR	20
Figura 9. Bomba de solución	21
Figura 10. Generador de la unidad enfriadora ROBUR	22
Figura 11. Cámara niveladora de la unidad ROBUR.	23
Figura 12. Rectificador de la unidad ROBUR	23
Figura 13. Tanque de enfriamiento del agua.	25
Figura 14. Bomba de agua fría	26
Figura 15. Rotámetro	26
Figura 16. Gráfica de calibración del rotámetro, caudal en GPM en función de la altura del flotador cm	27
Figura 17. Válvula reguladora de presión de gas.	28
Figura 18. Caja de control de la unidad enfriadora ROBUR modelo ACC 60 –00.	30

Figura 19. Interruptor de retraso de tiempo	31
Figura 20. Transformador 220 / 24 V	32
Figura 21. Interruptor de alta temperatura del generador	33
Figura 22. Interruptor vela	34
Figura 23. Interruptor de agua helada	35
Figura 24. Sistema de encendido eléctrico	36
Figura 25. Interruptor de flujo	36
Figura 26. Válvula dual de gas.	37
Figura 27. Ventilador de la unidad	40
Figura 28. Bornes para la medición de los voltajes de 24V y 220V	42
Figura 29. Terminales R, Y y O.	42
Figura 30. Válvula dual de gas	43
Figura 31. Desarme del generador para su limpieza	48
Figura 32. Serpentina del condensador absorbedor	50
Figura 33. Comportamiento de los manómetros cuando se presenta Store out del refrigerante	51
Figura 34. Comportamiento de los manómetros cuando se presenta el Store out de solución	52
Figura 35. Comportamiento de los manómetros cuando el restrictor de solución parcialmente tapado	52
Figura 36. Comportamiento de los manómetros cuando el restrictor de la solución está tapado	53
Figura 37. Comportamiento de los manómetros cuando hay acomodo incorrecto de la válvula de control de flujo o la válvula check de la bomba de solución	53
Figura 38. Comportamiento de los manómetros cuando la válvula de control de flujo de la bomba hidráulica está defectuosa	54

Figura 39. Comportamiento de los manómetros cuando el restrictor del refrigerante está tapado	55
Figura 40. Comportamiento de los manómetros cuando hay fugas en el absorbedor enfriado por solución	56
Figura 41. Comportamiento de los manómetros cuando hace falta refrigerante	56
Figura 42. Comportamiento de los manómetros cuando hay exceso de refrigerante	57
Figura 43. Comportamiento de los manómetros cuando la solución esta baja	57
Figura 44. Comportamiento de los manómetros cuando hay exceso de solución	58
Figura 45. Bomba hidráulica	62
Figura 46. Válvula de control de flujo	62
Figura 47. Disposición de las mangueras para cargar el refrigerante.	63
Figura 48. Disposición de mangueras para la extracción del exceso de refrigerante.	64
Figura 49. Disposición de mangueras para el control del nivel de solución.	65
Figura 50. Disposición de tanques para la preparación de la solución	67
Figura 51. Disposición de tanques para la carga de la solución.	68
Figura 52. Disposición de elementos para el ajuste de la carga de la solución	69
Figura 53. Corrección del store-out	71
Figura 54. Purgado de gases no condensables	73

Figura 55. Ubicación de la unidad de refrigeración Servel Robur en el campus universitario de la sede principal de la Universidad Industrial de Santander	74
Figura 56. Panel de control	75
Figura 57. Primera Sección del Panel	76
Figura 58. Termo pozo adaptado a la cámara de nivelación	77
Figura 59 Segunda Sección del Panel	78
Figura 60. Tercera Sección del Panel	79
Figura 61. Plano eléctrico del panel de control	80
Figura 62. Esquema de control de la unidad de refrigeración SERVEL-ROBUR	84

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones técnicas de la unidad enfriadora de agua por absorción marca ROBUR modelo ACC 60-00.	8
Tabla 2. Capacidad de la unidad enfriadora de agua por absorción marca ROBUR modelo ACC 60- 00 en función de la temperatura de salida del agua y de la temperatura de entrada del aire al condensador.	9
Tabla 3. Dimensiones del panel de servicios de la unidad enfriadora ROBUR modelo ACC 60 – 00.	12
Tabla 4. Convención de colores para el esquema de una unidad enfriadora absorción ROBUR	17
Tabla 5. Presiones normales de alta y de baja en la unidad ROBUR	58
Tabla 6. Dimensiones del panel	81

LISTA DE ANEXOS

	Pág
ANEXO A TRIGENERACIÓN CON PLANTAS DE ABSORCIÓN CON AMONIACO	89
ANEXO B REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN. INTERÉS ENERGÉTICO E IMPACTO AMBIENTAL	96
ANEXO C REFRIGERACION POR ABSORCION	122
ANEXO D. PLANOS ELECTRICOS	132
ANEXO E. SECUENCIA DE ENCENDIDO	136

RESUMEN

TÍTULO:

INSTRUMENTACION DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION POR ABSORCION ROBUR CON FINES DIDACTICOS¹

AUTORES:

Leonardo Esteban Pacheco Sandoval
Liliana Andrea Silva Benavides**

PALABRAS CLAVES:

Absorción, refrigeración, ROBUR, banco didáctico.

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto de grado implementa un banco didáctico para el estudio de la refrigeración por absorción, empleando la unidad enfriadora SERVEL-ROBUR que se encuentra instalada en el laboratorio de mecánica de fluidos de la Universidad Industrial de Santander.

El desarrollo del proyecto hizo necesaria la instrumentación (manómetros, termocuplas e interruptores de secuencia) de la unidad existente con el fin de tomar datos de presiones y temperaturas que permitan verificar la correcta operación de la unidad y observar la respuesta del equipo ante una falla predeterminada.

El proyecto contiene una descripción detallada del proceso del refrigerante y de todos los elementos constitutivos de la unidad enfriadora, identificando los diferentes subsistemas que posee el equipo y la interacción entre ellos.

Además se hace una descripción detallada de cada uno de los elementos de control (ubicación, función y características técnicas) y la secuencia de operación del sistema de control de la unidad.

Se describen labores de mantenimiento a seguir para lograr una mayor durabilidad de los elementos constitutivos de la unidad y su correcta operación.

Finalmente se hace alusión al panel de control elaborado describiendo las secciones y su finalidad, este panel permite el seguimiento de la secuencia de encendido y la inducción de fallas por medio de los interruptores de secuencia instalados. Se proponen también unas fichas o formatos a seguir para el desarrollo de la práctica del laboratorio de refrigeración por absorción.

.

¹ Trabajo de grado

** Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Omar Gélvez

SUMMARY

TITLE:

INSTRUMENTACION DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION POR ABSORCION ROBUR CON FINES DIDACTICOS²

AUTHORS:

Leonardo Esteban Pacheco Sandoval
Liliana Andrea Silva Benavides

KEY WORDS:

Absorption, Refrigeration, ROBUR, Media toll.

DESCRIPTION:

This grade project implements a didactic console for the study of the refrigeration for absorption, using the cooling unit SERVEL-ROBUR that is installed in the laboratory of mechanics of fluids of Industrial University of Santander.

The development of the project made necessary the instrumentation (gauges, termocuples and sequence switches) of the existent unit with the purpose of taking data of pressures and temperatures that allow to verify the correct operation of the unit and to observe the answer of the team before a predetermined flaw.

The project contains a detailed description of the process of the refrigerating agent and of all the constituent elements of the cooling unit, identifying the different subsystems that it possesses the team and the interaction among them.

A detailed description is also made of each one of the control elements (location, function and technical characteristics) and the sequence of operation of the system of control of the unit.

Maintenance works are described to continue to achieve a bigger durability of the constituent elements of the unit and their correct operation.

Finally allusion is made to the elaborated control panel describing the sections and its purpose, this panel allows the pursuit of the ignition sequence and the induction of flaws by means of the installed sequence switches. They also intend some records or formats to continue for the development of the practice of the refrigeration laboratory for absorption.

² Degree Work

** Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Omar Gélvez

INTRODUCCION

En la etapa de reestructuración que adelanta la escuela de ingeniería mecánica, se hace evidente la necesidad de contar con conocimientos de tipo experimental, que permitan en el futuro desempeño como ingenieros reaccionar de forma adecuada ante situaciones de falla en los equipos que estén a nuestro cargo, teniendo en la escuela la posibilidad de disponer de bancos que permitan simular situaciones reales, se podrán adquirir destrezas en cuanto a las habilidades a la hora de resolver situaciones de este tipo.

El presente trabajo de grado, pretende constituirse en una herramienta para el aprendizaje y análisis de un sistema de refrigeración por absorción, mediante la implementación de un tablero de control al equipo de refrigeración por absorción SERVEL-ROBUR ya existente en la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander, que permita inducir fallas de tipo eléctrico, simulando mal funcionamiento de los dispositivos de control con que opera el equipo. Actualmente los equipos de refrigeración por absorción a pesar de ser atractivos debido al menor costo operativo, no son tan comúnmente usados como los equipos de refrigeración por compresión de vapor, dado que el desconocimiento de estos sistemas a hecho que el mantenimiento sea costoso; de ahí el interés por difundir un conocimiento que sin duda se convertirá en una ventaja frente a otros ingenieros que no tienen la posibilidad de conocer sobre estos sistemas de forma practica durante su formación.

El tablero de control implementado se basa en el funcionamiento del sistema de control del equipo, el cual permite la inducción de fallas en cada uno de los

elementos del sistema de control y de potencia. El panel se presenta dividido en tres secciones a saber: sección de plano eléctrico, sección de inducción de fallas y sección de seguimiento del funcionamiento de los dispositivos ordenados de acuerdo a la secuencia de operación, así se puede percibir la manipulación del sistema eléctrico de forma segura y amena para los estudiantes.

1. IMPORTANCIA DE LA REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

1.1 JUSTIFICACION

Actualmente existen dos tipos de sistemas para la refrigeración y el acondicionamiento del aire los cuales son: la refrigeración por compresión de vapor y la refrigeración por absorción; el primero de estos métodos es el mas usado actualmente debido al menor costo inicial de la instalación y también al conocimiento mas difundido sobre la operación y mantenimiento de dicho sistema; por otro lado el sistema refrigeración por absorción a pesar de tener un costo inicial mas alto cuenta con ventajas significativas que lo hacen más interesante económicamente hablando, dado que dichos sistemas son accionados mediante energía térmica que entre otras cosas es mas barata que otros tipos de energía como las fósiles o eléctrica, para el uso en la producción frigorífica; además teniendo en cuenta que los equipos de refrigeración por absorción son especialmente útiles para recuperar calor de desecho, y esta particularidad no solo hace posible la utilización de energías térmicas que serían evacuadas a la atmósfera de no utilizarse estos sistemas para su recuperación y aprovechamiento, sino que además al mismo tiempo, evitan el consumo de energías mas caras, entonces de alguna manera se da lugar a un doble ahorro de energía; uno por la recuperación de energías desechables y otro por la reducción de consumos primarios en la producción de energía eléctrica.

Además del menor costo operativo, cabe comentar la posibilidad de utilizar fuentes de energía no convencionales como la Geotérmica, la Biomasa y la Solar Térmica como aporte energético a las plantas de absorción, ventaja que supone la independencia de fuentes convencionales de energía y, sobre todo, el ahorro de combustibles fósiles y la reducción del impacto ambiental que su uso conlleva.

Este proyecto de grado pretende dejar en la escuela de ingeniería mecánica una herramienta didáctica que favorezca la transferencia y aplicación de conceptos adquiridos durante la formación académica en el campo de la refrigeración; direccionando el trabajo de grado para que se convierta en una fuente de difusión del sistema de refrigeración por absorción que ofrece muchas ventajas pero debido a su desconocimiento es mínima su aplicación.

Para la confrontación de este problema en la actualidad solo se cuenta con visitas técnicas, las cuales sin la adecuada formación teórico-práctica serían improductivas; la deficiencia en la formación teórico-práctica se presenta por la marcada centralización de la información por parte de los fabricantes, ya que la información acerca de la operación y mantenimiento de los equipos está disponible solamente en manuales que poseen quienes adquieren dichos equipos. Supliendo esta deficiencia las visitas se convierten en una herramienta completaría de gran valor en la formación profesional.

Considerando estas razones se propone una herramienta que supla la deficiencia formativa presente; dicha herramienta constará de una unidad de refrigeración Robur- Servel modelo ACC 36-00 disponible en la escuela de ingeniería mecánica, a la cual se le implementarán una serie de equipos de medición que permitirán tomar datos de presiones y temperaturas en ciertos puntos del proceso en cualquier instante; además se instalarán en un tablero de control una serie de luces e interruptores que indicaran si los diferentes elementos del sistema de control están activos o no y permitirán simular fallos en la operación normal del sistema, abriendo o cerrando los pasos de corriente en las diferentes líneas.

El interés de la difusión de dicho sistema, además de ser una técnica prácticamente desconocida, se debe a que este sistema de refrigeración considera dos factores que en este momento influyen fuertemente en las

decisiones de los proyectistas, que son: el uso racional de la energía y el impacto ambiental.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 **Objetivo general.**

Acorde con la misión de la Universidad Industrial de Santander y la Escuela de Ingeniería Mecánica de formar personas de alta calidad profesional se plantea el desarrollo de una herramienta para facilitar la formación profesional en el área de la refrigeración por absorción.

1.2.2 **Objetivos específicos:**

- Implementar un banco didáctico de pruebas para el laboratorio de refrigeración, partiendo del equipo de refrigeración por absorción SERVEL ACC 36-00 con capacidad de 15000 [Kcal/h] existente, para lo cual se requiere:
 - Acondicionar el sistema de control eléctrico del banco a un panel para facilitar la comprensión de la función de los diferentes elementos
 - Instrumentar el sistema de refrigeración por absorción para identificar las presiones y temperaturas del gas combustible, de la mezcla amoníaco-agua que sirve como refrigerante, y del agua en puntos significativos del proceso (Seis manómetros y cinco termocuplas).
- Realizar y documentar 3 pruebas de laboratorio para un mejor conocimiento del funcionamiento del sistema:

- Conocimiento del proceso (Identificación de elementos y funcionamiento del sistema)
 - Interruptor de retardo de tiempo
 - Transformador
 - Interruptor de alta temperatura del generador
 - Interruptor de vela
 - Interruptor de agua helada
 - Control de encendido
 - Encendedor
 - Interruptor de flujo
 - Válvula dual de gas

- Elementos de control y su función en el sistema.
- Operación normal del sistema.

2 DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD ENFRIADORA DE AGUA POR ABSORCIÓN MARCA ROBUR

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD ENFRIADORA DE AGUA ROBUR SERIE ACC 60- 00.

El equipo de refrigeración usado, es la unidad enfriadora de agua Servel-Robur modelo ACC 60-00, esta unidad cuenta con ciertas características que la hacen superior frente a un equipo de refrigeración por compresión de vapor de tipo convencional; dichas características son:

2.1.1 **Confiabilidad.** Su sistema de refrigeración es hermético. La única parte móvil es la bomba de solución hermética tipo diafragma. Por lo tanto su costo de mantenimiento es reducido.

2.1.2 **Enfriado por aire.** El equipo es diseñado para instalarse al aire libre no requiriendo agua de enfriamiento.

2.1.3 **Economía.** Usa gas natural para la producción de frío. Para el movimiento de la bomba de agua fría incorporada y el ventilador del condensador, se utiliza corriente monofásica.

2.1.4 **Flexibilidad.** Produce agua fría permitiendo gran flexibilidad en las instalaciones de aire acondicionado. Se puede aplicar en sistemas sencillos, fan-coils, combinación de agua fría con calentador de gas, también en sistemas más sofisticados y zonificados como instalaciones para centros de cómputo, laboratorios y usos industriales. Aplicando varios equipos en paralelo, se obtienen instalaciones medianas de bajo costo operativo y de inversión.

El equipo utiliza como refrigerante una solución de amoníaco y como absorbente el líquido usado es agua.

La tabla 1 muestra las especificaciones técnicas de la unidad dadas por el fabricante.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de la unidad enfriadora de agua por absorción marca ROBUR modelo ACC 60-00.

ESPECIFICACIONES	MODELO ACC 60-00
DATOS DE FUNCIONAMIENTO	
CONSUMO DE GAS	$3.4 \frac{Nm^3}{h}$
CAPACIDAD	$15000 \frac{Kcal}{h}$
TEMP. AIRE DE CONDENSACION	35 °C
TEMP. ENTRADA DE AGUA FRIA	12.8 °C
TEMP. SALIDA DE AGUA FRIA	7.2 °C
CAUDAL DE AGUA FRIA MAXIMO	3500 l/h
CAUDAL DE AGUA FRIA NOMINAL	2720 l/h
ALT. MANOMETRICA BOMBA DE AGUA FRIA	7.6 m.c.a
DIMENSIONES GENERALES	
ANCHO	850 mm
LARGO	1235 mm
ALTO	1075 mm
CONEXIÓN ENTRADA DE AGUA	1"
CONEXIÓN SALIDA DE AGUA	1"
CONEXIÓN DE GAS	$\frac{1}{2}$ "
PESO	350 kg

DATOS ELÉCTRICOS	
TENSIÓN	220V
TENSIÓN EN EL CONTROL	24V
POTENCIA MOTOR VENTILADOR	0.5HP

Fuente: Manual de aplicación Servel por Robur.

La siguiente tabla se utiliza para conocer la capacidad del enfriador, dado que esta varia dependiendo de la temperatura ambiente y la temperatura de salida del agua fría.

Tabla 2. Capacidad de la unidad enfriadora de agua por absorción marca ROBUR modelo ACC 60- 00 en función de la temperatura de salida del agua y de la temperatura de entrada del aire al condensador.

CAPACIDAD $\left[\frac{kcal}{h} \right]$				
Temperatura de Salida del agua [°C]	Temperatura de entrada del aire al condensador [°C]			
	32.2	35	37.8	40.6
10	15590	15350	14750	13750
8.6	15420	15180	14590	13600
7.2	15360	15120	14210	12850
5.8	15300	15010	13890	12100
4.4	15120	14710	12850	9830

Fuente: Manual de aplicación Servel por Robur

2.2 DIMENSIONES DE LA UNIDAD DE REFRIGERACION SERVEL-ROBUR.

La unidad Robur ACC 60 – 00 se observa en la Fig. 1; y las dimensiones se especifican en sus vistas lateral y frontal en las figuras 2 y 3.

La unidad cuenta con un área llamada panel de servicios, esta es la zona de la unidad donde se ubican las entradas y salidas del agua, la entrada del gas y electricidad, y un orificio para la manguera de nivel de agua; los detalles y dimensiones de este panel se muestran en la figura 4, y los valores numéricos se especifican en la tabla 3.

Figura 1. Unidad enfriadora ROBUR modelo ACC 60 – 00.



Figura 2. Vista lateral de la unidad enfriadora ROBUR modelo ACC 60 – 00.

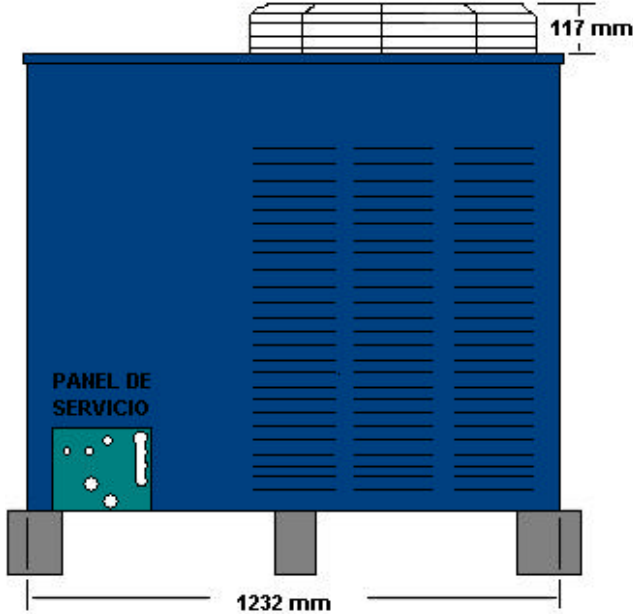


Figura 3. Vista frontal de la unidad enfriadora ROBUR modelo ACC 60– 00.

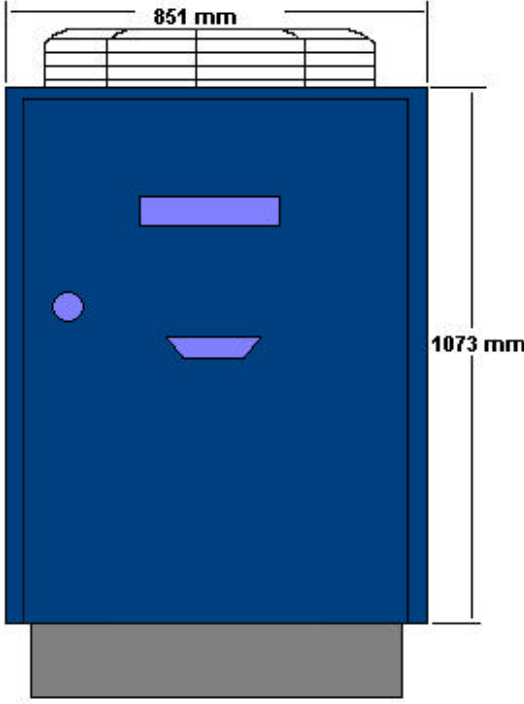


Figura 4. Panel de servicios de la unidad enfriadora de agua ROBUR modelo ACC 60 – 00.

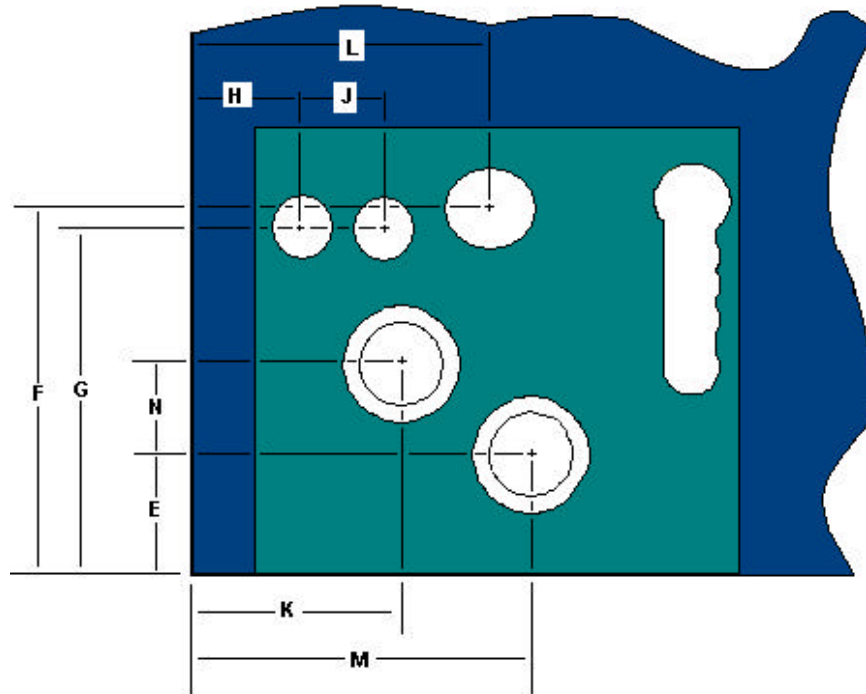


Tabla 3. Dimensiones del panel de servicios de la unidad enfriadora ROBUR modelo ACC 60 – 00.

LETRA	MEDIDA [mm]
M	189
K	117
E	68
N	51
G	192
F	211
H	64
J	46
L	157

Fuente: Manual de aplicación Servel por Robur.

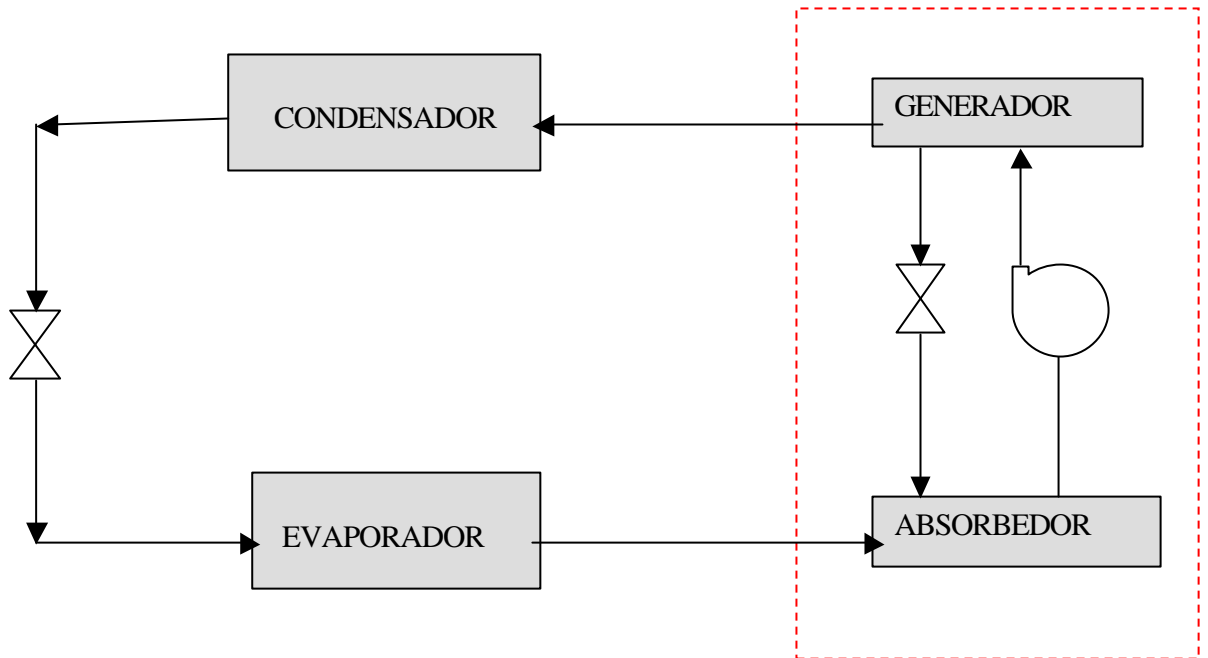
2.3 CICLO BASICO DE OPERACIÓN.DE UN SISTEMA DE REFRIGERACION POR ABSORCION

Los ciclos de absorción se basan físicamente en la capacidad que tienen algunas sustancias, tales como el agua y algunas sales como el Bromuro de Litio, para absorber, en fase líquida, vapores de otras sustancias tales como el Amoniac y el agua, respectivamente.

A partir de este principio es posible concebir una máquina en la que se produce una vaporación con la consiguiente absorción de calor, que permite el enfriamiento de un fluido secundario en el intercambiador de calor que actúa como evaporador, para acto seguido recuperar el vapor producido disolviendo una solución salina o incorporándolo a una masa líquida. El resto de componentes e intercambiadores de calor que configuran una planta frigorífica de Absorción, se utilizan para transportar el vapor absorbido y regenerar el líquido correspondiente para que la evaporación se produzca de una manera continua. En los ciclos de absorción hablamos siempre de agente absorbente, designando así a la sustancia que absorbe los vapores, y de agente refrigerante, o agente frigorífico, a la sustancia que se vapora y da lugar a una producción frigorífica aprovechable. Serían absorbentes el agua y la solución de Bromuro de Litio, y refrigerantes el Amoniac y el agua destilada, en los ciclos de absorción Agua-Amoniac y Bromuro de Litio-Agua, respectivamente.

En la máquina de absorción se produce un proceso de la siguiente forma: El refrigerante, agua o amoniac, se evapora en el evaporador tomando el calor de cambio de estado del fluido que circula por el interior del haz tubular de este intercambiador. Los vapores producidos se absorben por el absorbente, agua o solución de bromuro de litio, en un proceso de disolución endotérmico que requiere de refrigeración externa para que la solución se mantenga en condiciones de temperatura correctas y no aumente la presión en la cámara en la que se produce la absorción y que se denomina Absorbedor.

Figura 5. Esquema de un ciclo de refrigeración por absorción



En este circuito de refrigeración externa se utilizan normalmente torres de refrigeración de agua de tipo abierto o cerrado. El agua enfriada en la torre se hace circular a través del interior del haz tubular de otro intercambiador que se encuentra situado en el interior de la cámara del absorbedor y sobre el que se rocía el absorbente para facilitar el proceso de la absorción. La masa de absorbente conteniendo el refrigerante absorbido se transporta, mediante bombeo, hasta otro intercambiador de calor cuya función es separar el refrigerante del absorbente, por destilación del primero. Este intercambiador de calor se denomina Concentrador o Generador y es de tipo inundado. Por su haz tubular se hace circular el fluido caliente, normalmente agua o vapor de agua, que constituye la fuente principal de energía para el funcionamiento del ciclo de absorción, y que procede como efluente de cualquier tipo de proceso en el que se genere calor residual. En el concentrador se produce la ebullición del refrigerante, que se separa del

absorbente y que como consecuencia aumenta su concentración, en el caso de solución salina, o su pureza cuando se trata de agua, para que pueda ser utilizado de nuevo en el proceso de absorción. El flujo de absorbente vuelve al absorbedor siguiendo un camino mas o menos diferente según cada tipo de máquina, mientras que el flujo de vapores del refrigerante destilado en el concentrador pasa, por simple diferencia de presión, a otro intercambiador de calor por el interior de cuyo haz tubular circula agua procedente también de la torre de refrigeración, y que se denomina condensador porque alrededor de su haz tubular se produce la condensación de los vapores del agente frigorífico para volver al estado líquido. El líquido obtenido en el condensador se canaliza hacia la cámara de evaporador, por gravedad y por diferencia de presión, ya que esta se encuentra a una presión inferior a la de la cámara del condensador. El refrigerante, agua o amoniaco, se evapora en el evaporador tomando el calor de cambio de estado del fluido que circula por el interior del haz tubular de este intercambiador. Los vapores producidos se absorben por el absorbente, agua o solución de bromuro de litio, en un proceso de disolución endotérmico que requiere de refrigeración externa para que la solución se mantenga en condiciones de temperatura correctas y no aumente la presión en la cámara en la que se produce la absorción y que se denomina Absorbedor.

La comprensión del funcionamiento del equipo es el primer paso para una correcta operación, diagnóstico de fallas y su respectiva solución.

2.4 COMPONENTES DE LA UNIDAD DE REFRIGERACION POR ABSORCION SERVEL-ROBUR

Las presiones de operación están principalmente determinadas por la temperatura del aire ambiente que circula por la serpentina del condensador-absorbedor. La separación de las presiones es mantenida durante la

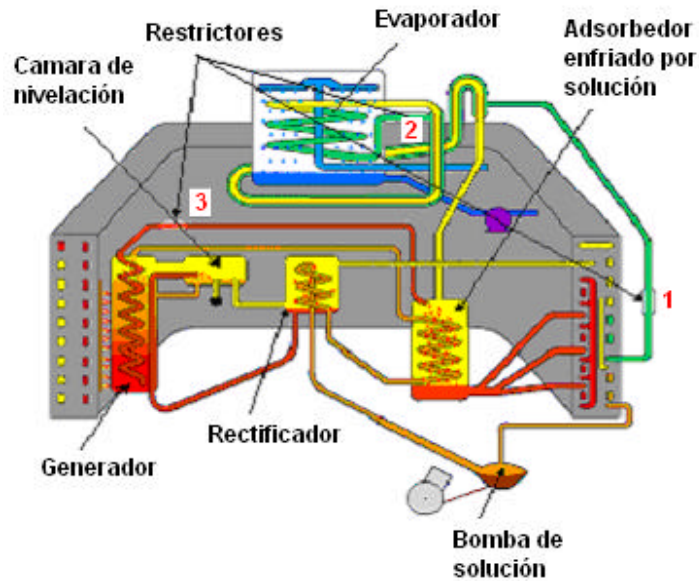
operación por restrictores ubicados en el circuito de refrigerante y en la línea de solución débil, y por una bomba de solución en la línea de solución fuerte.

Los componentes de la unidad SERVEL-ROBUR pueden clasificarse en tres grandes grupos como sigue:

- ❖ Elementos constitutivos del sistema de baja presión:
 - Evaporador.
 - Absorbedor enfriado por solución.
 - Absorbedor enfriado por aire.
- ❖ Elementos auxiliares que determinan los niveles de presión.
 - Bomba de solución.
 - Restrictores.
 - Restrictor 1.
 - Restrictor 2.
 - Restrictor 3.
- ❖ Elementos constitutivos del sistema de alta presión:
 - Generador.
 - Nivelador.
 - Rectificador.
 - Condensador.

En la figura 6 se muestra un esquema de la unidad enfriadora de agua ROBUR, en el cual se identifican los elementos lo elementos de la unidad y el tipo de solución que maneja cada componente como se especifica en la tabla 4.

Figura 6. Esquema básico de la unidad enfriadora de agua ROBUR.



Fuente: Manual de aplicación Servel por Robur

Tabla 4. Convención de colores para el esquema de una unidad enfriadora absorción ROBUR.

Color	Tipo de solución	Concentración
Naranja	Solución fuerte	Rica en amoníaco
Rojo	Solución débil	Pobre en amoníaco
Amarillo	Refrigerante vapor	Amoníaco
Verde	Refrigerante líquido	Amoníaco
Azul	Agua fría	Carga térmica

Manual de aplicación Servel por Robur.

La operación de la unidad ROBUR es como sigue:

El calor de la llama hace hervir la solución del generador provocando vapores de amoníaco con poco agua, el vapor fluye hacia la cámara niveladora en donde se reduce su velocidad y se condensa parte del agua. La alta presión en el generador impulsa la solución débil a través de un restrictor hacia el

absorbedor; el vapor sigue hacia el rectificador en donde se condensa agua con una pequeña cantidad de amoníaco, el líquido condensado a la temperatura del rectificador vuelve al generador por efecto de termosifón. El vapor refrigerante entra en el serpentín de condensador enfriado por aire en donde se enfría y se condensa, el líquido refrigerante circula por la camisa exterior del intercambiador de calor y es enfriado por el vapor frío que circula por la parte interna; el líquido refrigerante entra al evaporador a través del segundo restrictor en donde se expande a la presión de baja.

La serpentina del evaporador esta rociada por el agua que retorna del sistema de aire acondicionado, esta evapora el refrigerante a baja temperatura entregando el calor de la instalación al equipo, el agua enfriada cae al fondo del tanque donde es bombeada nuevamente. El refrigerante evaporado pasa por la parte interna del subenfriador de líquido y entra en el absorbedor; la solución débil proveniente del generador es enfriada por la solución fuerte fría que circula por el serpentín para poder mezclarse con el vapor de amoníaco. La absorción de los vapores de amoníaco por la solución débil se realiza dentro del serpentín del absorbedor enfriado por aire, la bomba de solución impulsa la solución fuerte hacia el generador y así se completa el ciclo

2.4.1 Elementos constitutivos del sistema de baja presión. Se le llama sistema de baja presión al conjunto de componentes que trabajan en un rango de presión que varía entre 35 y 60 psi , presiones que corresponden a temperaturas de evaporación de -5 y 5°C, respectivamente. Varía según la temperatura del aire y la carga térmica

EVAPORADOR. Este componente es también un intercambiador de calor, ver figura 7. En él, el refrigerante se evapora al absorber calor del medio a enfriar. Se podría pensar que en el evaporador siempre hay vapor, lo cual no

es cierto, pues está lleno de líquido que evapora al recibir calor del recinto que se enfría. El evaporador es alimentado por el líquido refrigerante que viene desde el condensador y pasa por la válvula de expansión. En el sistema por absorción, el vapor de refrigerante, producido en el evaporador, pasa al absorbedor. Los tipos de evaporadores más conocidos son: evaporador de casco y tubos, evaporador de expansión directa, evaporador inundado y evaporador seco, en donde el refrigerante está en forma de gotas.

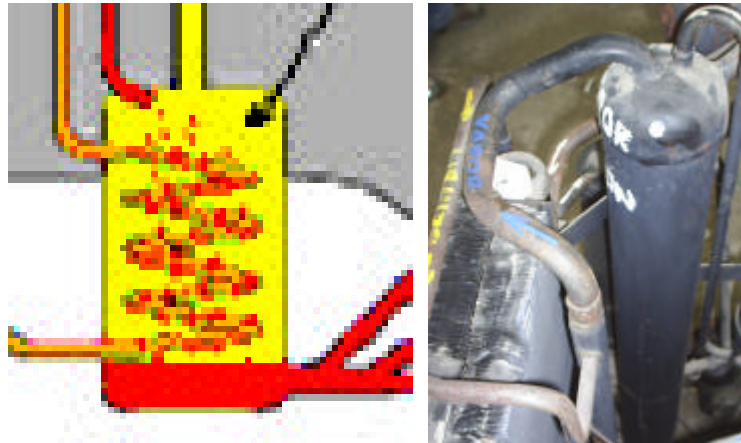
Figura 7. Evaporador de la unidad ROBUR.



ABSORBEDOR. El vapor de refrigerante llega a esta parte donde es absorbido mediante una reacción exotérmica con la solución pobre que había en el generador y que pasa hasta aquí a través de una válvula de estrangulamiento. El líquido resultante con alto contenido de refrigerante, es impulsado por una bomba que lo lleva nuevamente al generador donde de nuevo comienza el ciclo. El absorbedor es un dispositivo en el que el vapor del fluido refrigerante, es absorbido por un líquido absorbente, resultando una solución líquida. En este componente, el líquido que actúa como absorbente, absorbe el refrigerante vaporizado procedente del evaporador, produciendo calor, es decir, la formación de esta solución líquida es exotérmica. Como la cantidad de refrigerante que puede disolverse en agua aumenta cuando la temperatura de la solución disminuye, alrededor del absorbedor circula agua

de refrigeración para retirar la energía liberada al entrar el refrigerante en la solución y mantener la temperatura del absorbedor lo más baja posible. La solución rica deja el absorbedor y entra en la bomba, donde aumenta su presión hasta el generador. En la figura 8 se muestra un esquema interno del absorbedor y una fotografía del absorbedor de la unidad.

Figura 8. Absorbedor enfriado por solución de la unidad ROBUR.



2.4.2 Elementos auxiliares que determinan los niveles de presión. La separación de las presiones es mantenida durante la operación del equipo por medio de restrictores en el circuito de refrigeración y en la línea de la solución débil, y por las válvulas de la bomba de solución en la línea de la solución concentrada.

BOMBA DE SOLUCIÓN. La bomba es el dispositivo encargado de hacer circular la solución rica en refrigerante desde el absorbedor hasta el generador, para así cerrar el ciclo, es del tipo de desplazamiento positivo a diafragma de teflón accionado mediante pulsaciones hidráulicas producidas por una bomba hidráulica. La capacidad para pulsar el líquido hidráulico va de 0 a 400 lb/pulg².

Figura 9. Bomba de solución

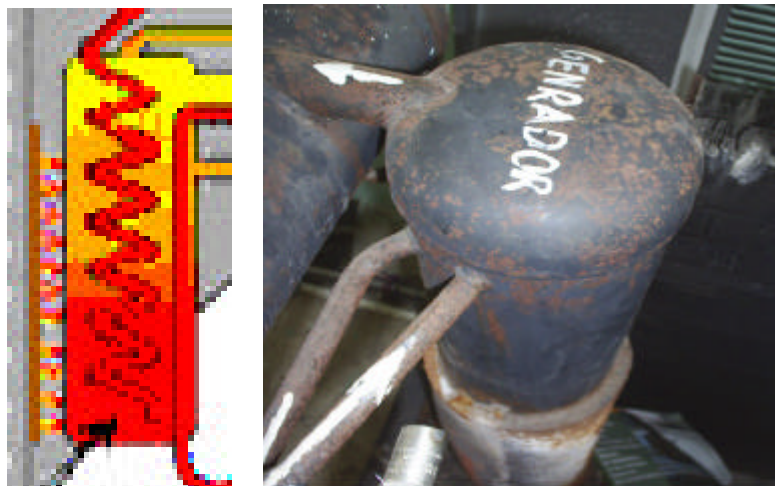


RESTRICTORES. Dado que en los sistemas de refrigeración por absorción se manejan dos presiones: presión de alta, en generador, rectificador y condensador; y presión de baja, en el evaporador y condensador; es necesario utilizar dispositivos que produzcan una caída de presión o resistencia deliberada en una línea al reducir la sección transversal del flujo. Estos dispositivos se llaman restrictores y se pueden considerar como separadores de presiones de alta y baja.

2.4.3 Elementos constitutivos del sistema de alta presión. Se le llama sistema de alta presión al conjunto de componentes que trabajan en un rango de presión que oscila entre 200 y 300 psi presiones que corresponden a temperaturas de condensación de 38 y 54°C, respectivamente. La alta está determinada principalmente por la temperatura del aire ambiente.

GENERADOR. La mezcla rica que proviene del absorbedor es calentada mediante una fuente térmica que suministra un calor, el cual hace evaporar el refrigerante y pasa al condensador donde se licua; a continuación pasa por una válvula de estrangulamiento (Restrictor 2, disminuyendo su presión, y llega al evaporador donde se vaporiza al extraer el calor del espacio a enfriar. En el generador se produce un aumento de la temperatura de la solución con lo que se desprende vapor de refrigerante quedando la solución débil por falta de este compuesto. La solución débil, caliente, va al absorbedor y el vapor pasa al condensador donde se licua al liberar calor al medio exterior. En la figura 10 se muestra un esquema interno del generador y una fotografía del generador de la unidad.

Figura 10. Generador de la unidad enfriadora ROBUR



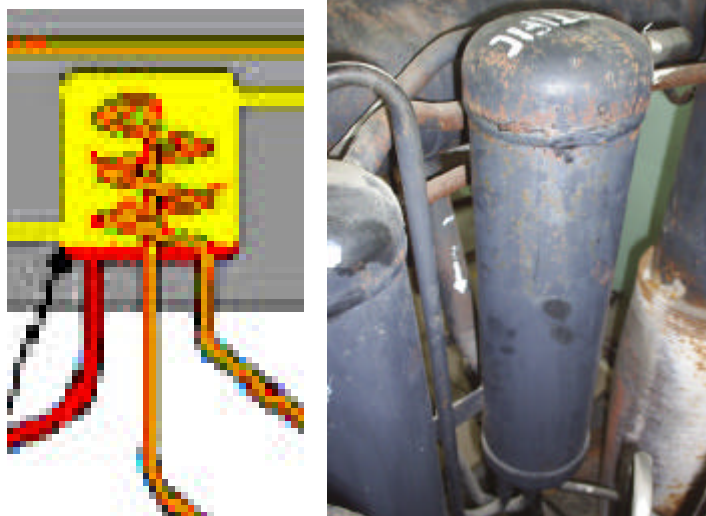
CÁMARA DE NIVELACIÓN. Es donde se reduce su velocidad del vapor refrigerante ocasionando así la separación de gotas arrastradas y pasar el vapor refrigerante al rectificador. Una ilustración de la cámara de nivelación se muestra en la figura 11

Figura 11. Cámara niveladora de la unidad ROBUR.



RECTIFICADOR. Es un dispositivo colocado entre el generador y el condensador, su función es retirar los restos de líquido absorbente que aún están mezclados con el vapor de refrigerante, antes de entrar en el condensador, lo que elimina la posibilidad de la formación de hielo, en el caso de que el absorbente fuera agua, en la válvula de expansión y en el evaporador lo que conllevaría, muy seguramente, a la obstrucción de tuberías. En la figura 12 se muestra un esquema interno del rectificador y una fotografía del rectificador de la unidad.

Figura 12. Rectificador de la unidad ROBUR



CONDENSADOR. Un condensador es un intercambiador de calor. Existe poca diferencia técnica entre un condensador de un sistema de compresión de vapor y uno de absorción. La diferencia radica en que en el primer caso este componente recibe vapor caliente de refrigerante a alta presión del compresor, mientras que en el sistema por absorción es recibido del generador y rectificador. En ambos casos, en el condensador el vapor se enfría por aire o agua hasta llevarlo al estado líquido. Existen varios tipos de condensadores, entre los cuales están: condensador de casco y tubos, condensador de casco y serpentín, condensador enfriado por agua, condensador enfriado por aire y condensador evaporativo, siendo este último una combinación de un condensador atmosférico y una torre de enfriamiento de tiro forzado, donde el haz de tubos se encuentra dentro de la torre.

Para resumir el ciclo de operación destacaremos lo siguiente:

- ❖ El sistema es de dos presiones.

- ❖ La alta está determinada principalmente por la temperatura del aire ambiente. Oscila entre 200 y 300 psi presiones que corresponden a temperaturas de condensación de 38 y 54°C, respectivamente.

- ❖ La baja varía entre 35 y 60 psi , presiones que corresponden a temperaturas de evaporación de -5 y 5°C, respectivamente. Varía según la temperatura del aire y la carga térmica.

- ❖ La separación de las presiones es mantenida durante la operación del equipo por medio de restrictores en el circuito de refrigeración y en la línea de la solución débil, y por las válvulas de la bomba de solución en la línea de la solución concentrada.

2.5 COMPONENTES ASOCIADOS A LA UNIDAD REFRIGERACION POR ABSORCION SERVEL-ROBUR

Los componentes asociados a la unidad SERVEL-ROBUR encargados del manejo del agua son:

- ❖ Tanque de enfriamiento del agua.
- ❖ Bomba de agua fría.
- ❖ Rotámetro.

2.5.1 Tanque de enfriamiento del agua. Es el tanque donde se encuentra la serpentina del evaporador la cual esta rociada por el agua que retorna del sistema del aire acondicionado. Esta evapora el refrigerante a baja temperatura entregando el calor de la instalación el equipo. El agua enfriada cae al fondo del tanque desde donde es bombeada nuevamente a la instalación.

Figura 13. Tanque de enfriamiento del agua.



2.5.2 Bomba de agua fría. La bomba, es marca BARNES tipo caracol modelo c-210, con una cabeza de 35 PSI y un caudal de 12 GPM en su punto de optimo de operación. Cuenta con un motor de 1 HP y 3450 rpm. Toma el agua enfriada por la unidad y la impulsa hacia la unidad manejadora de aire

pasando por el rotámetro. El agua menos fría retorna a la unidad enfriadora donde se cierra el circuito.

Figura 14. Bomba de agua fría

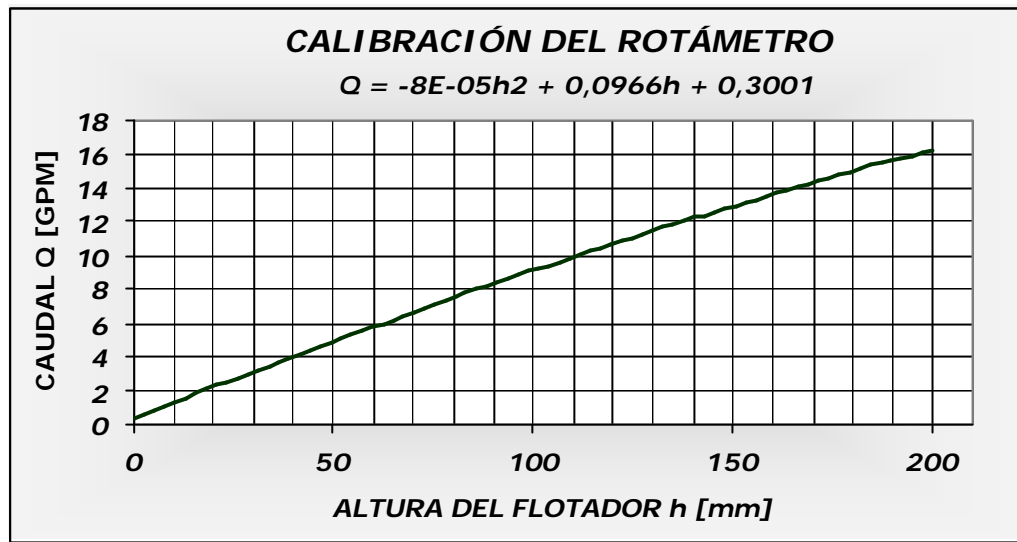


2.5.3 **Rotámetro.** El rotámetro, conectado en serie con la bomba de agua fría se utiliza para medir y controlar el caudal que la unidad enfriadora debe manejar. Está ubicado en la columna norte del laboratorio. La calibración del rotámetro arrojó la gráfica que se muestra en la figura 15

Figura 15. Rotámetro.



Figura 16. Gráfica de calibración del rotámetro, caudal en GPM en función de la altura del flotador cm



2.6 SISTEMA DE GAS.

Hace referencia a los dispositivos encargados del adecuado suministro y regulación de gas combustible (gas natural) a la unidad enfriadora; este sistema consta de tres elementos:

2.6.1 Válvula reguladora de presión de gas. La presión de gas natural de suministro no es siempre constante y, siempre, se encuentra a una presión mucho más alta de la que se requiere en el distribuidor. El regulador de gas hace bajar la presión a nivel debido (pulgadas de columnas de agua) y mantiene una presión constante a la salida cuando el gas circula hacia la válvula de gas. Muchos reguladores pueden ajustarse bajo una escala de presiones de varias pulgadas de columnas de agua. La presión aumenta cuando el tornillo de ajuste gira en el sentido de las agujas del reloj; disminuya cuando dicho tornillo gira en el sentido contrario de las agujas del reloj. Algunos de estos reguladores tienen posibilidades de ajustes limitadas y otros no admiten regulación alguna.

Figura 17. Válvula reguladora de presión de gas.



2.6.2 **Válvula dual de gas.** La válvula dual de gas es un control combinado:

- ✓ Una llave de paso tipo disco.
- ✓ Una válvula solenoide.
- ✓ Un regulador de presión.

La válvula solenoide está conectada al circuito de 24V del sistema de comando, abre y cierra la válvula eléctricamente.

El regulador de presión está diseñado para operar en un rango de presiones de suministro de 125 a 280 mm de c.a. con gas natural, y de 280 a 360 con gas propano. En caso de funcionamiento defectuoso del operador (tapa) de la válvula, este puede ser reemplazado. Si el defecto se debe a algún otro componente se deberá reemplazar la válvula completa.

2.6.3 **Quemador.** El quemador que utiliza la unidad es de tipo atmosférico, como la mayor parte de los utilizados ya que las mezclas de gas y aire se encuentran bajo la presión atmosférica cuando están encendidas. El gas entra debidamente medido en el quemador a través del orificio. La velocidad del gas trae el aire primario a través del orificio.

El diámetro del tubo del quemador se reduce cuando el gas pasa a través del mismo para inducir el paso del aire. Esta reducción del diámetro del quemador se conoce por ventura. La mezcla de gas y aire pasa a través del ventura al tubo de mezcla donde se juntan gas y aire para lograr una mejor combustión. La mezcla va forzada por su propia velocidad a la salida del quemador donde se inflama a medida que sale.

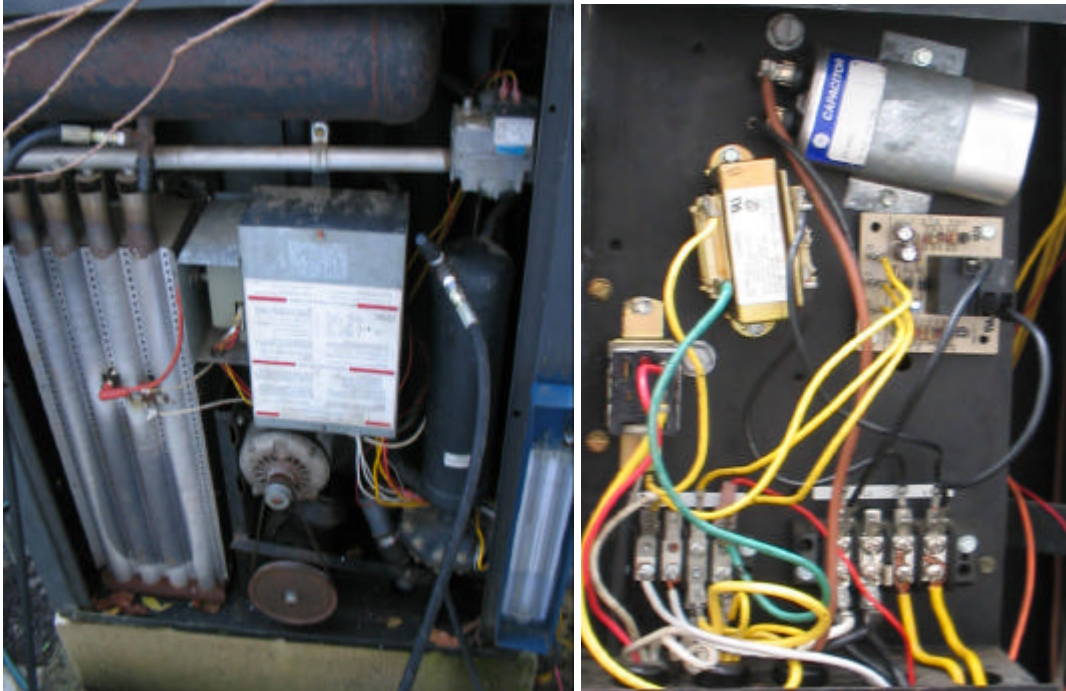
2.7 SISTEMA DE CONTROL Y POTENCIA

La unidad cuenta con una caja de control que se muestra en la Fig.18; ubicada a un lado del quemador; en esta caja de control se encuentran los dispositivos encargados del encendido y correcta operación de la unidad. Además cuenta con un sistema de potencia el cual es operado por el sistema de control. Los sistemas de control y potencia están constituidos por:

- ❖ Sistema de control. Es el que permite mantener correctamente la condición del aire, esto implica el control de varios componentes como son:
 - Interruptor de retardo de tiempo.
 - Transformador.
 - Interruptor de alta temperatura del generador.
 - Interruptor vela.
 - Interruptor de agua helada.
 - Sistema de encendido eléctrico.
 - Interruptor de flujo.
 - Válvula dual de gas.

- ❖ Sistema de potencia.
 - Motor del ventilador.
 - Motor de la bomba de agua fría.
 - Motor de la bomba de solución.

Figura 18. Caja de control de la unidad enfriadora ROBUR modelo ACC 60 – 00.



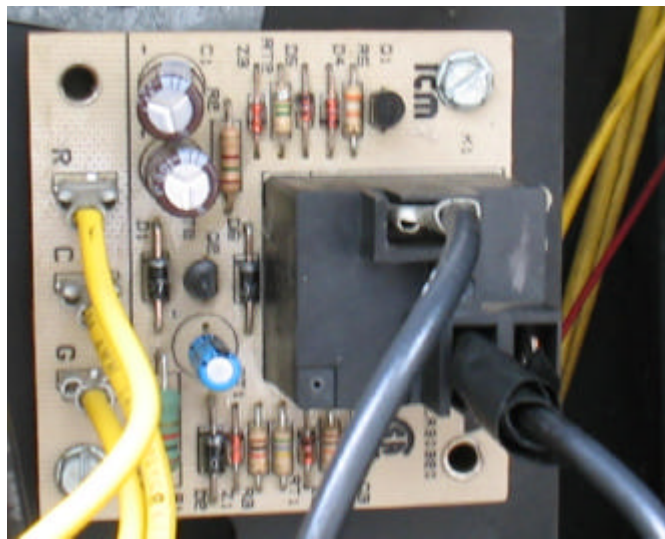
2.7.1 Sistema de control El sistema de control es el encargado de que los dispositivos de control se pongan en marcha y se paren automáticamente a su debido tiempo. Los elementos del sistema de control se describen a continuación:

2.7.1.1 Interruptor de retardo de tiempo. El interruptor o relevador de retardo de tiempo, esta montado en el panel de control del enfriador; el propósito de este relevador es el de permitir que el enfriador opere durante 3 minutos y 15 segundos (nominal) después de que el termostato interrumpe la operación del quemador. (Existe un retraso de un segundo (nominal) entre el tiempo en que se cierra el interruptor del termostato para encender la unidad y el tiempo en que arranca la unidad).

El elemento de calentamiento para el interruptor bimetálico esta conectado al circuito de alto voltaje y el interruptor esta en el circuito de bajo voltaje y controla la operación de el relevador.

BAJO NINGUNA CIRCUNSTANCIA SE DEBE OPERAR LA UNIDAD SI EL RELEVADOR ESTA PUENTEADO ELECTRICAMENTE O DEFECTUOSO.

Figura 19. Interruptor de retraso de tiempo



2.7.1.2 Transformador

La unidad viene equipada con un transformador de 40 VA. Cuando los aparatos externos de control (relevador de tiempo, válvulas motorizadas, luces de señalización, etc.) consumen corriente del transformador del equipo, debe cuidarse que el consumo total de estos aparatos no supere los 0.75 A.

Figura 20. Transformador 220 / 24 V



2.7.1.3 Interruptor de alta temperatura del generador. Este interruptor esta localizado en la cabeza de la entrada inferior del generador de agua caliente.

Este interruptor esta conectado al circuito de 24 Volts. La conexión esta hecha entre las terminales “ R “ de las dos cajas de control, de tal forma que todo el circuito de bajo voltaje de la unidad se desenergiza si el interruptor se abre.

El propósito de este interruptor es el de detener la operación de la unidad si la temperatura del generador se eleva demasiado debido a la perdida de circulación de agua.

El interruptor es de restablecimiento manual y se debe enfriar antes de que se pueda restablecer. El interruptor se abrirá cuando la temperatura del generador llegue a 170 °F.

BAJO NINGUNA CIRCUNSTANCIA SE DEBE OPERAR LA UNIDAD SI EL INTERRUPTOR ESTA PUENTEADO ELECTRICAMENTE, FLOJO DE SU POSICION DE MONTAJE, O DEFECTUOSO.

Figura 21. Interruptor de alta temperatura del generador



2.7.1.4 Interruptor vela. El interruptor vela esta montado en el cajón del serpentín en el lado derecho de la unidad y abajo del abanico del condensador.

El propósito del interruptor es el de mantener cerrada la válvula principal del gas hasta que se pruebe la operación del abanico del condensador y el de cerrar dicha válvula si el abanico se detiene.

El interruptor esta conectado en serie a la válvula principal del gas. El movimiento del aire inducido por la operación del abanico del condensador, provoca que la vela se levante y haga el corte, cerrando el circuito de la válvula principal del gas.

Si el interruptor tiene algún defecto tiene que ser reemplazado.

BAJO NINGUNA CIRCUNSTANCIA SE DEBE OPERAR LA UNIDAD SI EL INTERRUPTOR ESTA PUENTEADO ELECTRICAMENTE O DEFECTUOSO.

Figura 22. Interruptor vela

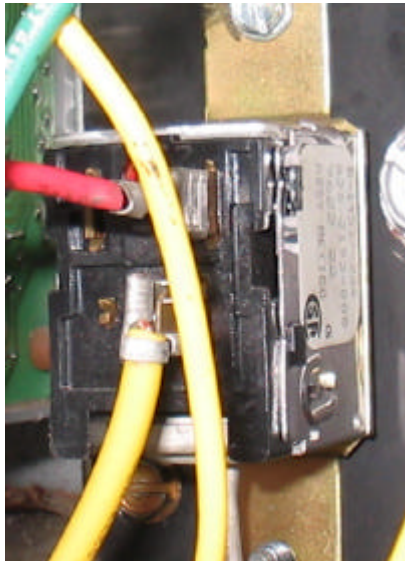


2.7.1.5 Interruptor de agua helada. El cuerpo del interruptor limite de agua helada esta montado en el panel de control. El tubo capilar esta instalado en la línea de agua helada entre el tanque del enfriador y la sección de succión de la bomba.

El propósito de este interruptor es el de detener la operación del quemador si la temperatura de agua helada de salida baja a $40^{\circ}\text{F} \pm 2^{\circ}\text{F}$ aproximadamente. El interruptor se restablecerá automáticamente cuando la temperatura suba a $44^{\circ}\text{F} \pm 2^{\circ}\text{F}$ aproximadamente.

BAJO NINGUNA CIRCUNSTANCIA SE DEBE OPERAR LA UNIDAD SI EL INTERRUPTOR ESTA PUENTEADO ELECTRICAMENTE, SI EL TUBO CAPILAR SE HA QUITADO DE SU POSICION DE MONTAJE O SI ESTA DEFECTUOSO.

Figura 23. Interruptor de agua helada

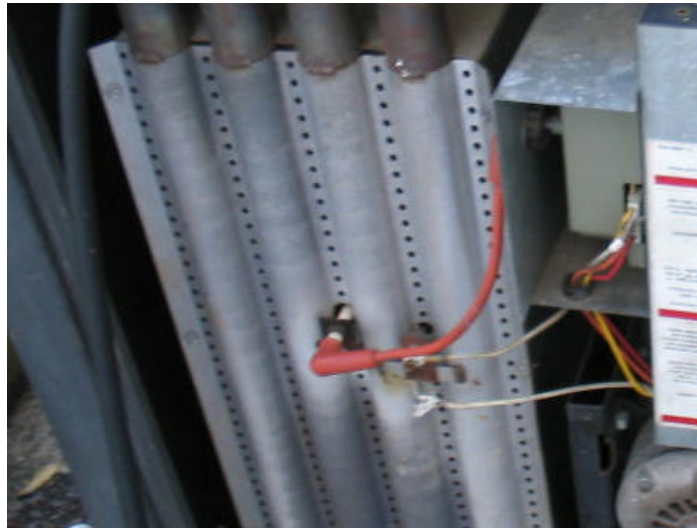


2.7.1.6 **Sistema de encendido eléctrico.** La unidad cuenta con un sistema directo de encendido por chispa el cual consiste de un sistema de control, un encendedor por chispa, un sensor de flama y cables para conexiones.

El sistema de control o control de encendido esta montado cerca del quemador. El encendedor y el sensor están montados en el quemador.

Los enfriadores tienen encendido por chispa directa en el quemador principal. El control de encendido suministra una Corriente alterna de alta tensión a la bujía de encendido, para iniciar la combustión de la mezcla aire – combustible, cuando esta requiera. La corriente alterna se suministra por un periodo de 11 segundos. Si no se tiene flama en el primer intento, el control intentara dos veces mas y luego se bloqueara, cerrando la válvula dual de gas. Esto se conoce como modulo de control de encendido de tres intentos. Si no se tiene flama principal, entonces se requiere un procedimiento de reestablecimiento manual antes de reanudar la operación del quemador, se debe des-energizar eléctricamente el sistema y luego volver a energizarlo.

Figura 24. Sistema de encendido eléctrico



2.7.1.7 **Interruptor de flujo.** El interruptor de flujo esta montado a la salida del tanque de agua fría. El propósito de este interruptor es el de apagar los quemadores en caso de que haya una perdida de flujo de agua fría. El interruptor de flujo esta calibrado para desconectarse en una caída de flujo y conectarse en un aumento. Bajo ninguna circunstancia se debe operar la unidad si el interruptor de flujo esta puenteado eléctricamente.

Figura 25. Interruptor de flujo



2.7.1.8 **Válvula dual de gas.** La válvula dual de gas es un control combinado:

- ✓ Una llave de paso tipo disco.
- ✓ Una válvula solenoide.
- ✓ Un regulador de presión.

La válvula solenoide está conectada al circuito de 24V del sistema de comando, abre y cierra la válvula eléctricamente.

El regulador de presión esta diseñado para operar en un rango de presiones de suministro de 125 a 280 mm de c.a. con gas natural, y de 280 a 360 con gas propano. En caso de funcionamiento defectuoso del operador (tapa) de la válvula, este puede ser reemplazado. Si el defecto se debe a algún otro componente se deberá reemplazar la válvula completa.

BAJO NINGUNA CIRCUNSTANCIA DEBERA SER OPERADO EL EQUIPO ESTANDO ESTE CONTROL DEFECTUOSO.

Figura 26. Válvula dual de gas.



2.7.2 **Sistema de potencia.** La bomba de agua fría opera con una altura manométrica de 7,6 m.c.a y tiene un motor de 1 hp a 3450 rpm(ver 2.5.2 bomba de agua fría).

El ventilador del condensador tiene un motor de 0,5 hp; tanto el motor del ventilado como el de la bomba trabajan a 220 V.

3. DATOS SOBRE EL MANTENIMIENTO Y ANALISIS DE LA UNIDAD

Los componentes que suministra el fabricante están proyectados para muchos años de servicio normal; sin embargo estos componentes fallan por defectos de fabricación y mal uso de los mismos, es por esto que se hace necesario llevar a cabo un servicio de mantenimiento mediante revisiones periódicas que permita soslayar aquellos fallos que podrían originar averías.

El mantenimiento puede ser de dos tipos preventivo y correctivo; para la unidad de refrigeración las labores de mantenimiento preventivo son:

- ❖ Mantenimiento general de la unidad.
- ❖ Verificación de funcionamiento de los dispositivos básicos del sistema.
- ❖ Limpieza del generador
- ❖ Limpieza de las serpentinas del condensador - absorbedor

Y las labores de mantenimiento correctivo son:

- ❖ Análisis de la unidad según el comportamiento de los manómetros
- ❖ Mantenimiento de la bomba hidráulica.

Además existe una operación que se hacen necesaria cuando se quiere poner en funcionamiento la unidad:

- ❖ Carga del refrigerante.

3.1 MANTENIMIENTO GENERAL DE LA UNIDAD

Las causas más frecuentes de requerimiento de servicio se deben a la disminución parcial o total de la capacidad de enfriamiento de los equipos.

Para detectar rápidamente la falla, el técnico de servicio debe seguir en orden exacto el siguiente procedimiento.

1. Verificar el aspecto general de la instalación, las bases y niveles de la unidad. Si hubiere una mancha amarilla (inhibidor de la solución) u olor a amoníaco, esto puede indicar una fuga en la unidad sellada.
2. Controlar que no haya obstáculos tales como arbustos, hojas que vayan a dificultar la circulación del aire a través del condensador-absorbedor.
3. Controlar el ventilador del absorbedor: sus soportes, libertad de giro, estado de las mensuras, etc.

Figura 27. Ventilador de la unidad



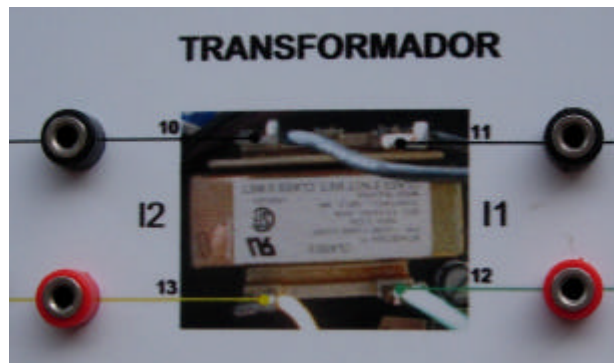
4. Desmontar el cubre poleas y verificar el estado de la correa. Reemplazarla si fuere necesario.
5. Sacar la tapa de la bomba Hidráulica y verificar el nivel de líquido. El nivel apropiado es de 30mm. Desde el borde del cabezal abierto.

Si el nivel es extremadamente bajo, no agregar aceite hasta que se determine la causa, si hay una pérdida, debe ser reparada.

PRECAUCIÓN: Si hay pérdida aparente de líquido hidráulico y la bomba está con muy bajo nivel, y se percibe un extraño olor a amoníaco en la bomba hidráulica, significa que el diafragma de la bomba puede estar roto. Debe ser reparado.

6. Cerrar la válvula de gas
7. Controlar el nivel de agua en el tanque del enfriador, y la cañería de agua fría.
8. Controlar la unidad de tratamiento de aire
 - a) Estado de los filtros.
 - b) Estado de las correas del ventilador.
 - c) Limpieza de las serpentinas.
 - d) Limpieza del desagüe del condensado
9. Suministrar fuerza motriz nuevamente a la instalación y ponerla en marcha mediante su sistema de comando.
10. Si el enfriador no arranca en 45 segundos, controlar el suministro de fuerza motriz (llaves Fusibles). Si el suministro de electricidad es normal, continuar con los trabajos de verificación en el tablero de la unidad como se indica a continuación
11. Con un voltímetro; controlar la tensión de fuerza motriz (220V).
12. Con un voltímetro controlar que la tensión entre los bornes R y O del tablero sea de 24V. Si no hay lectura cambiar el transformador.

Figura 28. Borne para la medición de los voltajes de 24V y 220V.



13. Controlar el voltaje entre R y el borne sin número. Si hay lectura de voltaje entre estos dos puntos, indica que el control del límite de alta temperatura esta abierto, hay que reponerlo mediante su botón de reposición.
14. Controlar el voltaje entre R e Y, ver Figura 29. Esta lectura debe ser cero. La presencia de voltaje indica que hay un cable del termostato roto, o un problema en el termostato, o su sub-base, o en el relay de control del enfriador.

Figura 29. Terminales R, Y y O.



Si las verificaciones eléctricas realizadas indican que el sistema de comando esta en orden y la unidad no opera eléctricamente, esto indica que el relay de tiempo está defectuoso. Controlar la tensión a través de la bobina del relay R1. Si es de 24V la bobina está defectuosa, si no hay tensión el defecto está

en el relay de tiempo. Si el ventilador no arranca, controlar el capacitor y el motor.

15. Detener la unidad. Verificar la limpieza de las serpentinas del condensador y absorbedor, inspeccionar la totalidad de las superficies y el espacio entre ellas, pues pueden estar limpias de un lado y sucias del otro. Limpiar de acuerdo a las instrucciones.
16. Controlar el sistema de agua fría, su limpieza, nivel de agua, y caudal de agua. Realizar los ajustes que fuesen necesarios.
17. Controlar la altura del ventilador del condensador. Ajustar si es necesario.
18. Controlar el estado del generador, quemador, sistema de encendido y orificios.
19. Con la unidad operando eléctricamente, abrir la válvula de gas (posición "ON"), ver figura 31. El quemador tiene que encender, si esto no ocurre controlar el sistema de encendido.

Figura 30. Válvula dual de gas



20. Conectar el voltímetro entre los terminales de la válvula de gas, si no hay tensión, el control de flujo de aire esta abierto.
 - a) Si hubiese 24V y la válvula de gas no abre, reemplazar el operador de la válvula de gas.

21. Con la unidad operando eléctricamente y el quemador encendido, girar el termostato a la posición "OFF" o desconectar el cable Y del tablero. La válvula de gas debe cerrarse.
 - a) NOTA: teniendo el equipo operando con su quemador encendido nunca debe ser detenido cortando el suministro de fuerza motriz (220V).
22. Los motores del ventilador y de accionamiento de las bombas, continúan funcionando durante un periodo mínimo de tres minutos y un máximo de cuatro después de detener la unidad por circuito de comando. Si funcionan menos de tres o más de cuatro minutos, reemplazar el relay de tiempo.
23. Energizar nuevamente el circuito de 24V. Con un voltímetro controlar los terminales de la válvula de gas. Si hay voltaje antes de que arranque el ventilador, indica que el contacto de control de flujo de aire está pegado y por lo tanto debe ser reemplazado.
24. Controlar el suministro de 220V de la unidad.
25. Verificar el nivel del líquido de la bomba hidráulica.
26. Energizar nuevamente la unidad (circuito de 220V y 24V).
27. Ajustar el consumo de gas. de acuerdo con las instrucciones.
28. Apoyando firmemente la palma de la mano sobre la boca de llenado de la bomba hidráulica, se sentirán las pulsaciones de la misma. El número de pulsaciones por minuto es de 104. Si no se sienten las pulsaciones proceder según (3.6)
29. Dejar operar la unidad por un tiempo mínimo de 15 minutos, con su equipo de aire en marcha para asegurar la carga térmica. La circulación de aire a través de todas las rejillas de alimentación y retorno debe ser correcta.
30. Efectuar un control completo del acondicionador de aire, serpentina, ventilador, como así también los caudales de aire y de agua fría.

31. Ajustar la velocidad del aire para obtener una diferencia de temperaturas de 10°C a 12°C. Entre retorno y alimentación.
32. La diferencia de temperatura entre alimentación y retorno de agua debe ser 4°C-5.5°C.
33. Si la diferencia de temperatura de agua fría a través de la unidad es menor de 4.5°C con el caudal de agua nominal, significa que el equipo no enfría lo suficiente. Purgarlo según instrucciones (3.5.8).
34. Controlar la calibración del control de agua fría con un voltímetro en los terminales del control. Si hay lectura de voltaje el control está abierto.
 - a) El control de temperatura de agua fría debe abrir a 4.4°C y cerrar a 6°C -7°C.
 - b) NOTA: Si la carga térmica es grande, puede ser necesario disminuir el caudal de aire del acondicionador a efectos de alcanzar una temperatura de salida de de agua fría de 4°C.

3.2 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS BASICOS DEL SISTEMA.

La verificación de Los componentes básicos de la unidad resultará sencillo si se realiza de acuerdo con el siguiente procedimiento.

El no cumplimiento del orden establecido puede ocasionar análisis incorrecto.

NOTA: Durante la realización de los pasos 1. al 5:

Se debe desconectar el cable rojo del termostato de agua fría en los Equipos de encendido eléctrico.

1. Circulación de aire a través del condensador.
2. Nivel de la unidad.
3. Caudal de aire a través del acondicionador (carga térmica)
4. Caudal de agua.

5. Calibración y operación de los controles
6. Suministro de gas
7. Pulsación de la bomba de solución
8. Cortar el termostato o desconectar el cable del borne "Y".
9. Dejar que el equipo se detenga con su ciclo normal de retardo. Dejarlo detenido durante 10 minutos como mínimo.
10. Durante este período conectar los manómetros.
 - a.) Usar manómetros con mangueras para cargar. Conectar los manómetros de baja al absorbedor y a la succión de la bomba de solución y el de alta al generador.
 - b.) Cerrar las válvulas de los manómetros.
 - c.) Abrir $\frac{1}{4}$ de vuelta las tres válvulas de servicio de la unidad.

3.3 LIMPIEZA DEL GENERADOR

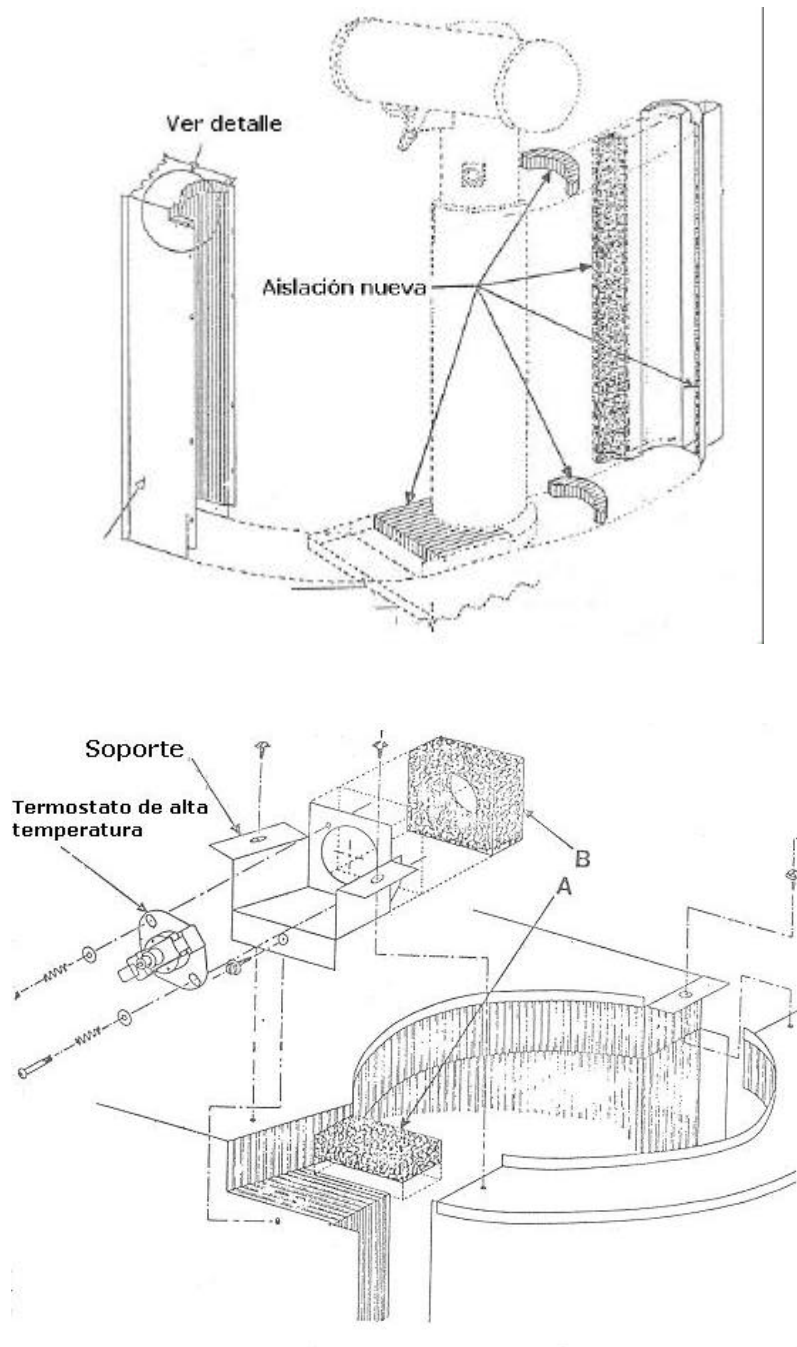
Para llevar a cabo las labores de limpieza se debe seguir el siguiente procedimiento en estricto orden.

1. Cortar el suministro de gas y electricidad de la unidad.
2. Desmontar el panel superior y el panel frontal.
3. desmontar los soportes izquierdos del motor del ventilador.
4. Desmontar el panel lateral izquierdo.
5. Desconectar los cables del sensor de llama y de la bujía de encendido.
6. Desmontar el quemador.
7. Desmontar la chapa protectora que hay entre el generador y el tablero.
8. Desmontar el cubre correa.
9. Sacar la correa en V.
10. Desconectar los cables del motor de la bomba.
11. Vaciar la bomba hidráulica.
12. Desconectar la línea hidráulica de la bomba.

13. Desconectar la bomba de agua fría.
14. Sacar el sistema de accionamiento de las bombas.
15. Sacar la chapa que separa el generador del tanque de agua fría.
16. Sacar el termostato de alta temperatura del generador, cuidando no dañar el aislamiento.
17. Desarmar la envoltura frontal del generador.
18. Sacar hacia arriba la envoltura frontal.
19. Sacar hacia arriba la envoltura trasera del generador.
20. Con un cepillo blando limpiar el aislamiento de la envoltura del generador.
No usar agua.
21. Con un cepillo de alambre limpiar las aletas del generador.
22. Instalar la envoltura trasera nuevamente.
23. Instalar la envoltura frontal nuevamente.
 - a) Colocarla en su posición correcta.
 - b) Colocar la plancha "A" de aislamiento con cuidado. Tiene que ser ubicada entre la aleta del generador y el soporte de control de alta temperatura.
 - c) Colocar el control de alta temperatura en su soporte sin ajustarlo
 - d) Colocar el aislamiento protector "B" sobre el termostato de alta temperatura. Controlar que no haya aislamiento entre el control y el generador.
24. Fijar firmemente el control de alta temperatura a su soporte.
25. Reinstalar las partes desmontadas en orden inverso.
26. Controlar todos los ajustes y operación de la unidad.

En la figura 31 se ilustra el generador desarmado listo para su limpieza.

Figura 31. Desarme del generador para su limpieza.



3.4 LIMPIEZA DE LAS SERPENTINAS DEL CONDENSADOR-ABSORBEDOR.

Las serpentinas del condensador y absorbedor enfriado por aire conforman una unidad que comparten las aletas de enfriamiento, como se ilustra en la figura 32.

La capacidad de refrigeración del equipo disminuye sensiblemente cuando las serpentinas del condensador y absorbedor se encuentran sucias. Se recomienda inspeccionarlas y limpiarlas periódicamente.

Procedimiento de limpieza.

1. Cortar el suministro de gas y electricidad de la unidad.
2. Desmontar todos los paneles.
3. Desmontar el collar superior en U de las serpentinas.
4. Quitar la suciedad, con un cepillo, de la superficie exterior de la serpentina del absorbedor y de la superficie interior del condensador.
5. Usando agua a presión, lavar las serpentinas desde adentro hacia afuera y de arriba hacia abajo.
6. Posicionando la manguera de agua hacia abajo, entre las dos serpentinas, lavarlas en toda su longitud.
7. Lavar nuevamente las serpentinas de adentro hacia afuera.
NOTA: Si se utilizan líquidos detergentes para la limpieza, tener cuidado que los solventes no dañen las aletas de aluminio o su pintura.
8. Inspeccionar las serpentinas para controlar su limpieza.
9. Armar los paneles.

Figura 32. Serpentina del condensador absorbedor



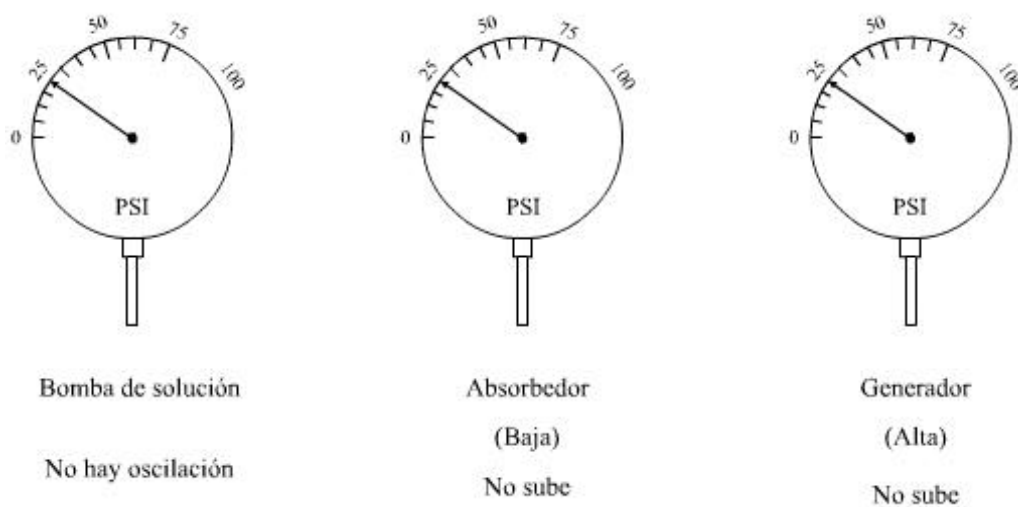
3.5 ANÁLISIS DE LA UNIDAD SEGÚN EL COMPORTAMIENTO DE LOS MANOMETROS.

Algunas de las fallas de la unidad pueden evaluarse a partir de la observación del comportamiento de los manómetros. A continuación haremos enumeraremos los casos que pueden llegar a presentarse y las posibles causas

- ❖ Comportamiento de los manómetros cuando se presenta Store out del refrigerante, ver figura 33.
- ❖ Comportamiento de los manómetros cuando se presenta el Store out de solución., ver figura 34.
- ❖ Comportamiento de los manómetros cuando el restrictor de solución parcialmente tapado, ver figura 35.
- ❖ Comportamiento de los manómetros cuando el restrictor de la solución está tapado, ver figura 36

- ❖ Comportamiento de los manómetros cuando hay acomodo incorrecto de la válvula de control de flujo o la válvula check de la bomba de solución, ver figura 37.
- ❖ Comportamiento de los manómetros cuando la válvula de control de flujo de la bomba hidráulica está defectuosa, ver figura 38
- ❖ Comportamiento de los manómetros cuando el restrictor del refrigerante está tapado, ver figura 39.
- ❖ Comportamiento de los manómetros cuando hay fugas en el absorbedor enfriado por solución, ver figura .40
- ❖ Comportamiento de los manómetros cuando hace falta refrigerante, ver figura 41.
- ❖ Comportamiento de los manómetros cuando hay exceso de refrigerante, ver figura 42.
- ❖ Comportamiento de los manómetros cuando la solución esta baja, ver figura 43
- ❖ Comportamiento de los manómetros cuando hay exceso de solución, ver figura 44

Figura 33. Comportamiento de los manómetros cuando se presenta Store out del refrigerante



NOTA: Las líneas punteadas indican las presiones al arrancar la unidad

Figura 34. Comportamiento de los manómetros cuando se presenta el Store out de solución

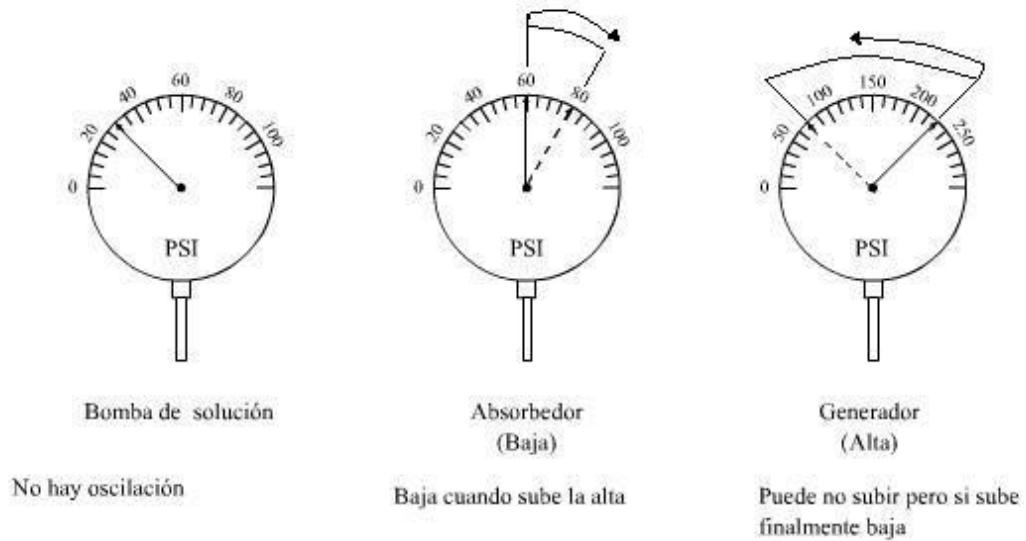


Figura 35. Comportamiento de los manómetros cuando el restrictor de solución parcialmente tapado

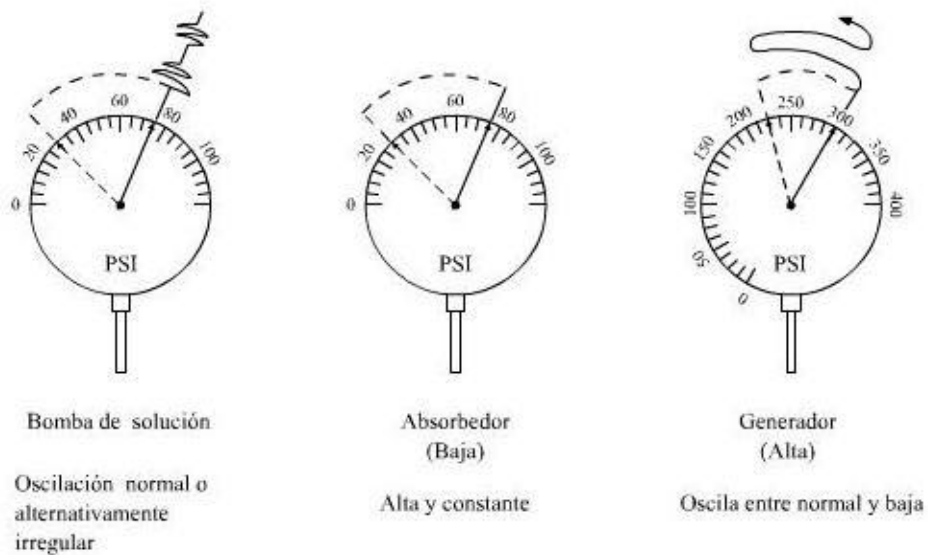
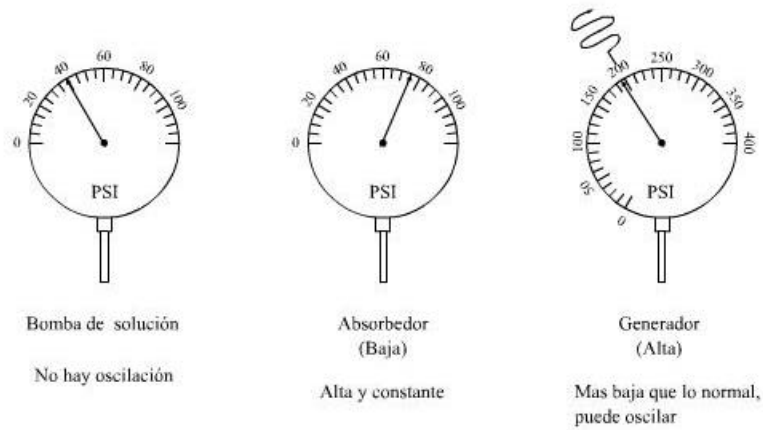
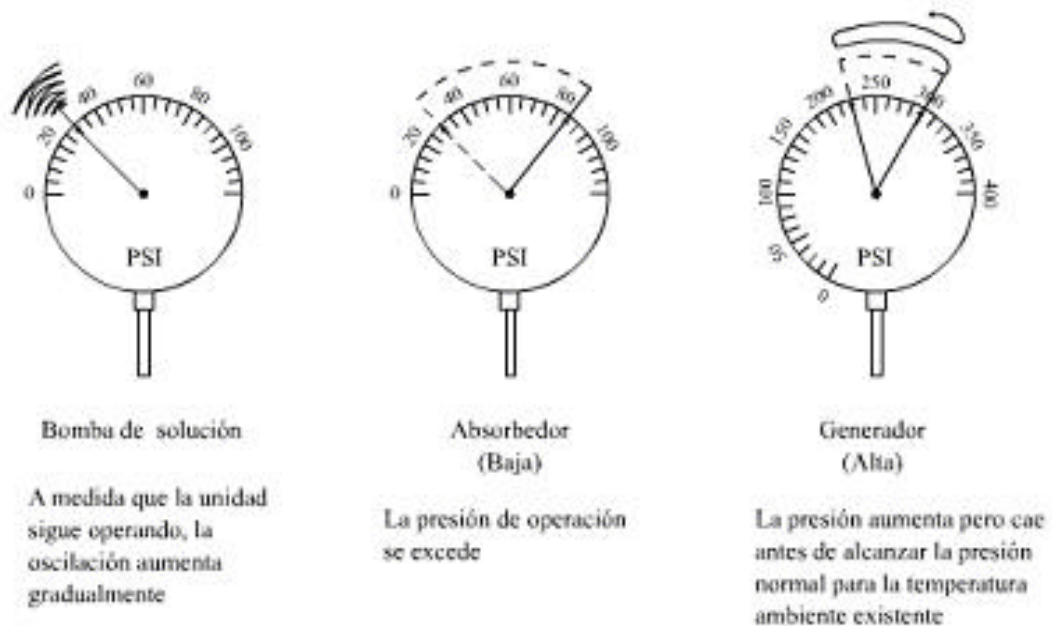


Figura 36. Comportamiento de los manómetros cuando el restrictor de la solución está tapado



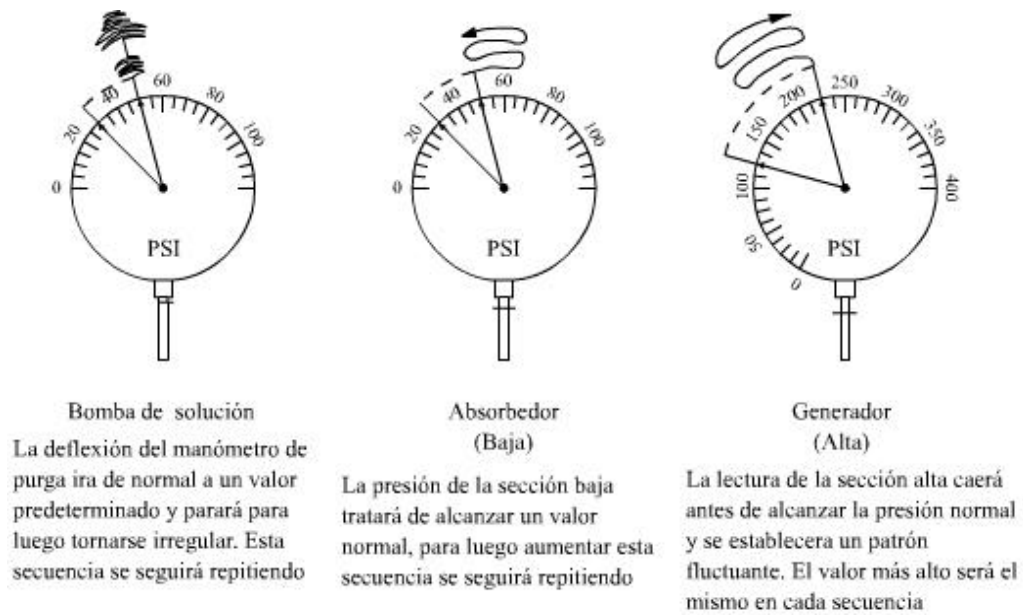
En los dos casos anteriores el restrictor de la solución debe ser remplazado.

Figura 37. Comportamiento de los manómetros cuando hay acomodo incorrecto de la válvula de control de flujo o la válvula check de la bomba de solución



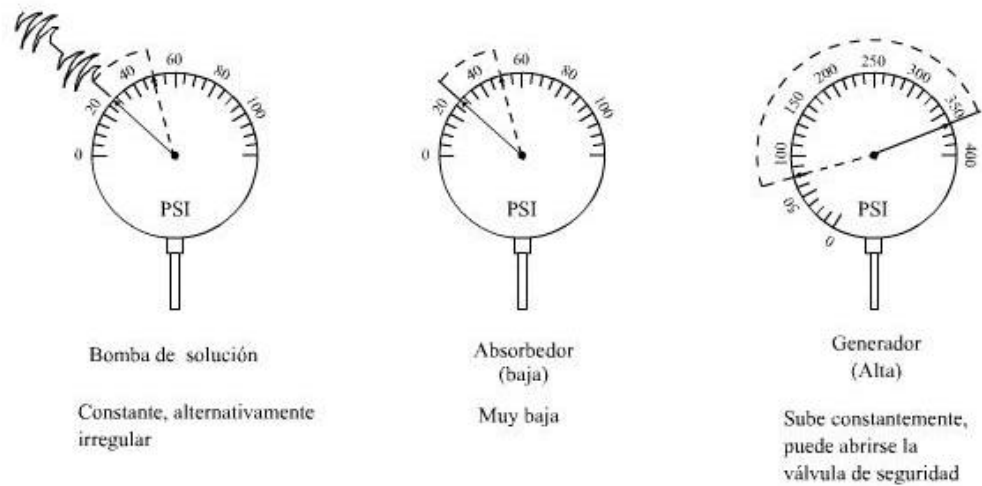
Si se presenta el caso de la figura 37 primero se debe revisar la válvula de control de flujo, si el patrón de presiones continua, cambie la bomba de solución.

Figura 38. Comportamiento de los manómetros cuando la válvula de control de flujo de la bomba hidráulica está defectuosa



Si se presenta el caso de la figura 38 la válvula de control de flujo debe ser cambiada.

Figura 39. Comportamiento de los manómetros cuando el restrictor del refrigerante está tapado

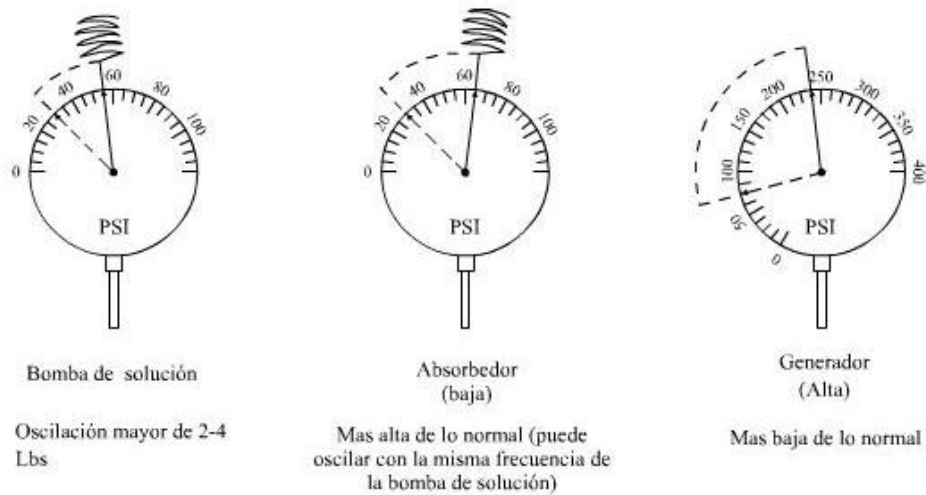


Si se presenta el caso de la figura 39, quiere decir que el restrictor del refrigerante está tapado. Y debe ser cambiado

Otro síntoma de que el restrictor del refrigerante está tapado es la congelación del caño de líquido en la restricción. En este caso el restrictor debe ser cambiado.

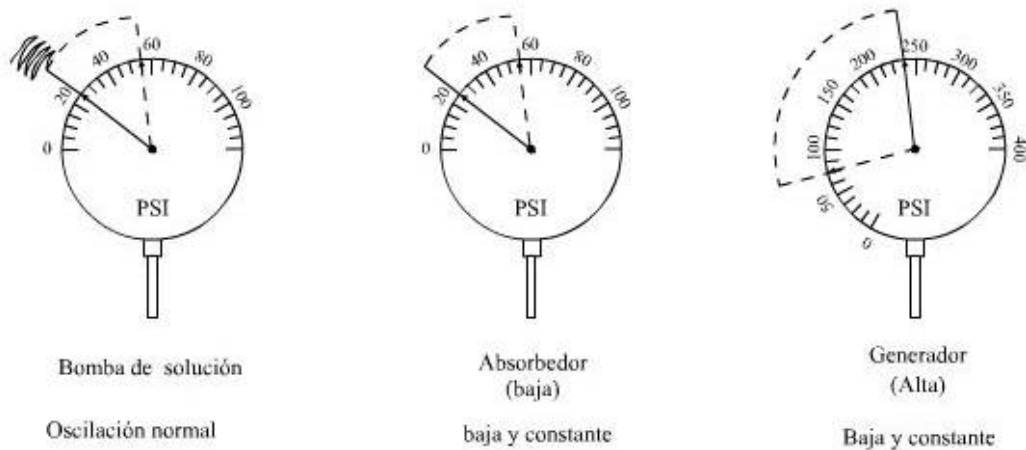
NOTA: Cortar el gas si la presión de alta se acerca a 400 psi.

Figura 40. Comportamiento de los manómetros cuando hay fugas en el absorbedor enfriado por solución



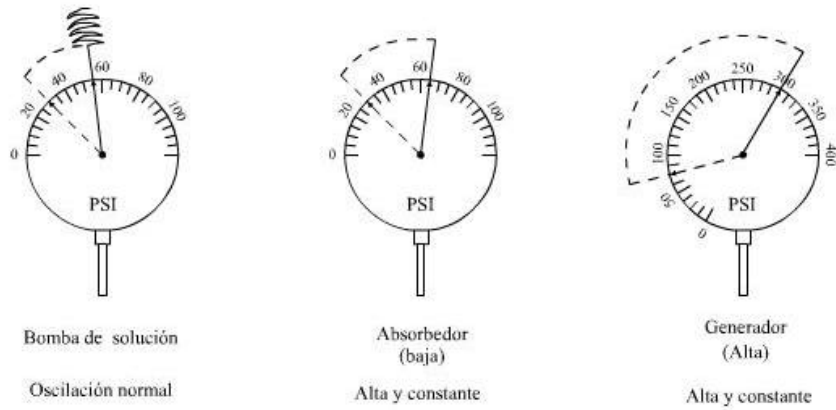
Si se presenta el caso presentado en la figura 40 el absorbedor debe ser remplazado

Figura 41. Comportamiento de los manómetros cuando hace falta refrigerante



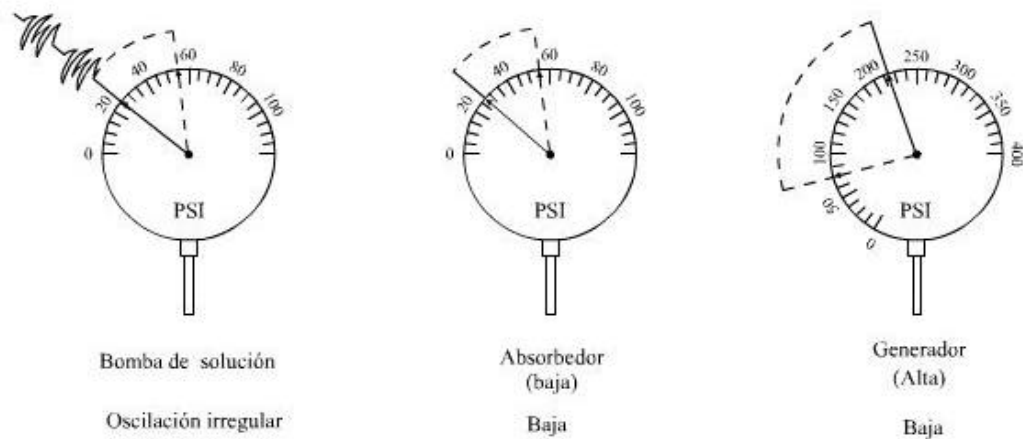
En este caso se debe agregar refrigerante a la unidad según 3.7.

Figura 42 Comportamiento de los manómetros cuando hay exceso de refrigerante



En este caso el exceso de refrigerante debe ser extraído según 3.7.1

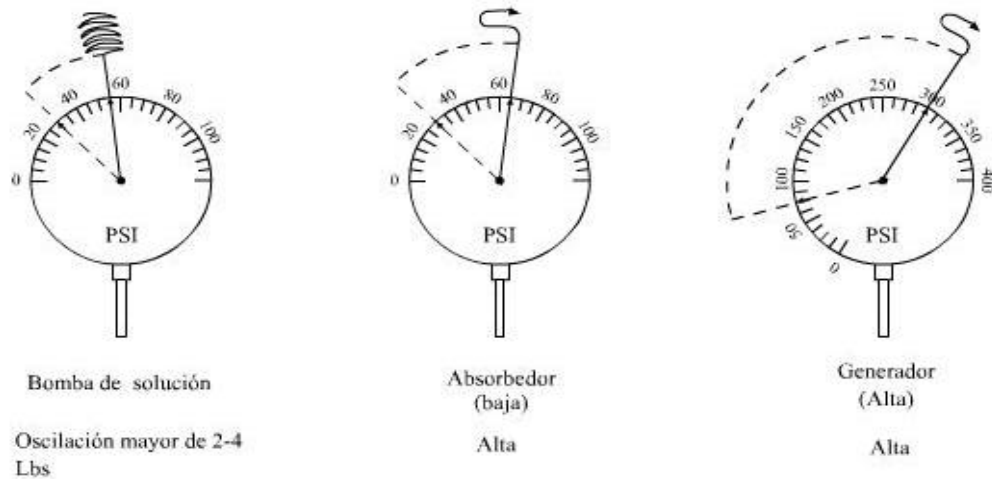
Figura 43. Comportamiento de los manómetros cuando la solución esta baja



En este caso cargue solución de acuerdo con 3.7.4

NOTA: Si falta mucha solución las presiones de baja y alta oscilarán desde valores inferiores hasta superiores a los normales.

Figura 44. Comportamiento de los manómetros cuando hay exceso de solución



En este caso el exceso de solución debe ser sacado de acuerdo con 3.7.5

Los niveles de presión normal en que opera la unidad están determinados según la temperatura del ambiente donde se encuentre en funcionamiento la unidad

En la tabla 5 se presentan las presiones normales de alta y de baja para diferentes temperaturas del ambiente

Tabla 5. Presiones normales de alta y de baja en la unidad ROBUR

AIRE		BAJA±5 psi		ALTA±10 psi		PURGA(BOMBA)
° F	° C	PSI	Kg/cm ²	PSI	Kg/cm ²	FLUCTUACIÓN
60	15	20	1.35	180	11.5	Menor que la baja
65	18	25	1.7	195	13.3	
70	21	29	2.0	210	14.3	
75	24	33	2.3	225	15.5	
80	26	38	2.6	240	16.5	
85	29	43	2.9	255	17.55	

90	32	48	3.3	270	18.5	
95	35	53	3.6	285	19.5	
100	38	57	3.9	305	21.0	
105	41	61	4.2	320	22.0	
110	44	65	4.4	340	23.3	
115	46	68	4.6	355	24.3	

La sobrecarga excesiva ocasionará que las presiones de alta y baja oscilen entre valores inferiores hasta valores superiores a los normales

3.6 BOMBA HIDRÁULICA.

En el equipo ACC 60 00 se deben tener 104 pulsaciones por minuto. En cada pulsación la presión de descarga de la bomba fluctúa entre 0 y 400lb/pulg² aproximadamente. Esta pulsación es transmitida, a través de una línea hidráulica a la cara inferior del diafragma de teflón de la bomba de solución.

El nivel de líquido hidráulico deberá mantenerse aproximadamente 30mm debajo del borde superior de la tapa de la bomba abierta. Este nivel deberá controlarse cuando el fluido este caliente y al bomba detenida.

El circuito hidráulico utiliza fluido hidráulico ARKLA N° Z 2169. Como alternativa se pueden utilizar los siguientes fluidos, General motors G.M. N° 1050017, texaco 1833 P.S. fluido 4634.

NOTA: Nuca operar la bomba sin aceite.

Si es necesario el cambio de la bomba verifique que la bomba de repuesto sea la correcta. Vea la lista de partes para seleccionar el número de parte correspondiente a la bomba hidráulica. La bomba hidráulica puede desajustarse de tal forma que esta no podrá desplazar la solución contra la sección de alta presión existente. Esta condición puede ocurrir en cualquier punto dentro del rango normal de operación, más que en una presión específica.

La bomba indica pérdida de su capacidad de bombeo cuando la presión de descarga es menor que la presión de alta del sistema. Por ejemplo para una temperatura del aire ambiente (de condensación) es de 95 F, la presión normal alta en un enfriador de 5 toneladas deberá ser de 285 psi. Si la bomba hidráulica no funciona correctamente, la unidad respondería en una forma normal hasta que la presión alta alcance 200 psi. En este punto la bomba habrá alcanzado su valor máximo y no será posible que bombee suficiente solución al generador. Como el amoníaco se separa de la solución en el generador, la presión alta comenzara a caer. Cuando la presión alta haya bajado lo suficiente, la bomba hidráulica comenzara a mover más solución al generador, permitiendo que la unidad trate de operar nuevamente.

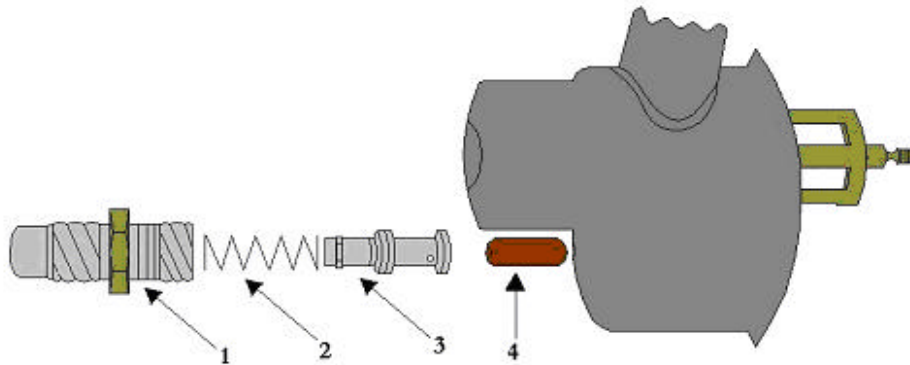
Esta fluctuación puede continuar por un periodo de tiempo, sin el corte de alta temperatura, dependiendo de la presión a la que esta ocurre y la velocidad a la que la solución sea almacenada en la sección de baja. El generador no necesariamente se pondrá rojo. Si existe una condición como la citada, quite el tapón del aceite y ponga la palma de la mano firmemente sobre la abertura, sentirá un empujón sobre la mano pero prácticamente no habrá succión en el punto pico de la presión de la sección alta.

La bomba hidráulica no necesariamente generara ruido. La válvula de control de flujo de la bomba puede estar evitando que genere suficiente presión para sobrepasar la presión del lado de alta de la unidad. Si la condición de arriba existe, revise la válvula de control de flujo como sigue:

1. Quite el protector de la banda.
2. Quite la banda, después de la tuerca y la arandela de seguridad para quitar la polea.
3. Drene y guarde el fluido de la bomba.

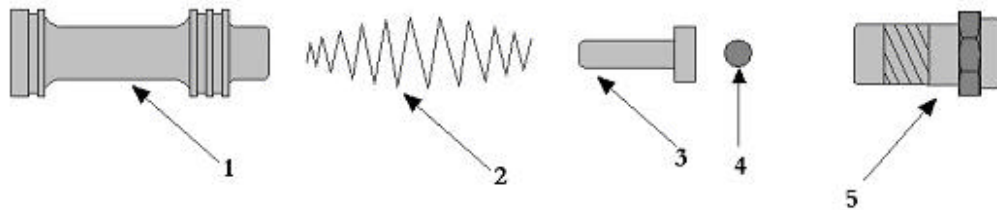
4. Desconecte la línea hidráulica de la conexión de la parte trasera de la bomba.
5. Quite la bomba del bloque de montaje.
6. Quite el adaptador de la bomba.
7. Después de que el adaptador y el resorte se quiten, deben usarse unas pinzas de punta para quitar la válvula.
8. Al montaje de la válvula de control de flujo deberá dársele una prueba de soplado. Elimine el fluido de la válvula y sople a través de la abertura de la tuerca hexagonal. Si sale aire por las puertas laterales desarme el montaje y límpielo.
9. Tome el bastidor de la válvula con unas pinzas de presión, entre las superficies maquinadas (no dañe las superficies maquinadas) y quite las partes 5, 4, 3 y 2 de la figura 46 y limpie cuidadosamente las partes 3,4 y 5. No cambie la tensión de la parte 2 figura 46
NOTA: si en el paso 8 el aire no pasa de un lado a otro, cambie la válvula de control de flujo Num 16009-198.
10. Re-ensamble, apriete la tuerca hexagonal y repita la prueba de soplado.
11. Reinstale la válvula de control de flujo de la bomba.
12. instale la bomba en el bloque de montaje.
13. Apriete la polea y coloque la arandela de seguridad y la tuerca de sellado.
14. Conecte la línea hidráulica a la conexión trasera de la bomba.
15. Llene el depósito de la bomba con fluido hidráulico.
16. Coloque la banda (cuide que no tenga aceite)
17. Arranque la unidad y revise la operación. PRECAUCIÓN: no opera la bomba sin revisar el nivel del fluido en el depósito de la bomba.

Figura 45. Bomba hidráulica



1. Adaptador cónico.
2. Resorte retenedor.
3. Válvula de control de flujo.
4. espaciador.

Figura 46. Válvula de control de flujo



1. Cuerpo de la válvula de control.
2. Resorte de tensión.
3. Embolo.
4. Bola check.
5. Tuerca hexagonal-asiento de la bola check.

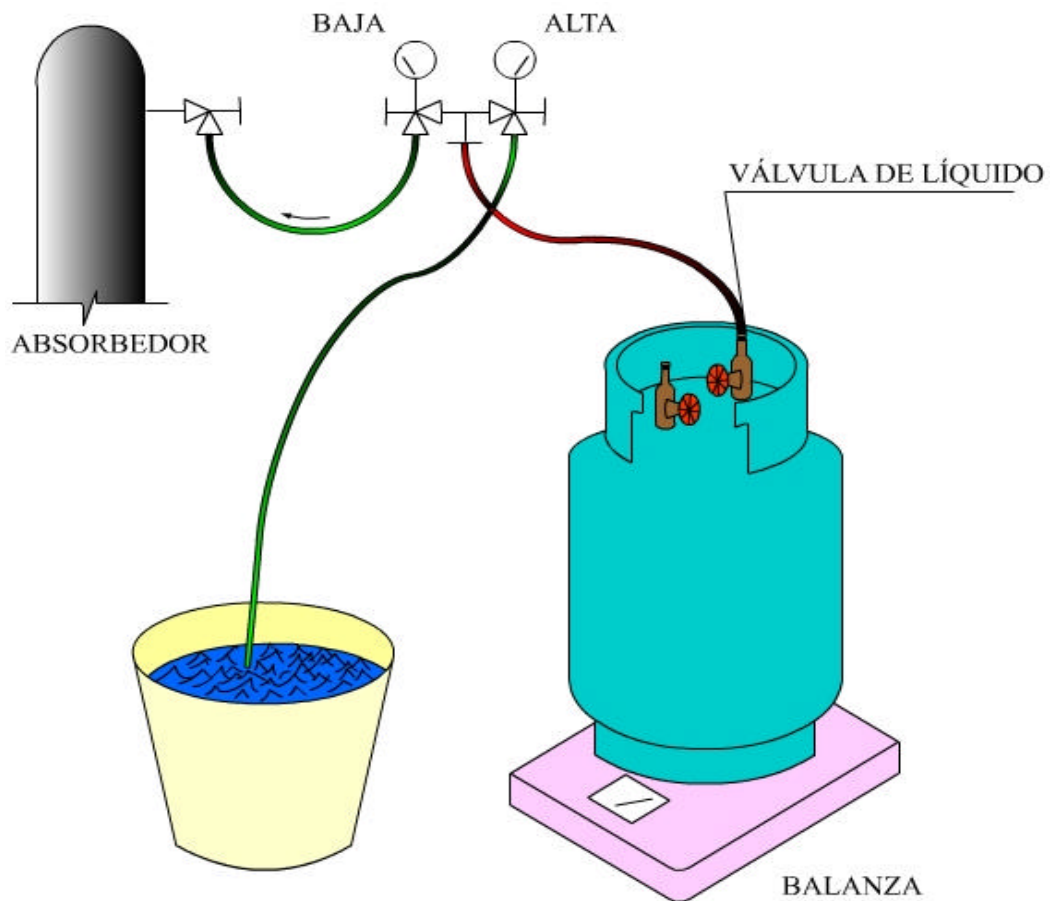
3.7 CARGA DE REFRIGERANTE.

El agregado de refrigerante debe realizarse con la unidad operando.

1. conectar las mangueras como se indica en la figura 47.
2. Cierre ambas válvulas del cabezal con manómetros.
3. Purgar el aire de las mangueras. NOTA: El agregar 1 lb de refrigerante incrementara la presión de baja en 10 psi

4. Abra la válvula del líquido en el cilindro del refrigerante. Abra la válvula de la sección baja de la unidad $\frac{1}{4}$ de vuelta aproximadamente.
5. Ponga a operar la unidad.
6. Agregar el amoníaco en cantidades de medio kilogramo hasta que las presiones se normalicen. Dejar estabilizar las presiones antes de realizar una nueva carga.
7. Con las presiones estabilizadas, compare las presiones y las temperaturas con las de la tabla 5.

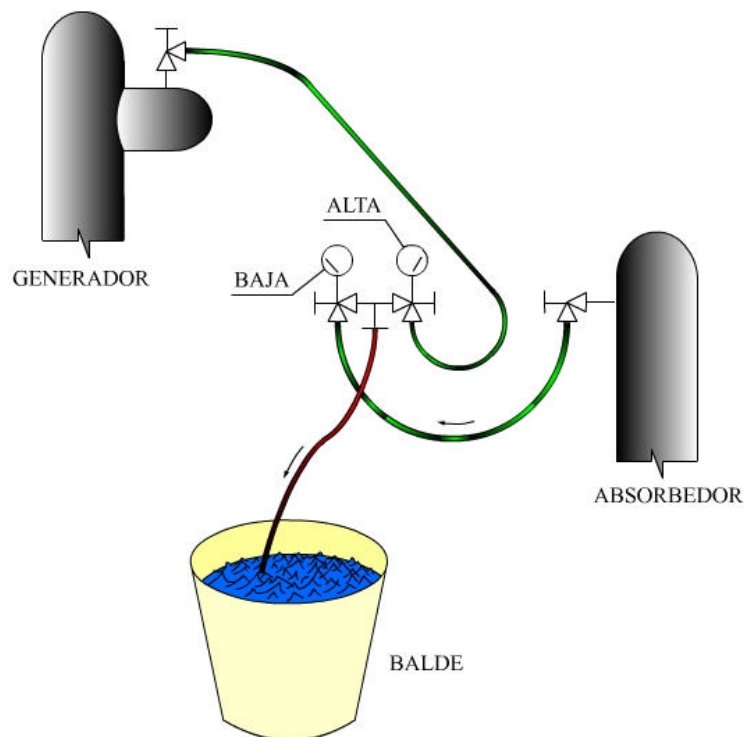
Figura 47. Disposición de las mangueras para cargar el refrigerante.



3.7.1 **Extracción del exceso de refrigerante.**

1. Conectar las mangueras como se indica en la figura 48.
2. Operar la unidad hasta que las presiones se estabilicen.
3. Purgar lentamente por el absorbedor hasta que la presión de baja se normalice (comparar con las presiones de la tabla 5). Esperar y controlar.

Figura 48. Disposición de mangueras para la extracción del exceso de refrigerante.



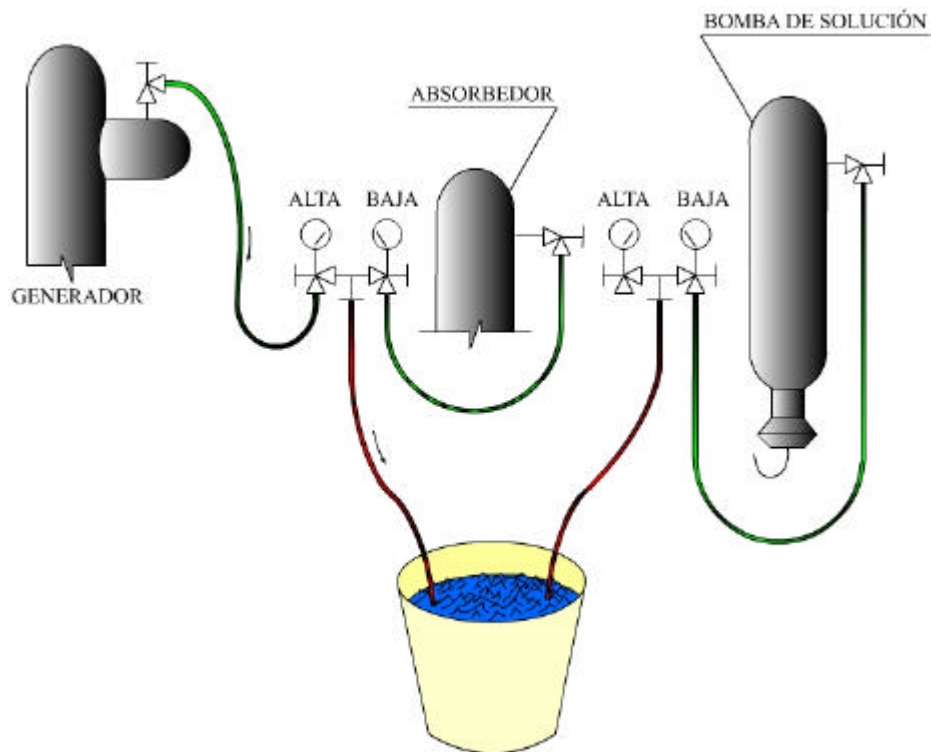
3.7.2 **Control del nivel de solución.** Conectar Las mangueras como se indica en la figura 49.

- ❖ Dejar operar el equipo hasta que la presión de alta llegue aproximadamente a 280 psi y la presión de baja a 45-60 psi.
- ❖ Mantener estas presiones por lo menos cinco minutos.
- ❖ Purgar muy suavemente el generador.

❖ Observar:

- a) Si el nivel es correcto o bajo primero saldrá un poco de solución y después vapor. Si otros síntomas indican carga baja agregar solución.
- b) Si la solución sale continuamente, el equipo está sobrecargado. Quitar el exceso de solución.

Figura 49. Disposición de mangueras para el control del nivel de solución.



La solución tiene que ser cargada y extraída en partidas de 1 Kg (la tolerancia de la carga de solución del equipo es aproximadamente 1 Kg).

- a) Agregar solución por la válvula del absorbedor.
- b) Sacar la solución por la válvula de la bomba.

3.7.3 **Preparación de solución.** Disolver en un balde media bolsita de inhibidor (250 Kg) en 10 litros de agua destilada.

- ❖ Sacar la válvula de vapor del cilindro y echar el preparado (Agua-Inhibidor).
- ❖ Reinstalar la válvula.
- ❖ Conectar y purgar las mangueras.
- ❖ Agregar 5 Kg de amoníaco líquido por cada 10 litros de preparado como se indica en la figura, purgando continuamente el cilindro de solución por su válvula de vapor.

Relación:



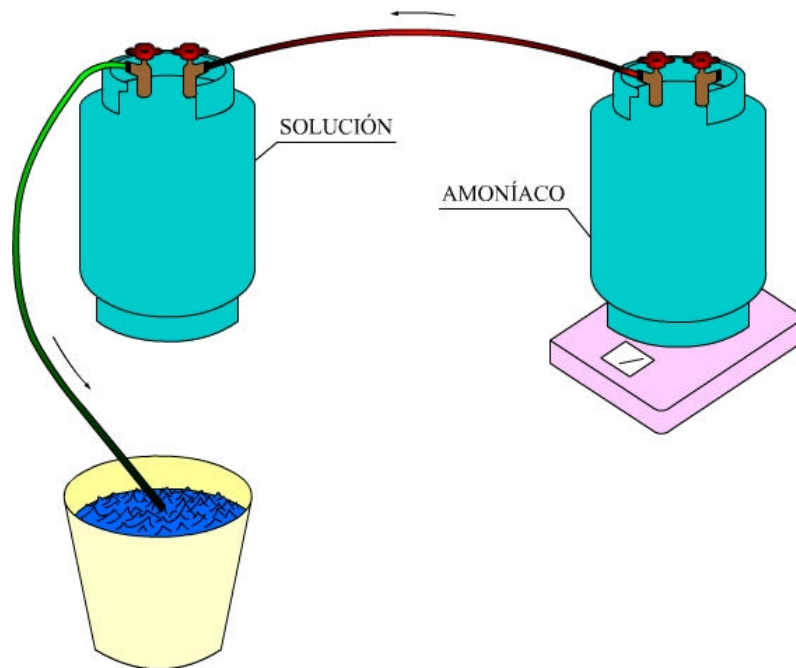
Concentración: 33%

- ❖ Terminado el proceso de carga de refrigerante, cerrar las válvulas, purgar y retirar las mangueras.

Nota: El inhibidor es venenoso, manipúlese con cuidado.

La figura 50 muestra la disposición de los tanques para efectuar la preparación de la solución.

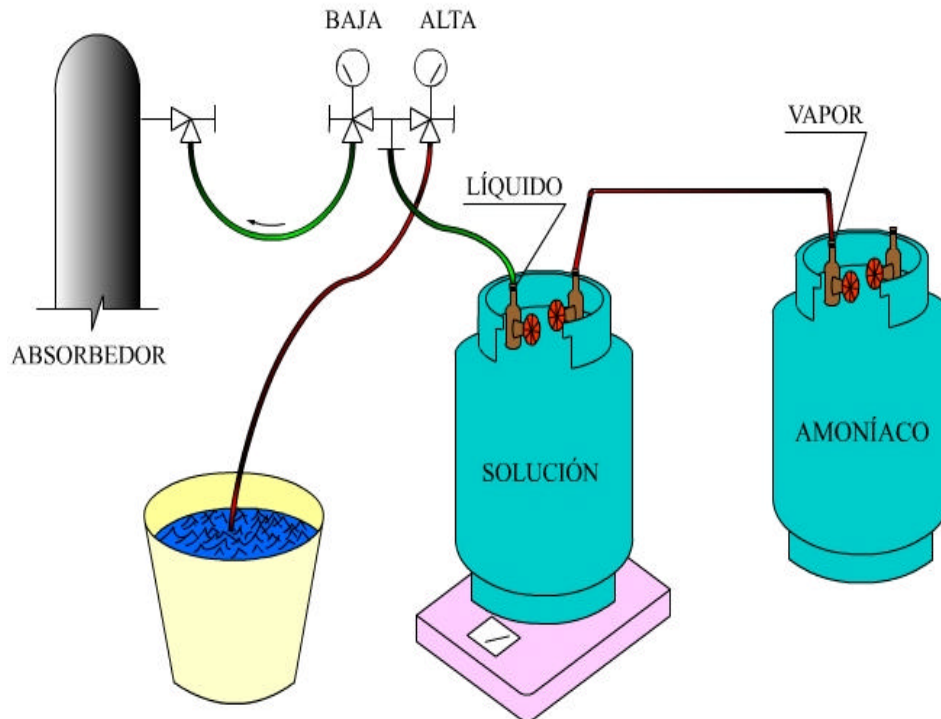
Figura 50. Disposición de tanques para la preparación de la solución



3.7.4 **Carga de solución.** Conectar Las mangueras como se indica en la figura 51.

1. Cerrar las válvulas del manifold.
2. Purgar la línea del absorbedor.
 - a.) Abrir la válvula del absorbedor
 - b.) Abrir la válvula de alta del manifold.
 - c.) Abrir un poco la válvula de baja del manifold hasta que salga amoníaco. Cerrar las válvulas.

Figura 51. Disposición de tanques para la carga de la solución.

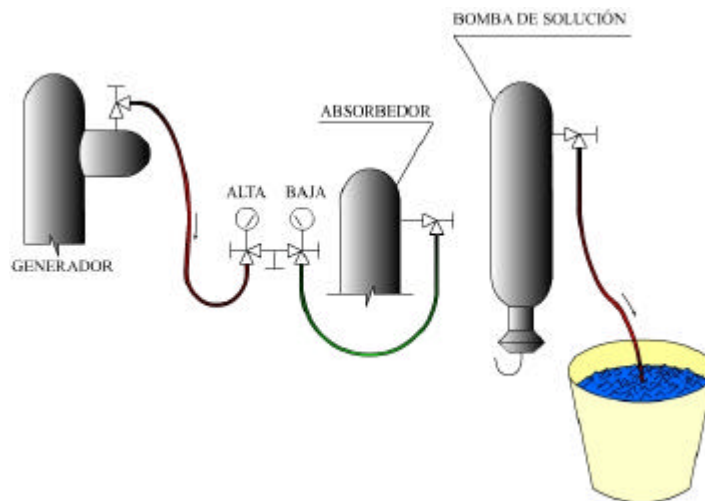


3. Purgar la línea del cilindro de solución.
 - a.) Abrir la válvula de alta del manifold.
 - b.) Abrir la válvula de líquido del cilindro.
 - c.) Cerrar la válvula de alta del manifold.
 4. Ubicar el cilindro de solución sobre la balanza. Controlar su peso.
 5. Abrir la válvula de baja en el manifold para cargar solución.
- NOTA:** para ajustar la carga se deben agregar lotes de 1 Kg.
6. Cerrar válvulas.
 7. Operar la unidad por lo menos 30 minutos.
 8. Controlar el nivel de solución. Si es bajo agregar 1Kg más de solución.
 9. Cerrar la válvula del absorbedor. Sacar las mangueras. Tener cuidado con el amoníaco.
 10. Cuando las presiones se estabilicen comparar con la tabla 5.

3.7.5 Ajuste de la carga de solución. Detener el equipo mediante su sistema de comando. Dejar pasar 10 minutos como mínimo antes de iniciar la operación de extracción.

- ❖ Conectar el manifold y las mangueras como se indica en la figura.
- ❖ Pesar un balde con agua.
- ❖ Abrir la válvula de purga y descargar 1 Kg de solución.
- ❖ Cerrar la válvula de purga.

Figura 52. Disposición de elementos para el ajuste de la carga de la solución.



- ❖ Poner en marcha el equipo, después de un tiempo controlar sus presiones.
- ❖ Controlar el nivel de la solución según (3.7.2). Si es todavía alto, repetir los pasos anteriores.

La figura 52 muestra la disposición de los elementos para el ajuste de la carga de la solución.

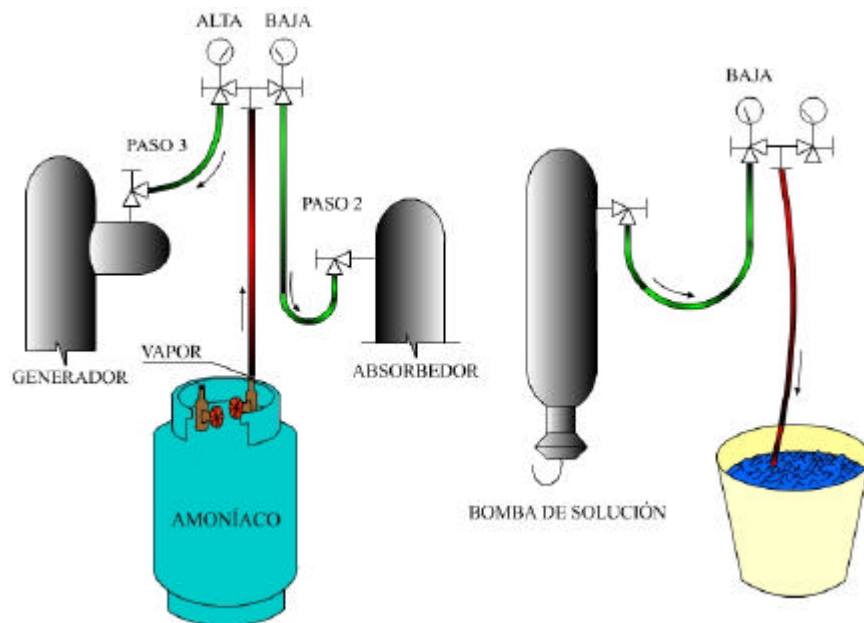
3.7.6 Corrección del defecto de la solución o refrigerante fuera de su lugar (STORE OUT). Cuando el análisis de la unidad indica que la carga de

refrigerante o de solución está fuera de su lugar, se debe proceder de la siguiente manera, ver figuras 33 y 34.

PASO "1"

1. Conectar un manifold a las válvulas de alta y baja, y un segundo manifold a la válvula de purga.
2. Abrir las válvulas, si la presión del equipo es menor que 5 Lb/pulg² hay que proceder según el paso "2".
3. Estando la válvula de gas cerrada, poner en marcha el equipo y dejarlo operar durante cinco minutos.
4. Abrir fuertemente la válvula de la bomba de solución, purgar fuertemente. Si aparece solución amarilla en el balde y el manómetro de la bomba, y el manómetro de la bomba fluctúa, esto indica que la solución entra en la bomba. Dejar de purgar.
5. Cuando el manómetro no fluctúa mas se debe abrir el gas. Si las presiones se mueven normalmente, dejar operar el equipo durante 20 minutos, después se deben controlar las presiones.
Si la presión de alta no sube, cerrar el gas y seguir con el paso "2".

Figura 53. Corrección del store-out



PASO "2"

El equipo debe operar eléctricamente (Gas cerrado).

Conectar el cilindro de refrigerante del absorbedor. Su presión debe ser 100 psi como mínimo. Si es menor, calentar el cilindro sumergiéndolo en un balde con agua caliente, ver figura 53.

1. Abrir la válvula de baja y dejar entrar vapor al absorbedor hasta que las presiones del cilindro y absorbedor se igualen.
2. Purgar fuertemente por la bomba de solución hasta que la salida de la solución o la fluctuación del manómetro indiquen la presencia de solución en la bomba. Dejar de purgar.

Si después de 5 minutos de purgado, la solución no entra en la bomba, cerrar la válvula de purga y continuar con el paso "2".

3. Cuando el manómetro deje de fluctuar, cerrar la válvula del cilindro y abrir la válvula de gas del equipo.
4. Dejar estabilizar las presiones y si es necesario ajustar la carga del refrigerante.

PASO "3"

Controlar que la presión del cilindro sea de 100 psi, como mínimo, ver figura 53.

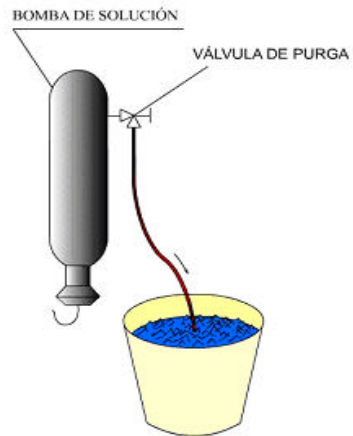
1. Conectar el cilindro al generador. Dejar igualar las presiones del cilindro con las del equipo.
2. Repetir los pasos 2-2-4 del paso "2".

3.7.7 Purgado de gases no condensables. NOTA: la unidad deberá purgarse únicamente después de que todos los aspectos exteriores se hayan revisado y corregido y que la unidad no esté aun enfriando apropiadamente, o cada vez que la unidad se haya apagado en el interruptor límite de temperatura alta. El purgado deberá hacerse con la unidad operando (el quemador encendido) y con al menos una presión en el manómetro de la válvula de purga de 5 psi. La disposición de mangueras y tanque debe hacerse como se muestra en la figura 54.

- a) Proceda como sigue: Quitar la cubierta de la válvula de purga en la parte superior de la cámara de purga. Revise que la válvula este bien cerrada. Quite el tapón de tubo de la válvula.
- b) Conecte un accesorio adaptador de acero de ¼" rosca de ¼" a rosca campana de ¼" para purgar la válvula de la bomba de solución.
- c) Conecte la manguera para purgar el adaptador e introduzca el extremo suelto al menos 6". Si no se dispone de una manguera para purga, puede usarse una tuerca campana de acero de ¼" de tubo de aluminio.
- d) Abra la válvula hasta que comiencen a salir burbujas en el extremo de la manguera que esta dentro del agua. Si se presentan gases no condensables, habrá burbujas en la superficie del agua. El vapor del amoniaco será absorbido por el agua y esto se nota si hay un sonido crepitoso. Cierre el manómetro de purga inmediatamente si aparece una solución amarilla en la cubeta.

- e) Cierre la válvula de purga cuando no haya burbujas en el agua.
- f) Quite la manguera para purga y el adaptador. Vuelva a poner los tapones.

Figura 54. Purgado de gases no condensables



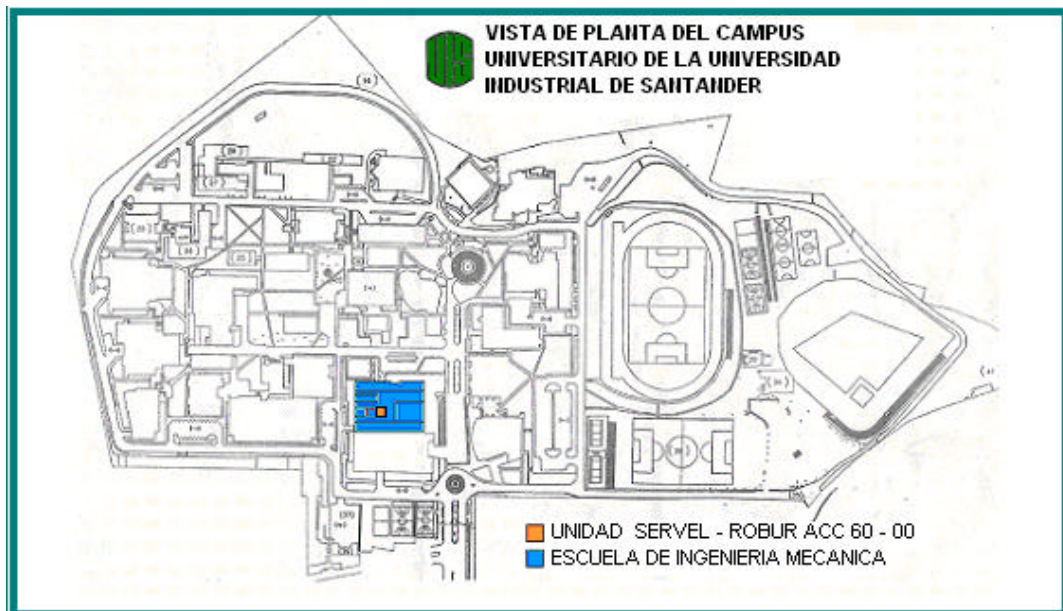
4. . BANCO DIDACTICO PARA PRUEBAS DE UN EQUIPO DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA UNIDAD

La unidad Servel – Robur ACC 60 - 00 se encuentra instalada al costado norte del Laboratorio de Mecánica de Fluidos de la escuela de Ingeniería Mecánica en el campus universitario de la sede principal de la Universidad Industrial de Santander.

La figura 55 muestra la vista de planta de la Universidad Industrial de Santander en su sede principal y en ella la ubicación de dicha unidad de refrigeración.

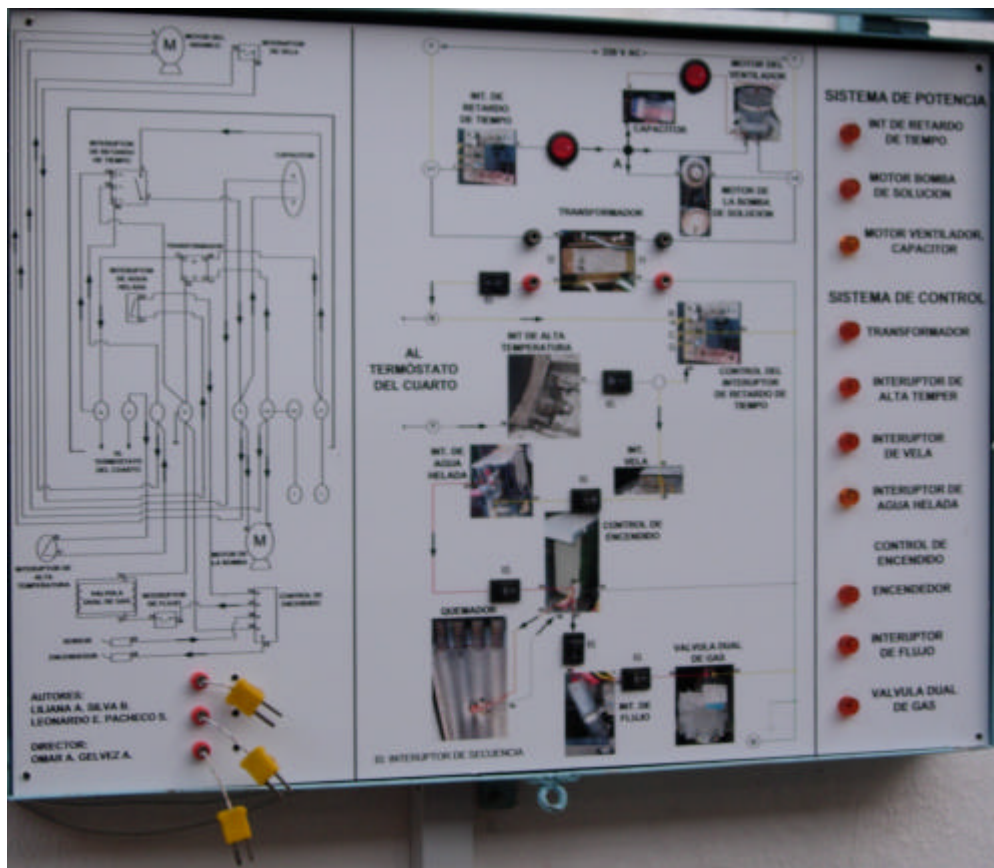
Figura 55. Ubicación de la unidad de refrigeración Servel Robur en el campus universitario de la sede principal de la Universidad Industrial de Santander.



4.2 PANEL DE CONTROL

El panel de control (Fig. 56) permite visualizar de forma sencilla la secuencia de operación de la unidad de refrigeración por absorción, así como las relaciones que existen entre los dispositivos de control de la unidad.

Figura 56. Panel de control

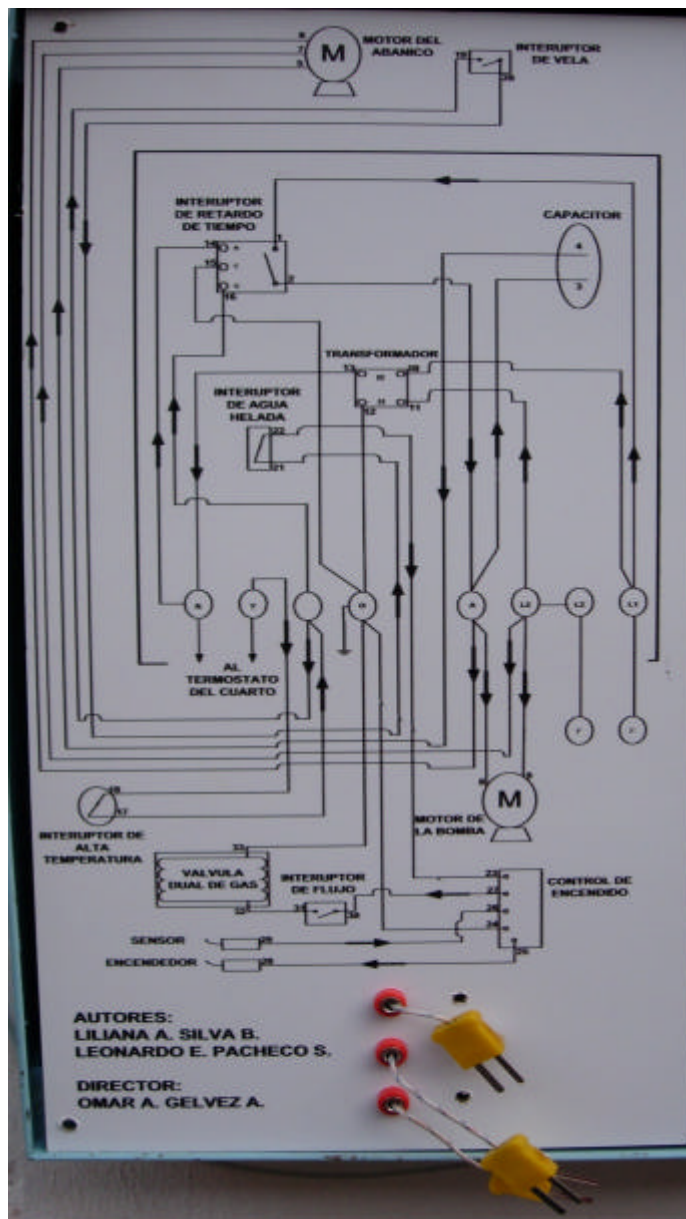


Además permite inducir desde el exterior del equipo, por medio del tablero, fallas de cada uno de los elementos de control que constituyen el sistema, logrando así mostrar en la práctica las respuestas del equipo evidenciadas al estudiar el circuito de control.

4.2.1 **Secciones del panel de control.** El panel de control esta dividido en tres secciones a saber:

- ❖ Primera sección: La primera sección corresponde al diagrama esquemático del circuito eléctrico del equipo.

Figura 57. Primera Sección del Panel



En la parte inferior se encuentran los terminales de las termocuplas que permiten tomar lectura de la temperatura de alta, medida en la cámara niveladora, de la temperatura de media, medida en la bomba de solución, y la temperatura de baja, medida en el evaporador; la lectura de temperaturas se logra introduciendo las termocuplas en termo pozos que se adaptaron a la cámara niveladora, la bomba de solución y el evaporador como se puede ver en la figura 58.

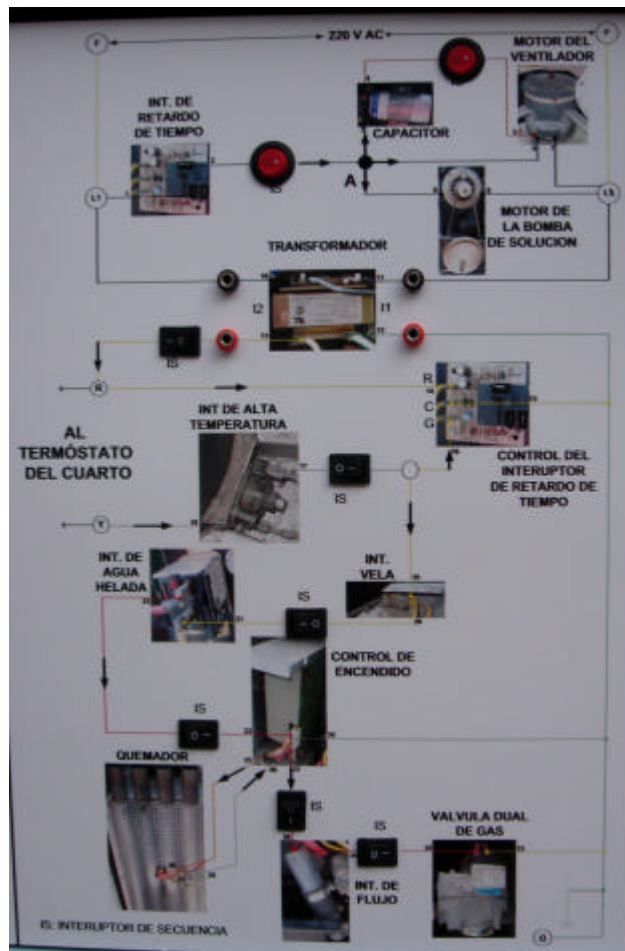
Figura 58. Termo pozo adaptado a la cámara de nivelación.



❖ Segunda Sección del Panel: La segunda sección corresponde al circuito de funcionamiento del equipo, adaptado de forma grafica, indicando la secuencia de control del equipo

Este circuito ha sido dotado de interruptores de secuencia (IS) que permiten suspender la línea de corriente, simulando la falla del elemento de control que lo precede, e imágenes reales, identificadas con su respectivo nombre, de los dispositivos de control que se encuentran dentro la caja de control de la unidad; así mismo cuenta con flechas que indican el sentido de la señal de control.

Figura 59 Segunda Sección del Panel



Esta segunda sección del panel es entonces una extensión de la caja de control del equipo, que permite desde el exterior de la unidad interactuar con los dispositivos de control de forma segura y confiable.

❖ Tercera sección del panel: Esta sección corresponde al seguimiento del proceso en forma secuencial.

La tercera sección se dota con bombillos que representan cada uno de los elementos del sistema de control y de potencia del equipo, dichos bombillos

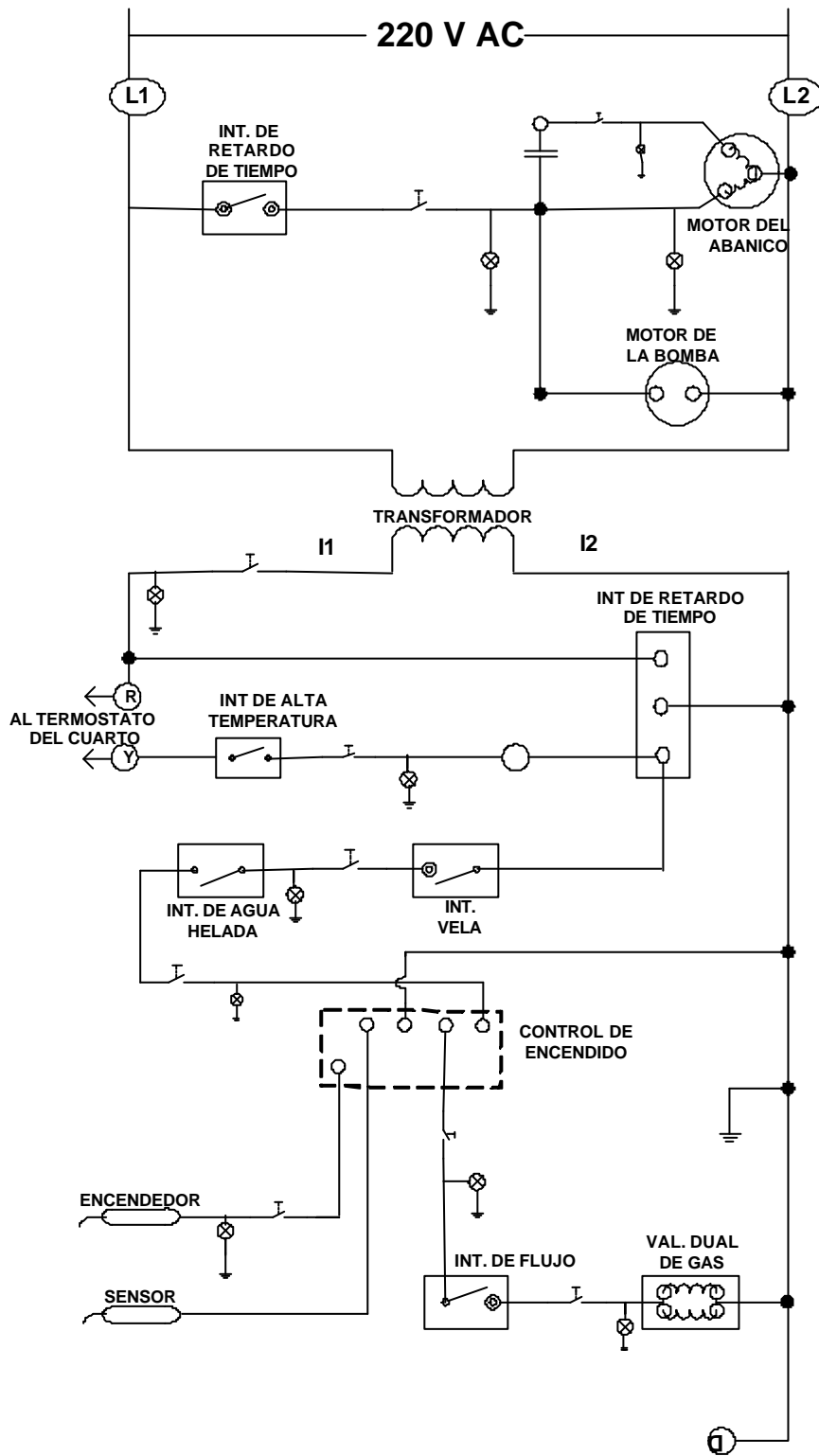
permanecen encendidos cuando el dispositivo al que representan se encuentra en funcionamiento, de lo contrario se apagan.

Figura 60. Tercera Sección del Panel



Los interruptores de secuencia están conectados en serie precediendo a los dispositivos que replazan presentan, y los bombillos están conectados en paralelo con el dispositivo que representan como se indica en el plano eléctrico de la figura 61.

Figura 61. Plano eléctrico del panel de control



4.2.2 Ubicación y dimensiones. El panel esta situado al frente de la unidad de refrigeración SERVEL ROBUR, fijado en el exterior del laboratorio de mecánica de fluidos en la pared norte.

El panel se ubico de manera que fuese asequible y permitiera a los estudiantes observar la respuesta del equipo en el momento en que se induce la falla, así mismo se tubo presente que el estudiante a pesar de estar cerca del equipo no tuviera que soportar la incomodidad causada por el calor irradiado por el quemador. La extensión de los cables desde la caja de control del equipo hasta el tablero se hizo de manera que estos no incomodaran el desplazamiento de los estudiantes quedando subterráneos.

Las dimensiones del panel son las especificadas en la tabla 6.

Tabla 6. Dimensiones del panel

DIMENSIONES GENERALES [cm]	
ALTURA	50
LONGITUD	70
PROFUNDIDAD	10
PRIMERA SECCION	
ALTURA	50
LONGITUD	24
SEGUNDA SECCION	
ALTURA	50
LONGITUD	33
TERCERA SECCION	
ALTURA	50
LONGITUD	13

4.2.3 Operación del panel de control. La operación del panel se hace en su totalidad en forma manual. Por ejemplo; la interrupción del paso de corriente que simula la falla de los dispositivos de control se hace por medio

de interruptores de secuencia, dispuestos en el tablero de control los cuales pueden ser manipulados por los estudiantes para inducir la falla específica de un dispositivo; también, la lectura de las temperaturas de alta, media y baja, se hacen mediante la conexión de un lector al que se introducen los terminales de las termocuplas que vienen directamente de los termo pozos puestos en la cámara niveladora, la bomba de solución y el evaporador, respectivamente.

Para lograr simular fallas en el equipo fue necesario cortar los cables originales de la unidad, hacerles una extensión de tal manera que llegan al tablero de control, se conectan a un interruptor y luego a la salida de este se conectan dos cables, uno que se devuelve al equipo a continuar con la secuencia y otro que va hacia un bombillo que se encuentra en la tercera sección del panel indicando si el dispositivo al cual está ligado se encuentra o no en funcionamiento.

4.2.4 Indicadores de fallas eléctricas. Cuando se presentan fallas concernientes al refrigerante y a la solución, la unidad de refrigeración, manifiesta dichas fallas en el comportamiento de los manómetros, como se especifica en el capítulo 3.

Las fallas de tipo eléctrico tanto del sistema de control como del sistema de potencia no se manifiestan de forma que faciliten su identificación como las anteriormente mencionadas; como ya se dijo el primer paso para el conocimiento y dominio del funcionamiento de la unidad de refrigeración es la comprensión del circuito eléctrico y la secuencia que sigue la unidad en el arranque y operación, esto se indica de forma esquemática en la primera sección del panel.

El seguimiento de la secuencia se realiza por medio de la tercera sección del panel. Para poner en funcionamiento la unidad de refrigeración todos los

interruptores de secuencia deben estar en su posición cerrada, permitiendo el paso de corriente hacia todos los elementos del sistema de control, para que la secuencia se realice óptimamente.

Con la unidad en funcionamiento se seguiría a inducir fallas en el sistema eléctrico, como se ha podido notar el control del equipo es una secuencia de verificación de diferentes sensores como lo son los interruptores de alta temperatura, de vela, de agua helada, de flujo, sensor de llama y el termostato del cuarto, de los cuales sale la señal hacia los distintos dispositivos de operación como lo son el interruptor de retardo de tiempo, control de encendido, válvula dual de gas y los motores del ventilador y de la bomba de solución, ver figura 62.

La secuencia de encendido se realiza como sigue:

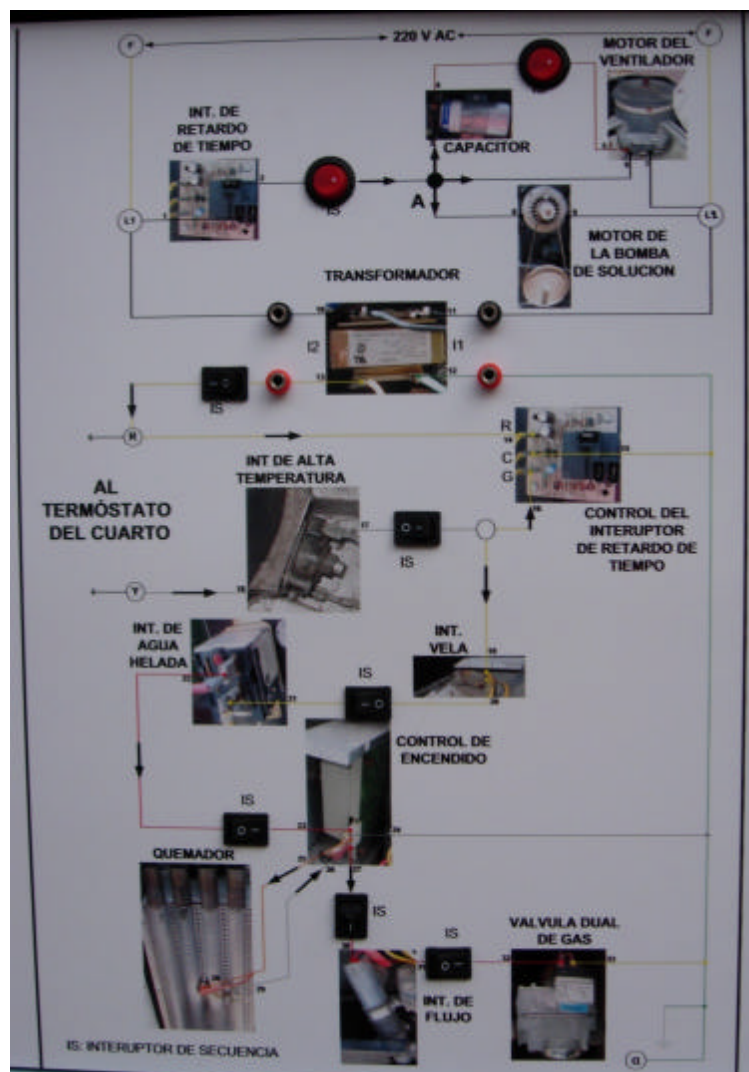
Al energizar las líneas de alimentación L1 y L2 se energiza la entrada del interruptor de retardo de tiempo y la bobina primaria del transformador a 220V; la bobina secundaria del transformador alimenta el control del interruptor de retardo de tiempo y el termostato del cuarto a 24V. Al activar el termostato de forma manual, la señal que proviene de este pasa por el interruptor de alta temperatura, luego esta señal sufre una bifurcación:

Una señal va hacia el control del interruptor del retardo de tiempo, con esta señal se energiza la bobina del interruptor y da paso a la señal de potencia hacia los motores del ventilador y de la bomba de solución.

La otra señal se dirige hacia el interruptor de vela, cuando este se activa por acción de la fuerza ejercida por el ventilador en funcionamiento, comprobando así el correcto funcionamiento del ventilador; la señal de control pasa hacia el interruptor de agua helada, si el agua se encuentra a más de 6.5°C el interruptor estará cerrado permitiendo el paso de la señal hacia el control de encendido, de este dispositivo salen dos señales una para el interruptor de flujo, el cual comprueba que haya flujo de agua, y de paso

verificar la correcta operación de la bomba de agua; y la otra señal va hacia la bujía de encendido que se encuentra en el quemador, allí se encuentra también el sensor de llama con el cual se verifica la presencia o ausencia de llama.

Figura 62. Esquema de control de la unidad de refrigeración SERVEL-ROBUR



Cuando el agua desciende su temperatura hasta 4.5°C el interruptor de agua helada se abre impidiendo el paso de la señal al control de encendido y por ende a la bujía, el interruptor de flujo y la válvula dual de gas.

Las secuencias de encendido de los motores del ventilador y de la bomba de solución las maneja el termostato del cuarto permitiendo o impidiendo el paso de la señal hacia el control del interruptor de tiempo.

Al inducir la falla en uno de estos dispositivos el equipo procederá a realizar su operación de apagado. Los elementos que queden energizados se visualizarán en la tercera sección del panel de control mostrando así la falla en el sistema de control.

4.3 FICHAS PARA PRUEBAS

Para un mejor conocimiento del funcionamiento del sistema se recomienda hacer uso de las siguientes fichas para llevar a cabo las pruebas en el banco didáctico del laboratorio de refrigeración por absorción de la unidad SERVEL-ROBUR ACC 36-00

LABORATORIO DE REFRIGERACION Y AIRE ACONDICIONADO		
Nombre	Código	fecha
PRACTICA 1: CONOCIMIENTO DEL PROCESO		
<p>Describa de forma simplificada la función que cumplen cada uno de los elementos del proceso de refrigeración</p> <p>SISTEMA DE BAJA PRESION:</p> <p><i>Evaporador:</i></p> <p><i>Absorbedor enfriado por solución.</i></p> <p><i>Absorbedor enfriado por aire</i></p> <p>ELEMENTOS AUXILIARES QUE DETERMINAN LOS NIVELES DE PRESION:</p> <p><i>Bomba de solución.</i></p> <p><i>Restrictores.</i></p> <p>SISTEMA DE ALTA PRESION:</p> <p><i>Generador.</i></p> <p><i>Nivelador</i></p> <p><i>Rectificador</i></p> <p><i>Condensador</i></p>		
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER PRÁCTICA DE REFRIGERACION POR ABSORCION		

LABORATORIO DE REFRIGERACION Y AIRE ACONDICIONADO		
Nombre	Código	fecha
PRACTICA 2: ELEMENTOS DE CONTROL Y SU FUNCION EN EL SISTEMA		
<p>Describa de forma simplificada el funcionamiento y el papel que cumple cada uno de los dispositivos de control en la secuencia de operación.</p> <p>SISTEMA DE CONTROL</p> <p><i>Interruptor De retardo de tiempo:</i></p> <p><i>Transformador:</i></p> <p><i>Interruptor de alta temperatura del transformador:</i></p> <p><i>Interruptor de vela:</i></p> <p><i>Interruptor de agua helada</i></p> <p><i>Sistema de encendido eléctrico.:</i></p> <p><i>Interruptor de flujo:</i></p> <p><i>Válvula dual de gas</i></p>		
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER PRÁCTICA DE REFRIGERACION POR ABSORCION		

ANEXOS

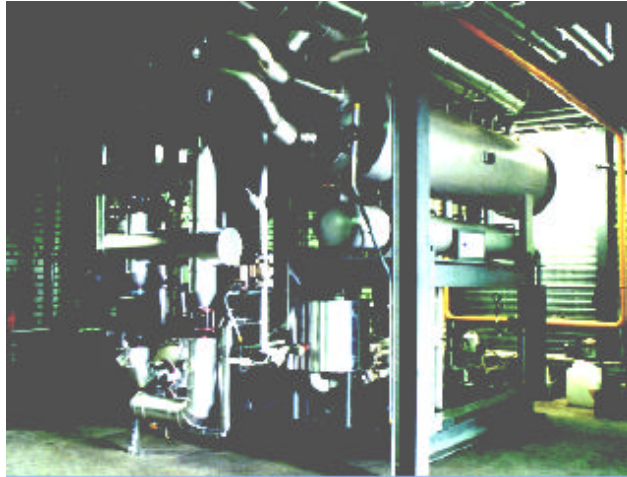
ANEXO A. TRIGENERACIÓN CON PLANTAS DE ABSORCIÓN CON AMONIACO

En muchas aplicaciones las demandas de vapor o agua caliente son fluctuantes y dependen del proceso de producción, y parte del calor producido no puede usarse debidamente.

Figura A1. Planta de refrigeración por absorción en una empresa del sector de la petroquímica.



Figura A2: Planta de refrigeración por absorción de 280 Kw



A.1 Trigeneración

Una posibilidad de optimizar el consumo de calor de la cogeneración es la introducción de la trigeneración. En las plantas de trigeneración el calor producido se usa para cubrir los consumos de calor y para propulsar una planta de refrigeración por absorción y así cubrir también la demanda de frío. Estas plantas, al combinar el suministro de calor y de frío, tienen una gran flexibilidad consiguiéndose una óptima utilización del calor generado en la cogeneración. En general las demandas de refrigeración a bajas temperaturas suelen ser relativamente constantes y suelen tener una gran inercia térmica. La planta de refrigeración por absorción puede regularse de tal forma que consuma todos los excedentes de calor (generalmente vapor) dando prioridad al consumo directo de vapor, consiguiéndose así un elevado aprovechamiento del calor producido en la cogeneración.

A.2 Refrigeración por absorción

Las plantas de refrigeración por absorción precisan de un fluido refrigerante y un fluido absorbente. Los pares de fluidos refrigerante / absorbente más usados son el par agua / bromuro de litio y el par amoníaco / agua. En las plantas que usan el primer par, el refrigerante es el agua por lo que estas plantas se usan para aplicaciones a temperaturas por encima de 0°C, usándose principalmente para la climatización. Las plantas de refrigeración con amoníaco / agua usan el amoníaco como refrigerante y tienen el campo de aplicación desde 0°C hasta -70°C. Especialmente en las aplicaciones a bajas temperaturas las plantas de refrigeración por absorción con amoníaco abren un amplio campo de aplicaciones para las plantas de trigeneración.

A.3 Amoníaco

El amoníaco se ha usado como refrigerante desde finales del siglo XIX siendo uno de los refrigerantes con cualidades termodinámicas más idóneas para la refrigeración.

Dado que en las aplicaciones industriales la demanda de frío suele estar a temperaturas por debajo de 0°C, las plantas de absorción industriales suelen usar el amoníaco como refrigerante.

Las cualidades termodinámicas del amoníaco, juntamente con el agua como absorbente, hacen de ellos un par refrigerante / absorbente ideal para las plantas de refrigeración por absorción a bajas temperaturas. Así por ejemplo el amoníaco evapora a la presión atmosférica a -33°C, por lo que los circuitos de refrigeración que trabajan a -30°C trabajan a una ligera sobrepresión. Por otra parte aplicaciones a muy bajas temperaturas, el vacío necesario no es muy bajo, así por ejemplo a -60°C la presión de evaporación es de 220 mbar.

Figura A3: Planta de refrigeración por compresión.

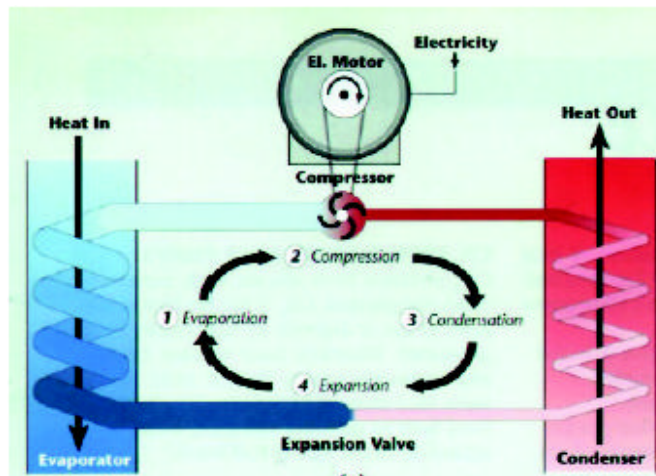


Figura A4: Planta de refrigeración por absorción

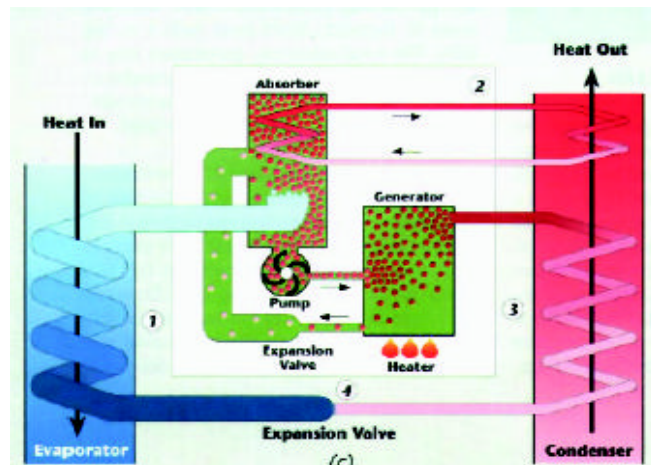


Tabla A1: Datos termodinámicos del amoniaco.

Datos termodinámicos del amoniaco	
Temperatura de evaporación a 1 bar	-33,4°C
Temperatura de fusión a 1 bar	-77,7°C
Temperatura crítica	132°C
Calor de evaporación a -33,4°C	1.370 kJ/kg
Temperatura máxima de estabilidad térmica	450 °C
Concentración límite en aire de lugar de trabajo (s/ Res. 444/91)CMP	18 mg/m ³
Concentración límite en aire de lugar de trabajo MAK (Alemania)	50 mg/m ³
Concentración límite en aire de lugar de trabajo LTEL (Gran Bretaña)	25 mg/m ³

A.4 Funcionamiento

Las plantas de refrigeración por compresión constan de un evaporador, en el que evapora el refrigerante (amoníaco) produciendo frío, un sistema de compresión para transportar el vapor a baja presión del evaporador al condensador a alta presión y el condensador en el que condensa el refrigerante disipando el calor generalmente mediante torres de refrigeración.

En plantas de refrigeración por absorción el compresor mecánico es sustituido por un compresor químico o térmico.

El vapor de baja presión procedente del evaporador, en vez de ser comprimido

por un compresor mecánico, es absorbido por una solución diluida de amoníaco y agua en el absorbedor. La solución cuya concentración ha aumentado es bombeada al desorbedor en el que es calentada hasta su ebullición a alta presión.

Siendo el amoníaco la componente más volátil en el desorbedor se produce vapor de amoníaco, que condensa en el condensador cerrando así el ciclo de refrigeración.

El calor producido en el condensador y en el absorbedor suele ser disipado mediante torres de refrigeración, mientras que el calor aportado en el desorbedor es calor residual procedente por ejemplo de una planta de cogeneración.

A.5 Problemática a bajas temperaturas

El amoníaco como refrigerante tiene la gran ventaja de poder producir refrigeración a temperaturas de hasta -70°C . Para alcanzar estas temperaturas hacen falta sistemas de compresión de varias etapas por lo que dichas plantas son relativamente complejas. La operación en continuo de dichas plantas es problemática por el hecho de que prácticamente no existen

aceites compatibles con el amoníaco, que tengan cualidades lubricantes a la temperatura de los compresores y una baja viscosidad a -60°C . El aceite que suele acumularse en los evaporadores únicamente puede decantarse si se eleva temporalmente la temperatura. Todo ello encarece las plantas de compresión y hace necesario un mantenimiento muy riguroso para poder garantizar la fiabilidad necesaria.

Especialmente a estas temperaturas las plantas de refrigeración por absorción tienen grandes ventajas comparadas con las de refrigeración por compresión. Por una parte pueden alcanzar temperaturas de hasta -70°C en una simple etapa y por otra parte no precisan aceites lubricantes por lo que pueden operar en continuo sin necesidad de paradas.

Tradicionalmente siempre se han usado plantas de refrigeración por absorción

con amoníaco, en sectores industriales en los que se precisa refrigeración a bajas temperaturas y en los que la disponibilidad es de gran importancia

A.6 Aplicaciones

En el sector químico y petroquímico se instalan con frecuencia plantas de trigeneración con refrigeración por absorción.

En estos sectores los principales argumentos son los reducidos costes de mantenimiento y la alta disponibilidad de las plantas de absorción.

La siguiente foto muestra una planta con una potencia de 5500 kW en que una mezcla de hidrocarburos es enfriada hasta -54°C . La planta es propulsada con vapor de una cogeneración.

A.7 Potencias

Las plantas de refrigeración por absorción usadas en la trigeneración suelen tener potencias desde uno 100 kW hasta varios Megavatios. Mientras los

últimos dos ejemplos eran plantas de alta potencia, el siguiente muestra un planta instalada en una empresa cárnica. El agua de refrigeración de un motor a gas se usa para la propulsión de la planta de absorción que enfría una mezcla de glicol y agua hasta -15°C .

ANEXO B. REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN. INTERÉS ENERGÉTICO E IMPACTO AMBIENTAL



<http://www.energuia.com>

B.1 Fundamentos físicos

Las primeras aplicaciones industriales de los principios termodinámicos de la absorción de un vapor por un líquido, con el fin de conseguir la refrigeración de otro líquido, datan de los primeros años 30.

La comercialización a mayor escala de plantas frigoríficas de absorción con ciclo Amoniaco-Agua comienzan en los 40 y la puesta en el mercado de las primeras plantas con ciclo agua-Bromuro de Litio tiene lugar a principio de los 50.

Los ciclos de absorción se basan físicamente en la capacidad que tienen algunas sustancias, tales como el agua y algunas sales como el Bromuro de Litio, para absorber, en fase líquida, vapores de otras sustancias tales como el Amoniaco y el agua, respectivamente.

A partir de este principio es posible concebir una máquina en la que se produce una evaporación con la consiguiente absorción de calor, que permite el enfriamiento de un fluido secundario en el intercambiador de calor que actúa como evaporador, para acto seguido recuperar el vapor producido disolviendo una solución salina o incorporándolo a una masa líquida. El resto de componentes e intercambiadores de calor que configuran una planta frigorífica de Absorción, se utilizan para transportar el vapor absorbido y regenerar el líquido correspondiente para que la evaporación se produzca de una manera continua.

En los ciclos de absorción hablamos siempre de agente absorbente, designando así a la sustancia que absorbe los vapores, y de agente refrigerante, o agente frigorífico, a la sustancia que se evapora y da lugar a una producción frigorífica aprovechable. Serían absorbentes el agua y la solución de Bromuro de Litio, y refrigerantes el Amoniaco y el agua destilada, en los ciclos de absorción Agua-Amoniaco y Bromuro de Litio-Agua, respectivamente.

Para conseguir una mejor comprensión del funcionamiento de un ciclo de absorción, haremos una comparación entre este y un ciclo de refrigeración por compresión mecánica, de uso más extendido y, por tanto mas conocido a todos los niveles técnicos.

En un ciclo de compresión mecánica, los vapores del agente frigorígeno (como debe ser denominado) que se producen en el evaporador de la máquina dando lugar a la producción frigorífica, son aspirados por un compresor que ejerce las funciones de transportar el fluido y de elevar su nivel de entalpía. El vapor comprimido a alta presión y con un elevado nivel térmico se entrega a un intercambiador de calor, el condensador, para que ceda su energía a otro fluido, que no es utilizable para la producción frigorífica, y cambie de estado, pasando a ser líquido a alta presión y temperatura, y por lo tanto tampoco utilizable para la producción frigorífica.

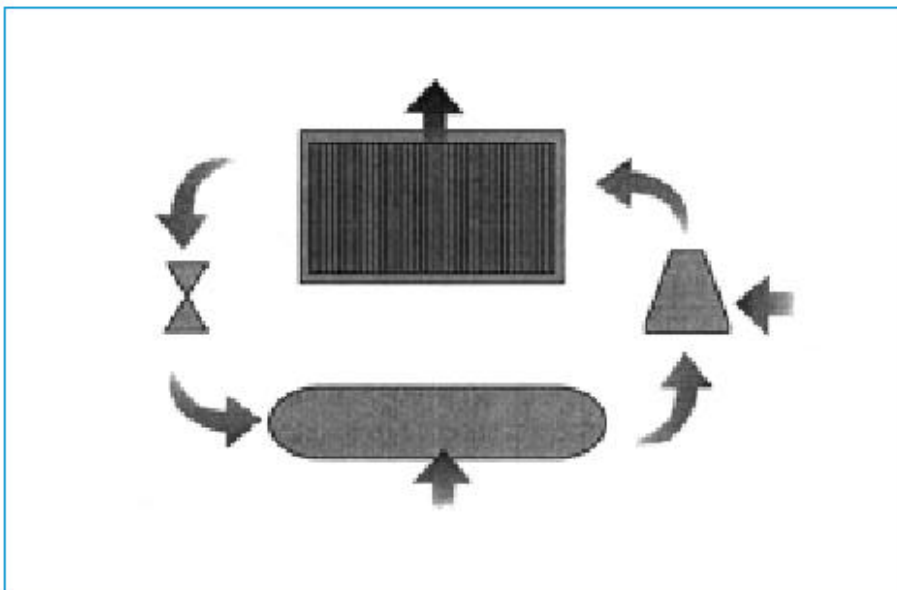
Este líquido relativamente caliente se fuerza a pasar a través de un dispositivo en el que deja parte de la energía que contiene, por fricción mecánica fundamentalmente, y a partir del cual entra en una zona del circuito frigorífico en la que la presión se mantiene sensiblemente mas baja, debido a que el compresor está aspirando de ella, que la presión de saturación que correspondería en el equilibrio a la temperatura a la que se encuentra el agente frigorígeno en estado líquido.

Este desequilibrio entre las presiones y temperaturas de saturación y las reales a las que el refrigerante se encuentra, origina la evaporación parcial del líquido, que toma el calor latente de cambio de estado de la masa del propio líquido, enfriándola hasta la temperatura de saturación que corresponde a la presión a la que se encuentra, punto en el que la evaporación se interrumpe. El refrigerante en estado líquido a baja temperatura entra en el evaporador, donde se evaporará, cerrando así el ciclo frigorífico.

En la máquina de absorción se produce un proceso similar: El refrigerante, agua o amoníaco, se evapora en el evaporador tomando el calor de cambio de estado del fluido que circula por el interior del haz tubular de este intercambiador. Los vapores producidos se absorben por el absorbente, agua o solución de bromuro de litio, en un proceso de disolución endotérmico que requiere de refrigeración externa para que la solución se mantenga en condiciones de temperatura correctas y no aumente la presión en la cámara en la que se produce la absorción y que se denomina Absorbedor. En este circuito de refrigeración externa se utilizan normalmente torres de refrigeración de agua de tipo abierto o cerrado. El agua enfriada en la torre se hace circular a través del interior del haz tubular de otro intercambiador que se encuentra situado en el interior de la cámara del absorbedor y sobre el que se rocía el absorbente para facilitar el proceso de la absorción. La masa de absorbente conteniendo el refrigerante absorbido se transporta, mediante bombeo, hasta otro intercambiador de calor cuya función es separar el refrigerante del absorbente, por destilación del primero. Este intercambiador de calor se denomina Concentrador o Generador y es de tipo inundado. Por su haz tubular se hace circular el fluido caliente, normalmente agua o vapor de agua, que constituye la fuente principal de energía para el funcionamiento del ciclo de absorción, y que procede como efluente de cualquier tipo de proceso en el que se genere calor residual.

En el concentrador se produce la ebullición del refrigerante, que se separa del absorbente y que como consecuencia aumenta su concentración, en el caso de solución salina, o su pureza cuando se trata de agua, para que pueda ser utilizado de nuevo en el proceso de absorción.

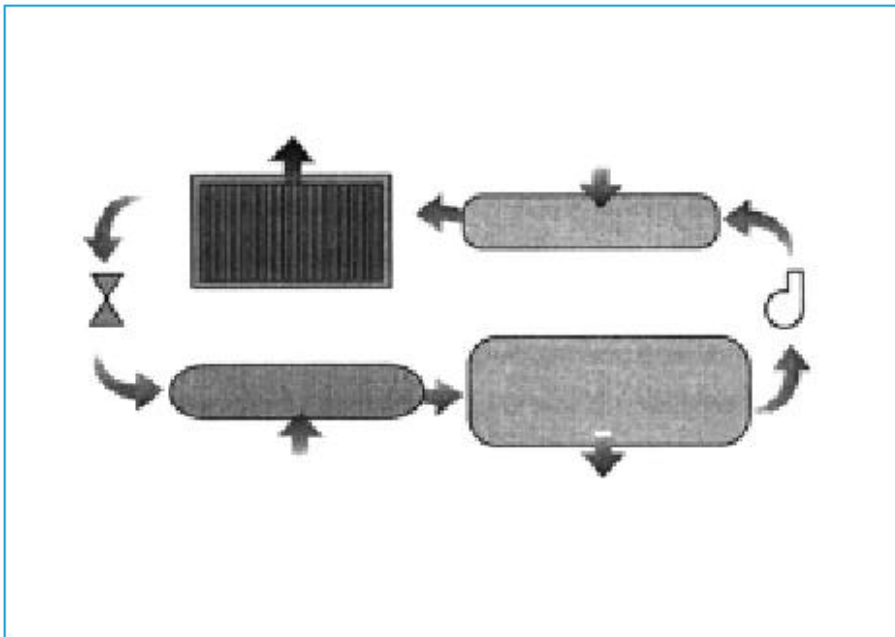
Figura B. 1.



El FLUJO de absorbente vuelve al absorbedor siguiendo un camino mas o menos diferente según cada tipo de máquina, mientras que el flujo de vapores del refrigerante destilado en el concentrador pasa, por simple diferencia de presión, a otro intercambiador de calor por el interior de cuyo haz tubular circula agua procedente también de la torre de refrigeración, y que se denomina condensador porque alrededor de su haz tubular se produce la condensación de los vapores del agente frigorífico para volver al estado líquido.

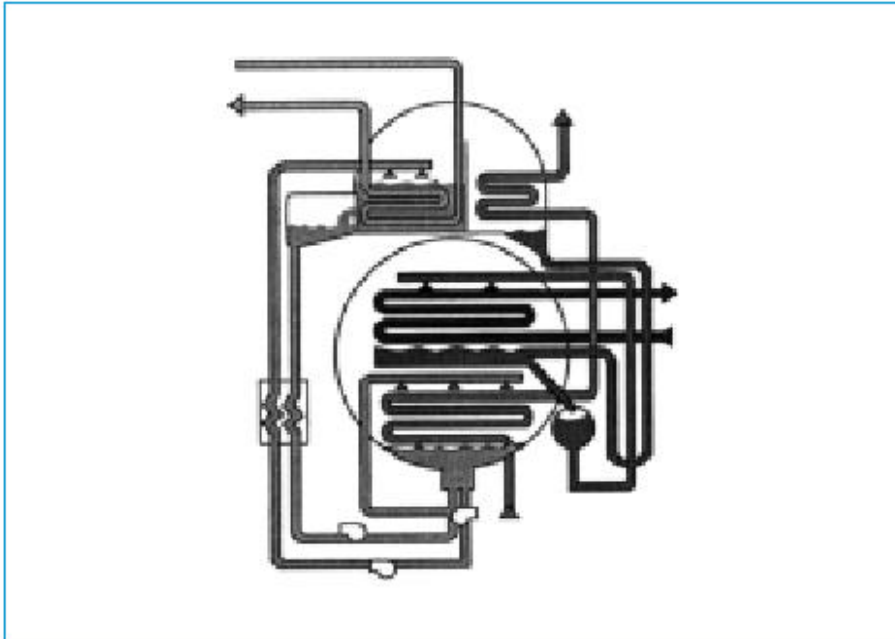
El líquido obtenido en el condensador se canaliza hacia la cámara de evaporador, por gravedad y por diferencia de presión, ya que esta se encuentra a una presión inferior a la de la cámara del condensador. Cuando el líquido llega a la cámara del evaporador sufre un fenómeno idéntico al comentado en la descripción hecha del ciclo de compresión mecánica, y se evapora parcialmente, llevando la temperatura de la masa del líquido a la temperatura de saturación que corresponde a la presión en la que la cámara del evaporador se encuentra. De esta forma, el líquido frío está en condiciones de tomar calor del fluido que circula por el interior del haz tubular del evaporador, hasta evaporarse, cerrando así su ciclo³.

Figura B.2.



³ Absorption refrigeration. Air-Conditioning Clinic, The Trane Company, 1985.

Figura B.3.



Si comparamos ambos ciclos, comprenderemos que en el de absorción los intercambiadores de calor del Absorbedor y del Condensador, junto con la bomba o bombas que hacen la función de transporte del absorbente, equivalen a su trabajo al compresor del ciclo de compresión mecánica. Mientras que en el evaporador, condensador y dispositivo de expansión de las máquinas de absorción se desarrollan procesos similares, por no decir idénticos, a los que tienen lugar en sus homónimos del ciclo de compresión mecánica. Sería válido referirse al Concentrador y Condensador de la máquina de absorción como Sector de Alta Presión, y al Absorbedor y Evaporador como Sector de Baja Presión, siguiendo la similitud con el ciclo de compresión mecánica.

B.2 Ámbito reglamentario

Nuestra Reglamentación no hace referencias muy explícitas a las aplicaciones de plantas frigoríficas y sistemas de Absorción.

El anterior Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria⁴, en su IT.IC, 11.4.3., establecía una relación simple de los componentes que debían incorporar las plantas de absorción, así como de los controles mínimos que deberían estar disponibles en cada equipo.

La IT.IC. 04.2.3., en su apartado d), se refería específicamente a los sistemas de absorción, autorizando su utilización exclusivamente cuando se dispusiera de una fuente de energía térmica gratuita o residual de carácter permanente o bien cuando no existiera posibilidad de utilización de energía eléctrica, o en casos excepcionales expresamente autorizados. En todos los casos, las exigencias de rendimiento mínimo para instalaciones con equipos accionados térmicamente, según la tabla 4.5 de esta norma, eran del 48%, para equipos de concentrador calentado directamente por la combustión de combustibles líquidos o gaseosos, o del 68% para equipos con concentrador de calentamiento indirecto por vapor o agua caliente. Valores bastantes altos, sobre todo en este último caso.

Por su parte el actual R.I.T.E.⁵, es aún menos explícito, aunque preconiza las instalaciones de cogeneración, y todos aquellos sistemas que utilizan energías térmicas residuales, solo hace mención directa de los equipos de absorción en la ITE 04.11.3 e), en cuanto a la documentación exigible. Tratándose de un reglamento específico para instalaciones destinadas al confort humano en la edificación, es lógico que el R.I.T.E. no se ocupe de las instalaciones de refrigeración por absorción con mayor detalle, dado que estas son de mayor interés en aplicaciones industriales y de proceso.

⁴ Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización y A.C.S., Real decreto 1618/1980

⁵ Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios RITE, Real Decreto 1751/1998.

Tampoco hay actualmente ninguna Norma UNE específica para equipos de absorción, y los reglamentos de Recipientes a Presión y de Seguridad de Plantas e Instalaciones Frigoríficas, solo se refieren a estos con carácter general.

La normativa fuera de España es también bastante escasa, solo la norma ARI 560/1992 (Absorption water chilling and water heating packages)⁶, establece criterios de diseño y de aplicación para equipos de refrigeración por ciclos de absorción, así como para la realización de ensayos de prestaciones térmicas, esta norma es prácticamente la única específica de aplicación general para estos equipos. En conclusión, no se puede decir que la reglamentación aplicable a la maquinaria frigorífica de absorción y a su utilización sea extensa, lo cual no es beneficioso, en absoluto, ya que la falta de definición en muchos aspectos dificulta, o cuando menos limita, la especificación de este tipo de sistemas salvo en aplicaciones en las que su efectividad económica es evidente.

B.3 Consideraciones sobre operación y mantenimiento

Uno de los rasgos característicos de la maquinaria frigorífica de absorción ha sido siempre su hermeticidad y dificultad de comprensión para los operadores. Por principio, la necesidad de confinar sustancias de cierto riesgo como el Amoniaco, y de mantener depresiones relativas muy altas en su interior, para conseguir la evaporación de refrigerantes, tales como el agua, a temperaturas lo suficientemente bajas para hacerlas utilizables en procesos de refrigeración; recordemos que para que el agua se evapore a 5°C se requiere una presión absoluta de 870 Pa; condicionan un diseño mecánico muy robusto y hermético, que dificulta en buena medida la interpretación desde el exterior de lo que esta sucediendo en el interior de la máquina, durante su funcionamiento.

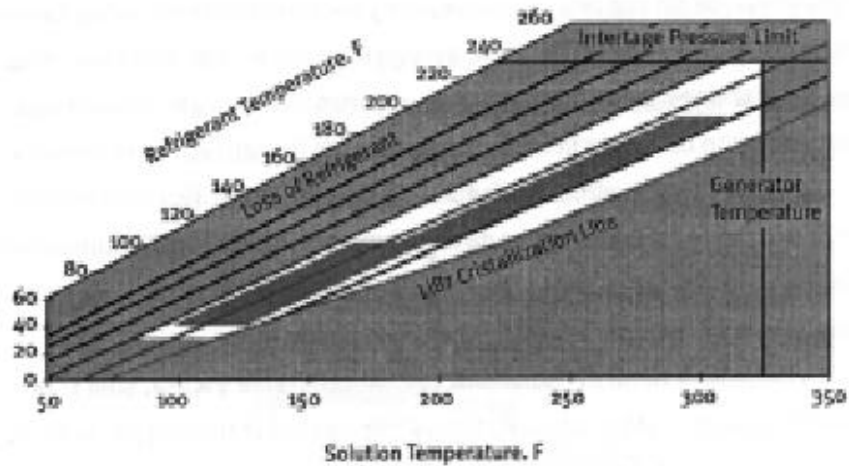
⁶ ARI Standard 560-1992, Air-Conditioning and Refrigeration Institute, 1992

Por otra parte, los técnicos frigoristas que se encuentran por primera vez delante de una planta enfriadora por ciclo de absorción, por muy expertos que sean en el servicio de maquinaria de compresión mecánica de vapor, tardan bastante tiempo en comprender que la mayoría de los criterios de servicio y las “reglas del arte” válidas en la refrigeración “convencional”, no son de aplicación inmediata a las máquinas de absorción.

El comportamiento de los fluidos interiores de la máquina de absorción, refrigerante y absorbente, durante el proceso de funcionamiento del ciclo está directamente condicionado por la evolución energética de los fluidos exteriores a la máquina; agua a enfriar en el evaporador, agua de la torre de recuperación, y agua caliente o vapor aportado al concentrador. El equilibrio energético entre todos los intercambiadores de calor de la máquina es el que condiciona la estabilidad del ciclo.

A diferencia de cómo se comporta un ciclo de compresión mecánica en el que el trabajo del compresor es determinante, en un ciclo de absorción el equilibrio se consigue a partir de efectos puramente termodinámicos. Esto también hace más compleja la comprensión del comportamiento de la máquina para los operadores, ya que esta se adapta en cada instante a las condiciones cambiantes de los circuitos exteriores, buscando el equilibrio, como un ser vivo se adapta a las condiciones del medio que le rodea. Los americanos llaman a la máquina de absorción “the living machine”.

Figura B.4. Ábaco de Equilibrio para Soluciones Agua-BrLi.



Además, la gran inercia térmica de las máquinas de absorción para adaptarse a las variaciones externas, debido fundamentalmente a su volumen y a las cantidades importantes de absorbente y refrigerante que contienen, son también inconvenientes para la buena comprensión de su expuesta en unas determinadas condiciones de estado.

Desde el punto de vista de su operación y mantenimiento, las máquinas de absorción requieren intervenciones específicas que no son de aplicación en otro tipo de circuitos frigoríficos. Por ejemplo: Es preciso efectuar mediciones periódicas del estado de pureza del agua y de las soluciones salinas, mediante la extracción de muestras y análisis de las mismas; el conocimiento de los niveles de concentración en las soluciones es imprescindible para determinar si el rendimiento instantáneo de un determinado equipo es o no correcto; la medición del nivel de vacío interior en una máquina es fundamental para comprender si la producción frigorífica se está llevando a cabo correctamente, etc. En el servicio de las máquinas de absorción se utilizan útiles e instrumentos tales como bombas de trasiego, densímetros, vacuómetros y aditivos químicos que se aplican en otros equipos de

refrigeración. Sin embargo no se utilizan manómetros frigoríficos que son de uso común en los circuitos de compresión mecánica⁷.

B.4 Criterios actuales de diseño

Cuando las primeras plantas de absorción aparecieron en el mercado la tecnología electrónica estaba en sus albores, para su control y regulación se utilizaron dispositivos neumáticos de forma generalizada. Con estos controles, un ejerciendo correctamente su función, la hermeticidad de la máquina se hacía mayor, si cabe, para los operadores, y era laboriosa y complicada la interpretación del comportamiento de una máquina en unas condiciones de estado determinadas.

Hoy en día estas dificultades de acceso e interpretación se han eliminado prácticamente, y es mucho más sencillo e inmediato analizar el comportamiento de un equipo en unas condiciones dadas. Este gran avance se debe, fundamentalmente al desarrollo y perfeccionamiento de las aplicaciones de la microelectrónica al control y gestión de la maquinaria en general, que también se ha hecho patente en las máquinas frigoríficas en los últimos años.

La aplicación de dispositivos de control basados en microprocesadores, permite la utilización de todo tipo de sensores de temperatura, presión y concentración, y la utilización de lógicas de control que: por una parte ponen al alcance de los operadores, de manera inmediata, una información importantísima e imprescindible para el manejo de la máquina, cuya obtención era como mínimo, muy laboriosa con los controles utilizados anteriormente; y por otra facilitan un funcionamiento más estable y seguro de las máquinas.

⁷ ABS-04 Operation Manual, The Trane Company 1994

En materia de seguridad y estabilidad de funcionamiento, los nuevos criterios que se aplican al diseño y la disponibilidad de tecnologías más potentes, han aportado grandes mejoras. Así por ejemplo, se ha conseguido que los procesos de entrada en carga, puesta en régimen y parada de las máquinas, se desarrollen de manera equilibrada y sin riesgo de que se produzcan fenómenos perturbadores. La “temible” cristalización, causa de la mayoría de las incidencias y paradas de equipos de absorción con ciclos Bromuro de Litio/Agua en el pasado, es hoy en día, un fenómeno perfectamente controlable, y puede prevenirse sin demasiada dificultad mediante controladores de nivel y de concentración y válvulas automáticas. La presencia de incondensables en el interior de la máquina, indeseable por el efecto negativo que ejerce sobre la producción frigorífica, es hoy fácilmente combatible mediante el empleo de sistemas automáticos de purga de elevadísima eficiencia.

Finalmente, la adaptación de la producción a la demanda energética en cada aplicación se efectúa en las máquinas de última generación con gran efectividad, mediante procesadores de acción P.I.D. Y convertidores de frecuencia para el accionamiento de los motores de las bombas, con los que se consiguen mejoras sustanciales de la eficiencia de los ciclos y de los coeficientes de operación (C.O.P.) de los equipos.

Desde el punto de vista de resistencia mecánica también se han conseguido mejoras importantes. La utilización de aceros aleados de alta resistencia en la fabricación de las envolventes permite una construcción más ligera, y el empleo de tubos de materiales inoxidables o de alta resistencia a la corrosión, como el cuproniquel, en la fabricación de los haces tubulares de los intercambiadores de calor, facilita mejores rendimientos en la transmisión de calor al tiempo que alarga la vida útil de las máquinas.

El conjunto de mejoras accesibles, gracias a la utilización de nuevas tecnologías, junto con las ventajas que los ciclos de absorción ofrecen en lo relativo al aprovechamiento de energías residuales y su baja influencia en el deterioro del Medio Ambiente, en comparación con otros sistemas de refrigeración como más adelante comentaremos, hacen que la Refrigeración por Absorción sea hoy considerada como opción interesante para la solución de problemas de refrigeración en procesos industriales y de climatización, para los que solo unos años atrás era descartada

B. 5 Interés energético

En todo proceso de definición de las posibles soluciones a un determinado problema de aprovechamiento energético, los considerandos que más fuertemente influyen en la decisión de los proyectistas y de las propiedades son de índole económica, fundamentalmente, aunque hoy en día las consideraciones de impacto ambiental tienen también una importancia prioritaria.

Las relaciones entre el coste de la inversión inicial requerida y el beneficio esperado y entre los costes y resultados de explotación previstos, en resumidas cuentas el “cash flow” del proyecto, son determinantes en la elección de la solución idónea.

A partir de estas premisas, es preciso analizar en detalle todas las posibles soluciones teniendo en consideración no solo el coste de los equipos a instalar, sino también el coste de las energías a consumir, con una proyección de futuro sobre la evolución que, previsiblemente, puedan experimentar estos últimos durante el periodo que se establezca como plazo de amortización de la instalación a realizar. Este criterio, normalmente, reduce de forma drástica el abanico de posibles opciones.

El coste inicial de una planta frigorífica de absorción resulta, en la mayoría de los casos, superior al de un equipo de compresión mecánica de la misma capacidad. La razón para esta diferencia está en la muy superior cantidad de materiales metálicos que son necesarios para la fabricación de los intercambiadores de calor, en equipos que se basan en procesos termodinámicos sin prácticamente aportación del equivalente térmico del trabajo mecánico.

Sin embargo, cuando se analizan los costes de explotación a partir del valor de las energías consumibles, la balanza puede desplazarse a favor de los equipos de absorción, si se dan las condiciones de partida necesarias⁸.

C.O.P. El concepto de C.O.P. (Coefficient of Performance) en refrigeración, es sinónimo de Eficiencia Energética en el evaporador. C.O.P. se define “oficialmente” como: “La cantidad de refrigeración obtenida de una máquina dividida entre la cantidad de energía que se requiere aportar para conseguir esta refrigeración (ASHRAE 1993)”⁹. En este cómputo no se incluyen los consumos auxiliares de energía eléctrica necesarios para el funcionamiento de bombas y ventiladores.

Los C.O.P.s esperables de los ciclos de absorción son también muy bajos comparados con los de los ciclos de compresión mecánica. En máquinas de absorción de una etapa, con Bromuro de Litio, no se superan C.O.P.s de 0,7, en máquinas de doble etapa se alcanzan valores que pueden ser hasta 1,5 veces a los esperables en una etapa, es decir de hasta 1,2, esto significa que las máquinas de doble etapa aprovechan mejor la energía que las de etapa

⁸ Application Guide for Absorption Cooling/Refrigeration using recovered heat, ASHRAE, 1995

⁹ ASHRAE Fundamentals Handbook, SI Edition, 1997

simple. En ciclos de baja temperatura Amoniaco/Agua se consiguen valores de C.O.P. de 0,5 y pueden alcanzarse máximos de 0,8.

Por el contrario en equipos de compresión mecánica de gran cantidad, con compresores centrífugos y de tornillo, se consiguen en la actualidad rendimientos frigoríficos entre 4,5 y 5,5 kW/kW (C.O.P.s en el evaporador de 4,5 a 5,5). A igualdad de costes de las energías consumibles, estas diferencias tan espectaculares habrían convertido a las máquinas de absorción, hace mucho tiempo, en piezas de museo o “curiosidades tecnológicas”.

¿Cuál puede ser, entonces, la razón para que los ciclos de absorción sigan teniendo actualmente una aplicación práctica? La respuesta es bastante sencilla: El coste de producir el trabajo mecánico necesario para obtener un kW de refrigeración por ciclo de compresión mecánica de vapor es, normalmente, superior al coste necesario para recuperar la cantidad de calor a aplicar para obtener el mismo kW en un ciclo de absorción. El coste de la energía básica es el único factor que determina la posible competitividad de los sistemas de absorción frente a los de compresión mecánica.

Por ejemplo: Si comparamos un sistema de refrigeración por compresión con un C.O.P. esperable de 5,5, y un sistema de absorción de doble etapa con un C.O.P. de 1, en una aplicación en la que se dispone de una fuente de calor recuperable cuyo coste por kW recuperado es de 1 unidad mientras que el coste de la energía eléctrica necesaria para hacer funcionar las máquinas de compresión es de 6 unidades, será evidente el interés de utilizar el sistema de absorción, simplemente a partir de los costes de las energías, sin tener en consideración otras posibles ventajas. Este es un análisis demasiado simplificado, ya que no se han tenido en consideración los costes energéticos que implica el funcionamiento de las torres de recuperación, las

bombas de agua de torre, ni las bombas de agua fría. Un estudio más completo nos llevaría a la conclusión de que, teniendo en cuenta todos los consumos de todo tipo de energías en una aplicación dada, el coste de la energía eléctrica debería ser de 8 a 9 veces superior al de la energía térmica recuperada por hacer que la opción por absorción fuera competitiva con la de compresión mecánica.

Lo que es evidente es que siempre que exista la posibilidad de utilizar energías térmicas desechables, gratuitas, o de muy bajo coste, procedentes de energías renovables, o efluentes de procesos industriales o de sistemas de cogeneración, la aplicación de sistemas de absorción para la producción frigorífica será competitiva e interesante (*Application Guide for absorption cooling/refrigeration using recovered heat ASHRAE, 1995*)

También es preciso citar que aún existen lugares en los que la disponibilidad e energía eléctrica para grandes potencias no está garantizada, o bien implica un coste muy elevado, y sin embargo existen combustibles fósiles accesibles, gas natural por ejemplo, a un precio aceptable. Esta es otra posibilidad de aplicación de los sistemas de absorción, utilizando en estos casos máquinas con combustión directa que consumen un combustible líquido o gaseoso directamente para la producción de calor y frío de forma simultánea o alternativa, con C.O.P.s que pueden alcanzar valores de 1,5.

Así mismo puede resultar interesante la aplicación de sistemas «híbridos», que se basan en la instalación de máquinas de absorción en serie, o en paralelo, con máquinas de compresión mecánica sobre el mismo circuito de agua enfriada. En estos sistemas, las máquinas de compresión se utilizan para hacer frente a las cargas térmicas básicas, o en horas valle, mientras que las máquinas de absorción se utilizan exclusivamente en horas punta o para combatir las demandas punta. Esto permite dimensionar las máquinas

que consumen energía mas cara para condiciones de menor carga, lo que repercute favorablemente en los costes de explotación de la instalación.

REDUCCIÓN DE CONSUMOS PRIMARIOS. De todo lo comentado hasta ahora puede extraerse otra conclusión importante; teniendo en cuenta que los sistemas de absorción son tanto más interesantes, económicamente hablando, cuanto más barata es la energía térmica disponible para el accionamiento de las máquinas, está claro que este tipo de equipos son especialmente útiles para recuperar calor de deshecho, y esta particularidad permite enfocar el problema de aprovechamiento energético desde otro punto de vista.

Los sistemas de absorción no solo hacen posible la utilización de energías térmicas que serian evacuadas a la atmósfera de no utilizarse estos sistemas para su recuperación y aprovechamiento, sino que además, al mismo tiempo, evitan el consumo de energías más caras, fósiles o eléctricas, para su utilización en la producción frigorífica. Es decir, de alguna manera, dan lugar a un doble ahorro de energía; uno por la recuperación de energías desechables y otro por la reducción de consumos primarios en la producción de energía eléctrica.

EXPERIENCIAS EN EL DISEÑO DE INSTALACIONES. El cálculo de cualquier instalación de plantas frigoríficas de absorción debe efectuarse, como en cualquier otro tipo de instalación, con el rigor necesario para que se consigan las prestaciones esperadas una vez la instalación se encuentre en servicio. El elevado coste inicial de los equipos condiciona muchas veces a los proyectistas en el sentido de intentar ajustar por defecto la capacidad útil de las plantas de absorción, para así reducir su tamaño y su coste. La determinación de la potencia a instalar en absorción debe realizarse siempre

a partir de los valores de demanda máxima a los que los equipos se van a ver sometidos en las condiciones de diseño.

No hay que olvidar que el rendimiento de la máquina de absorción va a efectuarse directamente por la calidad y la cantidad de energía aportada a su concentrador, así como por la variación de los niveles energéticos de los fluidos circulantes por su evaporador y absorbedor-condensador, como ya hemos comentado. Esto quiere decir que el proyectista debe poner un especial cuidado en verificar que se cumple la ecuación de equilibrio del sistema en cualquier condición, pero sobre todo en la de carga máxima.

En toda máquina de absorción se debe cumplir la siguiente ecuación de equilibrio térmico:

$$H_g + H_e = H_a + H_c$$

En la que:

H_g: Calor aportado al concentrador.

H_e: Calor aportado al evaporador.

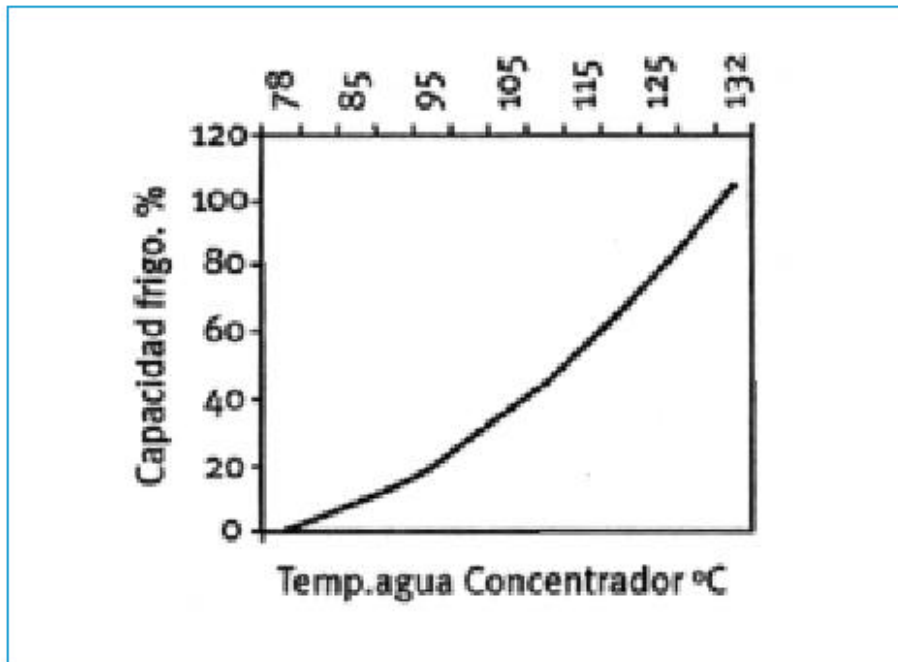
H_a: Calor cedido en el absorbedor

H_c: Calor cedido en el condensador.

Si los caudales de agua, o vapor, en circulación por los distintos intercambiadores, difieren de los de proyectos en las condiciones reales de una instalación dada, o bien las temperaturas de los fluidos son distintas de las definidas, el ciclo frigorífico de la máquina se autoequilibrará, en la medida de sus posibilidades, modificando los saltos térmicos y las condiciones de trabajo del equipo, para tratar de conseguir que se igualen los términos de la ecuación anterior. Esto, lógicamente llevará a la máquina a funcionar en unas condiciones que se parecerán poco a aquellas para las

que fue proyectada. Y que será muy difícil corregir, por no decir imposible, una vez la instalación en servicio.

Figura B.5. Relación entre Capacidad Frigorífica y Energía aportada.



Por ello permítasenos insistir en la importancia que tiene que el diseñador de la instalación se asegure muy bien “a priori” de que las condiciones de cálculo van a ser realmente alcanzables, cuando la instalación se ejecute. Deberá verificar principalmente los siguientes factores para las condiciones de diseño a plena carga:

- Caudal real de energía disponible a aportar al concentrador; gasto de vapor a la presión de diseño, o caudal de agua caliente a la temperatura máxima alcanzable para el dimensionamiento de la planta enfriadora.
- Caudal de agua nominal en el evaporador y temperaturas de entrada y salida de agua.

- Caudal de agua nominal a través del absorbedor y condensador y temperaturas máxima y mínima alcanzables en la torre de recuperación.
- Capacidad real de disipación de calor en la torre de recuperación, en las condiciones nominales de diseño, para los caudales y temperaturas anteriores.

A partir de estos parámetros verificará que la ecuación de equilibrio se cumple.

Para enfatizar la importancia de estas comprobaciones, comentaré un error de cálculo que ha dejado de ser anecdótico para hacerse típico, dada la frecuencia con que se produce: En el diseño de sistemas de cogeneración se da la tendencia de tratar de escatimar en el diseño de la planta o plantas de absorción que van a encargarse de aprovechar el calor de refrigeración de los grupos. Es evidente que, cuanto mayor sea el nivel térmico de la energía aportada al concentrador de la máquina, mayor es el rendimiento de esta para una capacidad de producción frigorífica de diseño determinada y, consecuentemente, son menores su tamaño y su coste.

Por su parte, los grupos electrógenos, sobre todo si son accionados por motores de ciclo Otto o Diesel, tienen mejores rendimientos cuando sus temperaturas de trabajo se mantienen en valores inferiores a los máximos admisibles a régimen. La tendencia es a dimensionar las plantas de absorción para valores de entrada de agua caliente al concentrador coincidentes con las temperaturas límite de trabajo de los motores. En el funcionamiento real de la instalación, estos valores límite no pueden mantenerse durante periodos de tiempo prolongados, ya que repercuten negativamente en el rendimiento de los motores e incluso originan paradas de estos por seguridad de alta temperatura.

El resultado es que el agua caliente llega al concentrador, en condiciones estables de plena carga, a temperaturas que son inferiores hasta en 100C al valor de diseño para el que la planta fue calculada. Y en estas condiciones el rendimiento de una planta de absorción definida cae de forma exponencial.

Por ejemplo; una enfriadora de simple efecto para una capacidad nominal de 2000 kW trabajando con agua en el concentrador a 130°C (condición nominal de diseño de la máquina), dará una producción de aproximadamente 1.200 kW con agua 115°C, y no llegará a producir 800 kW con agua entrando al concentrador a 95°C. Consecuentemente se afectarán las condiciones de trabajo del evaporador, absorbedor y condensador, las temperaturas de agua en la torre disminuirán y la torre quedará sobredimensionada, y en el evaporador no será posible alcanzar las temperaturas de agua fría de diseño. La máquina trabajara con niveles de concentración muy bajos, y sin embargo estará sometida a riesgo de cristalización como consecuencia de trabajar con bajas temperaturas del agua de torre a la entrada del absorbedor.

Cuando exista la duda razonable de que en una instalación puedan darse situaciones como la comentada, es preferible dividir la potencia requerida entre dos e instalar dos plantas de absorción para el 50% de la demanda, cada una, aunque esto evidentemente, supone una inversión inicial mayor.

B.6 IMPACTO AMBIENTAL

Por último, pero no por menos importante, vamos a comentar las peculiaridades de los equipos de refrigeración por absorción en lo relativo a la incidencia de su utilización sobre el medio ambiente.

Me centraré en el comentario de los ciclos Agua-Bromuro de Litio, cuya influencia medioambiental considero menos conocida, ya que los ciclos

Amoniaco-Agua están mas condicionados en su efecto medioambiental por la presencia del Amoniaco como refrigerante, y su divulgación ha sido más amplia por esta razón, al ser este agente frigorífico plenamente ecológico, sobre todo en lo relativo a su ODP (Potencial de Destrucción de Ozono) y GWP (Efecto Invernadero). Los aspectos de impacto indirecto, en función de la contaminación originada en la producción de energía eléctrica, y de TEI (Impacto Ambiental Global), son prácticamente comunes a ambos tipos de ciclos y están en relación directa con los COPs de cada máquina, para cada aplicación concreta, por lo que serán válidas para el ciclo Amoniaco-Agua las consideraciones que se harán sobre los ciclos Agua-Bromuro de Litio.

ABSORCIÓN VERSUS COMPRESIÓN MECÁNICA. Dejando a un lado el impacto medioambiental de los agentes frigoríficos, que se tratará en el apartado siguiente, entre las máquinas frigoríficas de absorción y las de compresión mecánica de vapor, existen diferencias muy significativas en cuanto a la influencia de su utilización sobre el medio ambiente.

Los expertos en esta materia, han coincidido en que el factor que determina con mayor exactitud la incidencia sobre el medio ambiente de una máquina o proceso, es el que se ha dado en denominar TEI (Total Environmental Impact) que engloba todos los parámetros de influencia:

- ODP (Potencial de destrucción de Ozono).
- GWP (Potencial de calentamiento global-Efecto Invernadero)
- Consumo de los equipos (COP).
- Vida atmosférica.
- Carga de los equipos (Refrigerante).
- Emisiones de los equipos.

De todos estos parámetros el de mayor importancia, cuando nos referimos a la maquinaria frigorífica, resulta ser el consumo de los equipos, englobando tanto los consumos directos de energía de cada máquina como los de energías primarias y fósiles necesarios para la producción de la energía eléctrica que después se va a consumir en ella, e incluyendo las emisiones de gases invernadero (CO₂, fundamentalmente) que van aparejadas con la producción de esta energía.

La Agencia Internacional del Medio Ambiente ha determinado que el 98% del TEI de una planta frigorífica se debe a la emisión de gases invernadero que se originan en la producción de la energía eléctrica necesaria para su funcionamiento. Solo el 2% restante se debe a las emisiones originadas por la propia máquina.

Si consideramos ahora que el consumo eléctrico de una planta de absorción es, por término medio, un 7% del correspondiente a un equipo de compresión mecánica, y que la energía térmica que consume, salvo en las aplicaciones de combustión directa, procede como efluente de un proceso, es decir que su impacto medioambiental se debe a otras necesidades ajenas a las de la producción frigorífica, concluiremos que el TEI de una planta de absorción es tan solo el 7,15% respecto al equipo de compresión mecánica equivalente.

Este valor se reduce hasta el 7% si tenemos en cuenta que un equipo de absorción no origina emisiones propias, ya que su interior, por principio, se encuentra en depresión frente a la atmósfera, y que aun en el supuesto de que por una avería se produjera algún vertido o emisión al exterior de sus fluidos interiores, esto no tendría ningún efecto contaminante para el medio, dadas las características de estas sustancias.

En equipos que funcionan con combustión directa, el efecto de las emisiones propias se acentúa, no por lo que se refiere a las emisiones indirectas que se originan en la producción de energía eléctrica que supondrían un porcentaje equivalente al comentado para equipos actuados por vapor o agua caliente, sino por la emisión de los productos de la combustión que se generan en la máquina. En este sentido, considerando un COP medio de 1 en la producción frigorífica, y un rendimiento en la combustión de un 90%. con gas natural, alcanzaríamos un valor de TEI prácticamente idéntico al que correspondería a un equipo de compresión de la misma capacidad frigorífica accionado eléctricamente y con un COP de 4,5. Esto sin tener en cuenta los efectos debidos a los agentes frigoríficos, que en caso de la absorción serían nulos.

REFRIGERANTES. En lo que a agentes frigoríficos se refiere, la balanza se inclina favorablemente a favor de la utilización de ciclos de absorción frente a los de compresión mecánica para la producción frigorífica. Desde el punto de vista medioambiental el interés de los primeros es evidente, por las siguientes razones:

En los ciclos Agua-Bromuro de Litio el refrigerante que se utiliza R-718 (agua destilada), y el absorbente es una solución de Bromuro de Litio. En los ciclos Amoniaco-Agua se utiliza R-717(Amoniaco) como refrigerante y agua destilada como absorbente. Las tres sustancias tienen un comportamiento muy favorable con el medio ambiente, como se resume en la tabla siguiente, si bien se precisan precauciones especiales para la manipulación y mantenimiento de los equipos que trabajan con Amoniaco, dada la peligrosidad de esta sustancia para el ser humano, sobre la que no es preciso abundar ya que es sobradamente conocida.

Por lo que respecta al agua, solo cabe señalar la necesidad de controlar su pureza cuando se emplea como refrigerante, más por lo que puede afectar al rendimiento de los equipos que por sus efectos sobre las personas y el medio ambiente para los que es completamente inocua.

Tabla B.1 Refrigerantes y absorbentes

	R-717 Amoniaco	R-718 Agua	BrLi Sal Diluida
Estabilidad química	Media	Alta	Alta
Toxicidad	Alta	Nula	Baja
Disponibilidad	Alta	Alta	Alta
Efectos contaminantes	Bajos	Nulos	Nulos
ODP.....	o	o	o
GWP.....	o	o	o
TEWI	Bajo	Nulo	Bajo
Calor lat. vaporización.....	1,25 MJ/kg	2,5 MJ/kg	N/A
Coste	Medio	Bajo	Medio

La sal de Bromuro de Litio es, así mismo inocua, aunque en solución acuosa tiene efectos detergentes bastante acusados por lo que no debe ser ingerida y conviene ser manipulada con la precaución necesaria para evitar derrames que pueden decolorar los suelos de madera y otros materiales orgánicos. No se requieren más prevenciones.

APROVECHAMIENTOS ALTERNATIVOS. Por último no queremos dejar de comentar las posibilidades de los equipos de absorción para ser utilizados para la refrigeración y climatización en aplicaciones en las que se dispone de fuentes alternativas de energía. Energías no convencionales como la Geotérmica, la Biomasa y la Solar Térmica pueden ser empleadas como fuente de aporte energético a los concentradores de plantas de absorción de simple efecto, para valores de temperatura de agua comprendidos entre 80 y 130°C, bien es verdad que con COPs bastante bajos, alrededor de 0,5, pero con la ventaja que supone la independencia de fuentes convencionales de

energía y, sobre todo, el ahorro de combustibles fósiles y la reducción del impacto ambiental que su uso lleva aparejado.

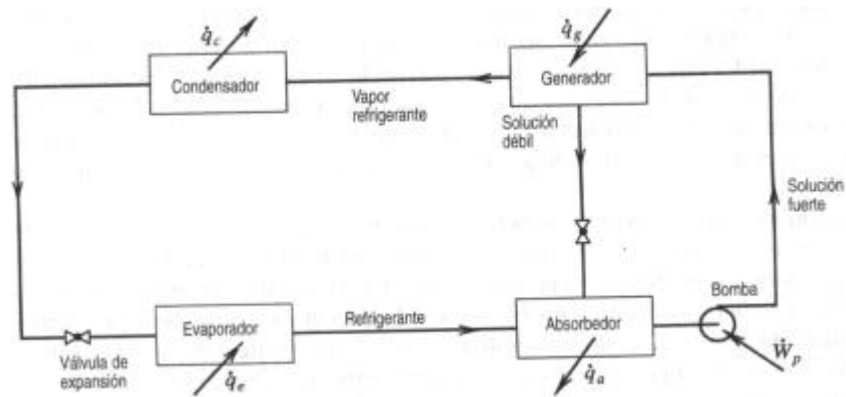
ANEXO C REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN

El ciclo de compresión de vapor ha sido el método más utilizado para el subsistema de refrigeración de los sistemas de CVAA, ya que es práctico y proporciona la eficiencia y confiabilidad que demandan los usuarios. *El sistema de absorción* ha encontrado su nicho donde se puede obtener una gran cantidad de calor barato o de desecho. Los cambios en la economía y la disponibilidad de combustibles han influido en la selección de estos tipos de sistemas. Donde los precios del gas combustible prometen ser menores que los precios de la electricidad, se ha promovido la utilización de enfriadores y calefactores de absorción alimentados por gas. Estos sistemas tienen la capacidad de proporcionar calefacción y enfriamiento simultáneamente.

Las preocupaciones ambientalistas respecto a muchos de los refrigerantes de halocarburos han *trocado que se preste* más atención a los sistemas de absorción, ya que los fluidos que utilizan estos sistemas tienen un efecto benigno sobre la atmósfera.

En la figura C1 se ilustran los rasgos esenciales del ciclo de absorción. Observe que el compresor del ciclo de compresión de vapor ha sido reemplazado por el generador, el absorbedor y la bomba, y que la solución de refrigerante y absorbedor circula a través de todos estos elementos. El refrigerante sin mezcla fluye a través del condensador, la válvula de expansión y el evaporador. En el generador se transfiere el calor a la solución, y el vapor de refrigerante se separa de la solución, mientras que en el absorbedor ocurre el proceso opuesto.

Figura C1. Ciclo básico de absorción



La facilidad con la que pueden realizarse estos procesos en la realidad depende de la interacción refrigerante-absorbente y de todas las mejoras que el ciclo requiere en la práctica real. Estos factores se explican más adelante. El desempeño global del ciclo de absorción, en términos de efecto refrigerante por unidad de energía suministrada, generalmente es bajo; sin embargo, si se utiliza calor residual, como el que desecha una planta termoeléctrica, se puede lograr un mayor nivel de conservación global de energía.

C 2. Propiedades y procesos de las mezclas binarias homogéneas

Una mezcla homogénea tiene una composición uniforme, y no puede ser separada en sus componentes constituyentes utilizando sólo medios mecánicos. Propiedades tales como presión, densidad y temperatura son uniformes a través de toda la mezcla. Bosnjakovic ha estudiado ampliamente las mezclas binarias.

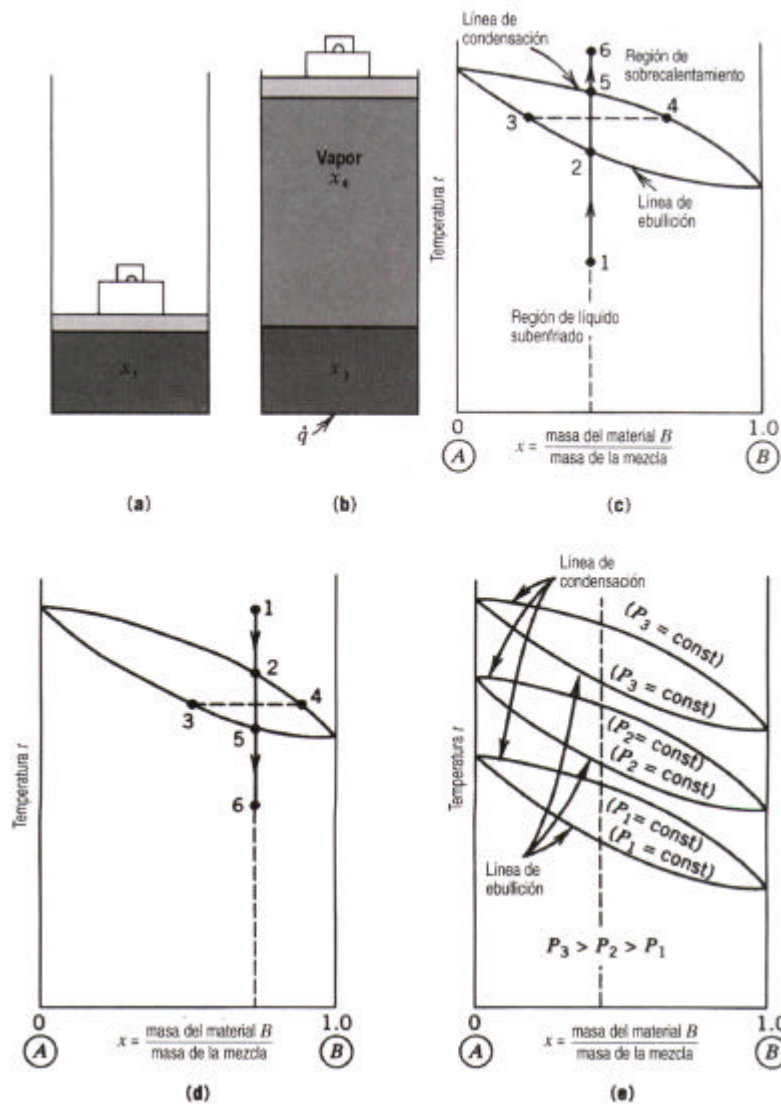
El estado termodinámico de una mezcla no puede especificarse enunciando dos propiedades independientes, como podría hacerse en el caso de una sustancia pura. Se requiere indicar la composición de la mezcla tal como la describe la *concentración x* (la razón entre la masa de un constituyente y la masa de la mezcla), además de otras dos propiedades independientes, (la presión y la temperatura).

La *miscibilidad* de una mezcla es una característica particularmente importante para un sistema de absorción. Una mezcla es *miscible* si sus componentes no se separan después de mezclarlos. Una mezcla miscible es homogénea. Algunas mezclas miscibles pueden dejar de serlo bajo ciertas condiciones, especialmente cuando cambia su temperatura. La mezcla de aceite y refrigerante 22 es miscible a altas temperaturas, pero a bajas temperaturas es inmisible. Las mezclas binarias para un ciclo de refrigeración por absorción deben ser completamente miscibles tanto en su fase líquida como en su fase gaseosa, y esta miscibilidad debe ser continua, sin interrupciones.

En la refrigeración por absorción es importante el comportamiento de una mezcla binaria en la vecindad de la región de saturación. Para comprender este comportamiento, resulta útil el uso de experimentos imaginarios, así como de un diagrama de temperatura *versus* concentración. En la figura 2a se muestra un arreglo pistón-cilindro que contiene una mezcla binaria en la fase líquida, con una concentración x_1 de material *B*. El pistón tiene una masa fija y opera sin fricción, de manera que la presión de la mezcla siempre es constante. La figura 2c es el diagrama t - x para la mezcla, en el que el punto 1 es el estado inicial. A medida que el calor es transferido a la mezcla, aumenta la temperatura; en el punto 2 comienza a formarse vapor, el cual se acumula bajo el pistón, como se muestra en la figura 2b. Si se para el experimento en algún punto por encima de esta temperatura y se determinan

las concentraciones de vapor y líquido, se observará un resultado un poco sorprendente. Por ejemplo, el estado del líquido está en el punto 3, mientras que el estado del vapor está en el punto 4, y la concentración de material *B* en el vapor (x_4) es mayor que en el líquido (x_3). Más adelante se verá que este fenómeno es muy útil en el ciclo de absorción.

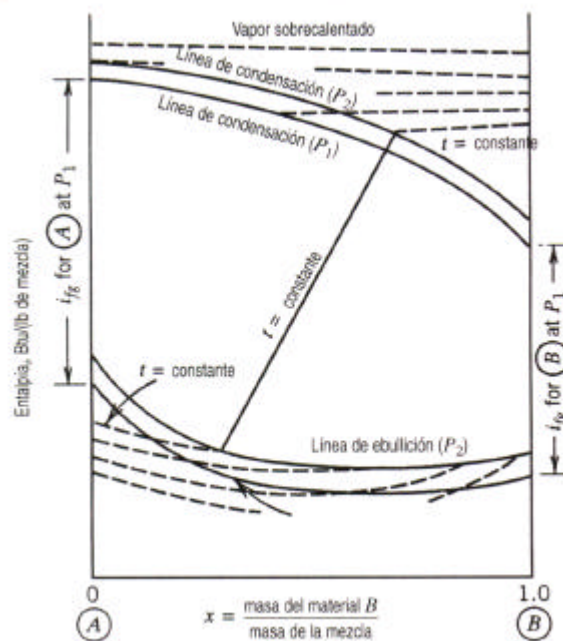
Figura C2 características de evaporación y condensación de una mezcla binaria homogénea. a) líquido subenfriado, b) mezcla de dos fases, c) diagrama $t-x$.



El calentamiento continuo de la mezcla vaporizará de manera gradual todo el líquido (estado del punto 5) con una concentración de $x_1 = x_5$. El calentamiento adicional sobrecalentará el vapor hasta el punto 6. Cuando el vapor sobrecalentado se enfríe a presión constante, todo el proceso se revertirá, como se muestra en el figura 2d. Experimentos adicionales realizados a diferentes concentraciones pero a la misma presión establecen líneas de ebullición y condensación como las que se muestran en las figuras 2c y 2d.

A diferencia de una sustancia pura, las mezclas binarias no tienen una sola temperatura de saturación para cada nivel de presión, debido a que las temperaturas de saturación dependen de la concentración.

Figura C3 diagrama i - x de regiones de líquido vapor para una mezcla binaria homogénea



Una representación más útil de las propiedades de una mezcla binaria es el diagrama de entalpía-concentración. La figura 3 es un diagrama esquemático i - x que incluye las regiones de líquido y vapor para una mezcla binaria

homogénea. Las líneas de condensación y ebullición para una presión dada no convergen en $x = 0$ y $x = 1$, sino que están separadas por una distancia proporcional a la entalpía de vaporización de cada constituyente. Se muestran líneas de temperatura constante en las regiones del líquido y del vapor, pero no en la región de saturación. Cuando en una misma carta se muestran líneas de ebullición y condensación para más de una presión, se vuelve difícil distinguir las isotermas apropiadas para cada presión en la región de saturación. Sin embargo, estas isotermas se pueden situar cuando sea necesario.

La carta 2 es un diagrama entalpía-concentración para una mezcla de agua y amoníaco. La carta 2 cubre la región de subenfriamiento y de saturación, pero no tiene líneas de temperatura de la región del vapor. Las líneas de temperatura constante en la región de saturación se ubican utilizando líneas de construcción de equilibrio. Se traza una línea vertical, hacia arriba, desde el estado de líquido saturado a la línea de construcción de equilibrio para la misma presión. Desde ese punto se traza una línea horizontal hasta la línea del vapor saturado para la misma presión. Esta intersección nos da el punto del estado de vapor saturado. La isoterma para la temperatura dada es la línea recta que conecta los estados de líquido saturado y vapor.

A continuación se describirán los procesos termodinámicos más comunes que tienen lugar en los sistemas industriales y de refrigeración por absorción. Se trata de los procesos de mezcla adiabática y no adiabática de dos torrentes, de calefacción y de enfriamiento (incluyendo la evaporación y la condensación) y de estrangulación del flujo. La comprensión de estos procesos ayudará a la comprensión del ciclo de absorción. El diagrama $i-x$ será muy útil para la solución de los problemas relacionados con estos procesos.

C.3 Mezcla adiabática de dos torrentes

En la figura 4 se muestra una cámara donde se mezclan dos torrentes binarios de diferente concentración y entalpía en un proceso de flujo estable. La determinación del estado del caudal que sale de la cámara de mezclado implica balances de energía y masa en el volumen de control definido por la cámara de mezclado. El balance de energía es:

$$m_1 + i_2 m_2 = i_3 m_3$$

Mientras que el balance global de la masa está dado por:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

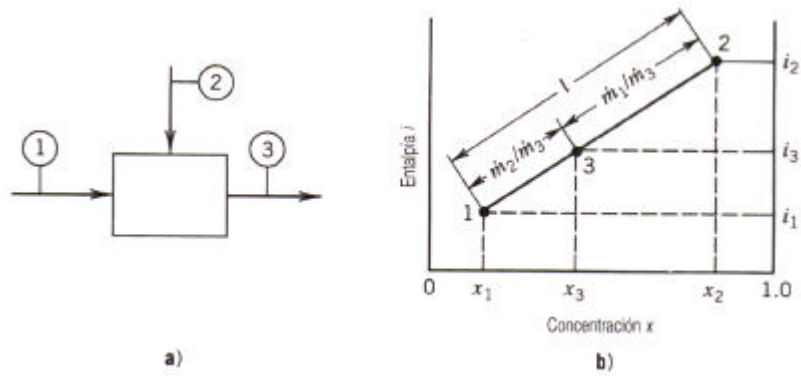
y el balance de la masa de un constituyente es:

$$m_1 x_1 + m_2 x_2 = m_3 x_3$$

La eliminación de m_3 de las ecuaciones da:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{i_2 - i_3}{i_3 - i_1} = \frac{x_2 - x_3}{x_3 - x_1}$$

Figura C4 Procesos de mezcla adiabática a flujo uniforme



La ecuación 15-17 define una línea recta en el diagrama i - x , como se muestra en la figura 15-23, y el estado 3 debe estar sobre esta línea. Se puede demostrar que:

$$x_3 = x_1 + \frac{m_2}{m_3}(x_2 - x_1)$$

$$i_3 = i_1 + \frac{m_2}{m_3}(i_2 - i_1)$$

El diagrama i - x se puede utilizar con ventaja para resolver problemas de mezclado, pero el procedimiento se vuelve un poco complicado cuando el estado final está en la región de la mezcla.

C.4 Mezcla de dos torrentes con intercambio de calor

Ese tipo de proceso es muy común, y ocurre en el absorbedor del equipo de refrigeración por absorción. En este caso, que se muestra en la figura 5, el balance de energía comienza así:

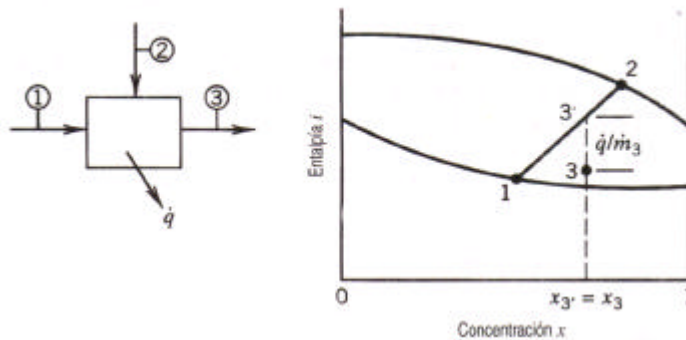
$$m_1 i_1 + m_2 i_2 = m_3 i_3 + q$$

Las ecuaciones para el balance de la masa son idénticas a las que se utilizan para la mezcla adiabática:

$$m_1 + m_2 = m_3$$

$$m_1 x_1 + m_2 x_2 = m_3 x_3$$

Figura C 5. Mezcla de flujo uniforme con dos torrentes con transferencia de calor



Se puede utilizar la ecuación 15-18 para la concentración x_3 ; sin embargo, la entalpía i_3 está dada por:

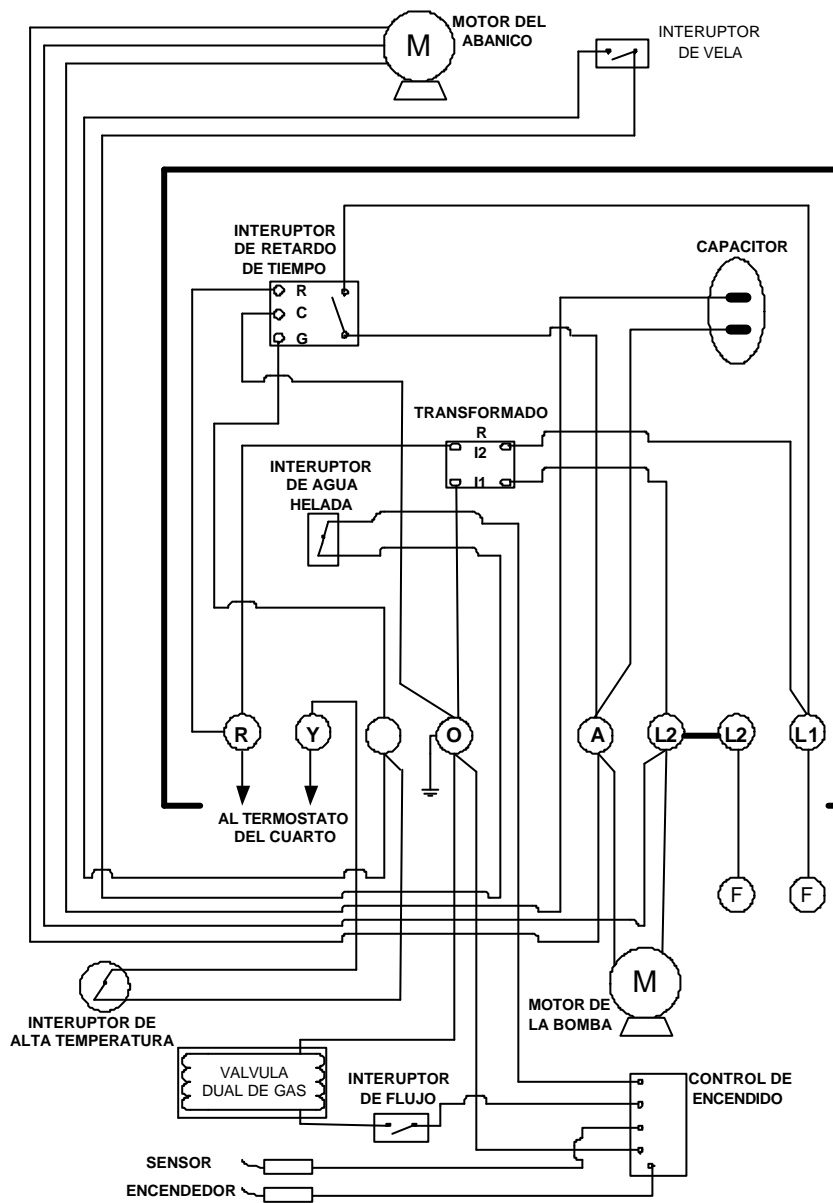
$$i_3 = i_1 + \frac{m_2}{m_3} (i_2 - i_1) - \frac{q}{m_3}$$

esta ecuación difiere de la ecuación solo en el último término. El significado de esto se muestra en el diagrama $i-x$ de la figura 5. El punto 3' representa

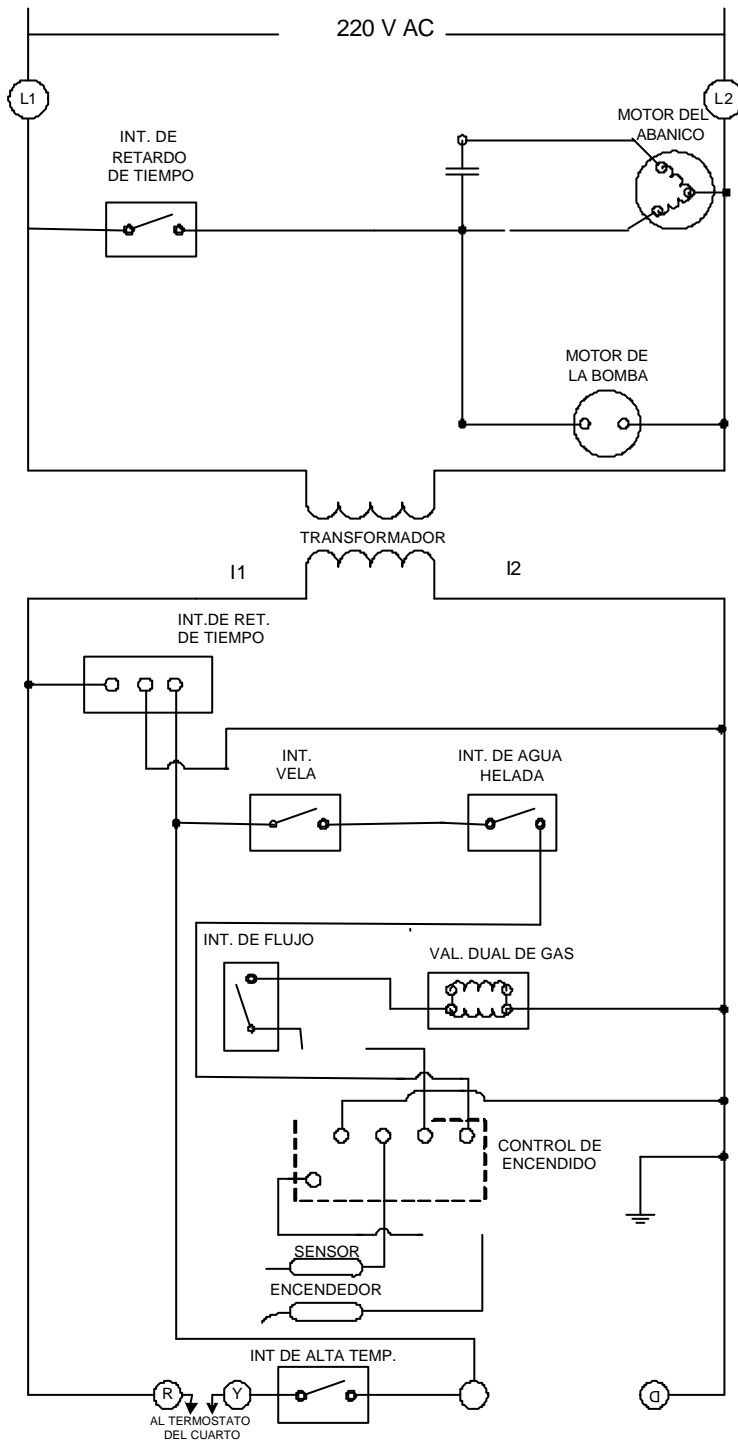
un estado que ocurriría con el mezclado adiabático. El punto 3 está localizado a una distancia de q/m_3 directamente debajo del punto 3' debido a que $x_3 = x_3$ y a que ahí se remueve calor. Si, por el contrario, se agregara calor, el punto 3 estaría sobre el punto 3'.

ANEXO D. ESQUEMAS ELECTRICOS

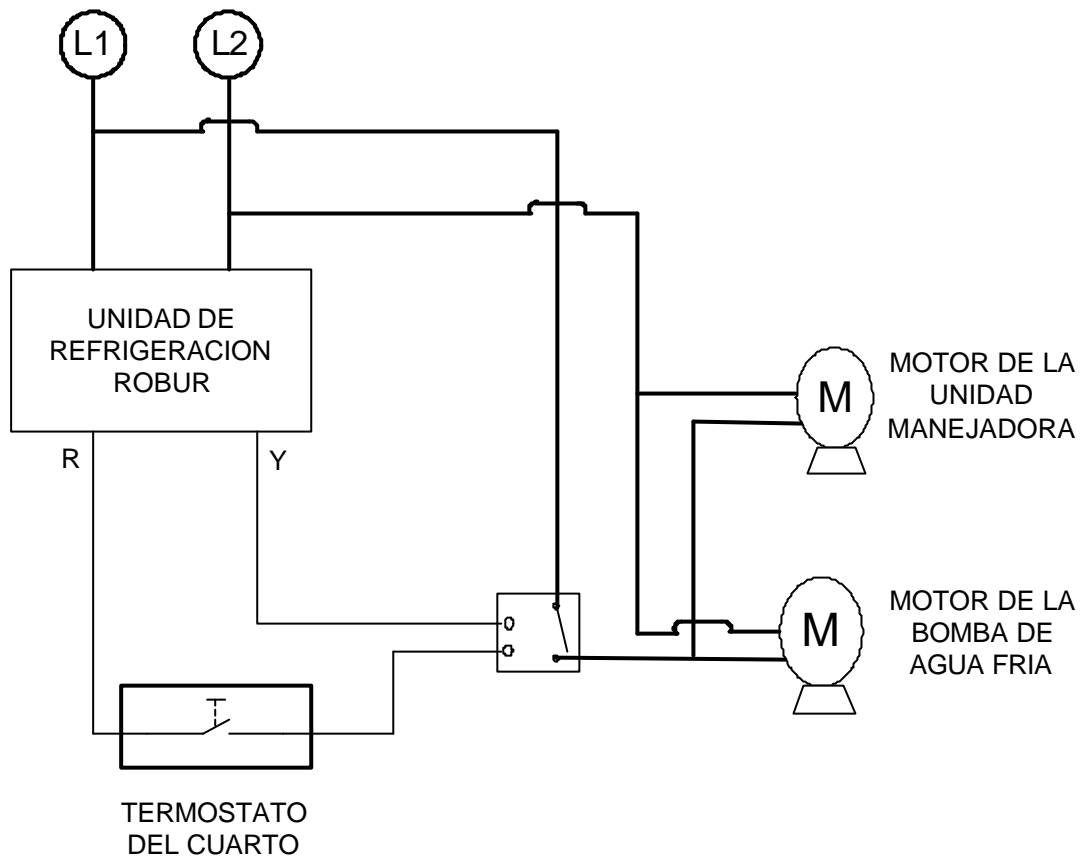
D.1 ESQUEMA ELECTRICO GENERAL



D.2 ESQUEMA ELÉCTRICO DE CONTROL



D.3 ESQUEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA



ANEXO E. SECUENCIA DE ENCENDIDO

Para una correcta puesta en marcha del equipo se debe seguir a cabalidad la siguiente secuencia.

- ✓ Verificar que todos los interruptores de secuencia (IS) del tablero de control se encuentren cerrados. Esto se verifica con los bombillos de secuencia, excepto los IS del encendedor, interruptor de flujo y de la válvula dual de gas, ya que estos encienden cuando el control de encendido envía los pulsos de corriente.
- ✓ Energizar todo el sistema, cerrando los tacos que se encuentran al costado derecho del panel de control.
- ✓ Dar la señal de encendido accionando el termostato del cuarto, como lo indica la figura E1.

Figura E1. Termostato del cuarto.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se logro adecuar satisfactoriamente un panel de control externo a la unidad de refrigeración SERVEL-ROBUR, que ilustra el papel de la caja de control.

Se adapto un banco didáctico que servirá como herramienta educativa para el conocimiento de los sistemas de refrigeración por absorción.

Se diseñaron tres pruebas que permitirán lograr el conocimiento del proceso de refrigeración por absorción, los elementos de control y potencia, y su función en el sistema., además de la operación normal de la unidad.

Se recomienda aprovechar los elementos que fueron dispuestos en la unidad de refrigeración (termopozos, termocuplas y manómetros) para realizar un análisis termodinámico real de la unidad.

Se recomienda hacer constantes limpiezas al equipo y el lugar donde se encuentra con el fin de mantener las condiciones optimas de operación y la durabilidad de los elementos del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

APPLICATION MANUAL SERVEL. Unitary gas fired air conditioners solution pump models. USA: ROBUR. 1997. 168p

ARTEAGA CRAWFORD, Juan Walberto y NEGRETE OLIVERA, José Luis. Instalación de una unidad de absorción Robur como una herramienta pedagógica en la escuela de ingeniería mecánica de la universidad industrial de Santander. Bucaramanga, 2004, 164 p. Trabajo de Grado (ingeniero mecánico). Universidad Industrial de Santander. Facultas de ingenierías físico – mecánicas.

BORGAN, Chad, LEIGHT. Steven and DORGAN. Charles. Aplication guide for absorption cooling / refrigeration using recorvered heat. Atlanta: American society refrigeration and air-conditioning engineers, INC. 1995.186 p.

MCQUISTON. PARKER. SPITLER. Calefacción, ventilación y aire acondicionado; análisis y diseño. MEXICO. Ed. LIMUSA, 2003. 622 p

SERVEL. Manual de servicio y mantenimiento. USA: ROBUR. 1992. 152 p.

SERVEL. Service Pictorial Tool List. USA: ROBUR. 1992. 147 p.