

**PUESTA EN MARCHA Y CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
SECUNDARIO. DISEÑO Y VALIDACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO.**

**Jhonny Fernando Sevilla Álvarez.
Andrés Felipe Henao Giraldo.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2012**

**PUESTA EN MARCHA Y CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN SECUNDARIO. DISEÑO Y VALIDACIÓN DE
LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO.**

Presentado por:
Jhonny Fernando Sevilla Álvarez.
Andrés Felipe Henao Giraldo.

Para optar al título de:
INGENIERO MECÁNICO.

Director:
Ing. MIGUEL E. ROSILLO P.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO DE CALI
2012

Nota de aceptación.

Firma del jurado.

Firma del jurado.

Santiago de Cali, 2012.

A Dios.

A mis padres, Ana Lucia Giraldo y Joaquin Horacio Henao, a mi hermano
Esteban Henao, a Ligia Caicedo, a William Rosero
a todos mis familiares y amigos.
Gracias por su apoyo incondicional.

Cordial saludo

Andrés Felipe Henao Giraldo

A Dios.

A mis padres, Esperanza Álvarez, Víctor Sevilla, a mi hermana
Vicky Sevilla, a Aleyda Monje, William Rosero
a todos mis familiares y amigos .
Gracias por su apoyo incondicional.

Cordial saludo

Jhonny Fernando Sevilla Álvarez

AGRADECIMIENTOS.

Gracias a DIOS.

Al profesor Miguel Rosillo por sus sabias enseñanzas, el trato respetuoso, el tiempo dedicado para la culminación de este trabajo de grado, por darnos ánimo y fuerza para poder concluirlo.

A la Universidad del Valle, a la Escuela de Ingeniería Mecánica, a sus profesores, gracias por las invaluable enseñanzas, consejos, además de la paciencia y comprensión.

A nuestra familia, especialmente padres que con su paciencia, comprensión y apoyo han logrado que culminemos esta etapa de nuestra vida; a nuestros familiares que de una u otra forma han sido importantes para este logro, mil gracias.

Por último y no menos importantes a nuestros amigos.

Gracias por su apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	10
2. INTRODUCCION.....	10
3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
4. JUSTIFICACIÓN.....	12
5. OBJETIVOS.....	12
5.1. Objetivo general	12
5.2. Objetivos específicos.....	12
6. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SECUNDARIO.....	13
6.1. Marco teórico.	13
6.2. Sistema de refrigeración secundario del edificio 340 de la Universidad del Valle.	15
6.2.1. Sistema de refrigeración (Sistema de compresión de Vapor).....	16
6.2.1.1. Compresor.	17
6.2.1.2. Separador de aceite	18
6.2.1.3. Condensador.	19
6.2.1.4. Acumulador	20
6.2.1.5. Filtros secadores.....	21
6.2.1.6. Visor de líquido	21
6.2.1.7. Válvula de expansión electrónica.....	22
6.2.1.8. Evaporador	23
6.2.1.9. Válvula solenoide	24
6.2.2. Sistema Glicol	25
6.2.2.1 Bomba de caudal.....	27
6.2.2.2. Tanques de hielo.	27
6.2.2.3. Válvulas tres vías.	28
6.2.3. Sistema Torre de Enfriamiento.....	30
6.2.3.1. Bomba de 5HP.....	31
6.2.3.2. Torre de enfriamiento.	31
6.2.4. Sistema de control	32
6.2.4.1. Variadores de frecuencia.	32
6.2.4.2. Controles.....	35
6.2.4.2.1. Control Danfoss AK2-SC-255.	37
6.2.4.2.2. Control válvula de expansión EKC 315A.	39
6.2.4.3. Sensores de temperatura.	41

6.2.4.4. Transductores de presión.	43
6.2.4.5 Transductor diferencial de presión.....	47
6.2.4.6. Sensor de Humedad relativa y temperatura Ambiente.....	49
7. BITÁCORA DE TRABAJO	50
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	59
9. BIBLIOGRAFÍA.	61

FIGURAS, FOTOS Y TABLAS

Figura 1. Esquema sistema de refrigeración secundario (CHILLER).....	14
Figura 2. Diagrama de Presión Vs Entalpía.	15
Figura 3. Ensamble Chiller (Edificio 340 Univalle).	15
Figura 4. Ciclo compresión de vapor del CHILLER.	17
Figura 5. Compresor Bock HG4/650-4SN.....	18
Figura 6. Ubicación separador de aceite.	19
Figura 7. Separador de aceite ESK Schultez.....	19
Figura 8. Condensador.	20
Figura 9. Acumulador.	20
Figura 10. Filtro secador DCR.	21
Figura 15. Válvula solenoide EVR20.	25
Figura 16. Formación de hielo en el ciclo de carga.	26
Figura 17. Ciclo glicol.....	26
Figura 18. Bomba HY-FLO IHM 15A-3TW.	27
Figura 19. Banco de hielo típico.	27
Figura 21. Esfera en configuración T.....	29
Figura 22. Modo de conexión eléctrica del actuador DCP 24-4-45-T-TS.	29
Figura 23. Sistema torre de enfriamiento	30
Figura 24. Bomba HY-FLO IHM 20A-5TW	31
Figura 25. Torre de enfriamiento a contraflujo.....	32
Figura 26. Variador de frecuencia VTL	34
Figura 27. Estructura de un controlador lógico programable (PLC).....	36
Figura 28. Control Danfoss AK2-SC-255.....	38
Figura 29. Tablero de Estado de Módulos.	38
Figura 30. Control EKC 315.	39
Figura 31. Esquema del funcionamiento del Control EKC 315A.....	40
Figura 32. Función de desplazamiento.....	41
Figura 33. Sensor de temperatura AKS 12.....	42
Figura 34. Curva característica del AKS12.....	42
Tabla 1. Medida de Resistencia de los sensores de temperatura en función de la temperatura.	43
Figura 35. Esquema de sensores resistivos.	44

Figura 36. Sensor piezoresistivo.	45
Figura 37. Esquema de sensor piezométrico con compensación por temperatura RT	45
Figura 38. Conexión eléctrica.	46
Figura 39. Curva característica ideal del AKS 33 060G2101.	46
Figura 40. Conexión eléctrica.	46
Figura 41. Curva característica ideal de AKS 32 060G2031.	46
Figura 42. Curva característica ideal del AKS 33 060G2030	47
Figura 43. Curva PX2300 - resistencia interna VS Voltaje de alimentación	48
Figura 44. Medida de la caída de presión del PX2300 VS el diferencial de voltaje.	48
Figura 45. Estructura de un sensor capacitivo para medir nivel de humedad.	49
Figura 46. Medida de la temperatura ambiente y % de HR del sensor HX303C VS Voltaje.	50
Foto1. Reconocimiento del Equipo con el ingeniero Guillermo.	50
Foto 2. Estado inicial del gabinete de control.	51
Figura 3. Cableado inadecuado de los sensores y válvulas solenoides.	51
Foto 4. Ausencia de sensor de temperatura T7.	52
Foto 5. Alimentación del transformador RENCO RL 2250-56-24.	52
Foto 6. Reunión sostenida con representante de Danfoss.	53
Figura 7. Conexión provisional de sensores, transductores, válvulas y módulos.	54
Foto 8. Enrutamiento programado de los sensores, transductores y válvulas en el Control.	54
Foto 9. Instalación toma corriente 110v para el computador.	55
Foto 10. Canaletas para la distribución de la red de Comunicación del Control.	55
Foto 11. Recibimiento cable y transformador solicitado.	56
Foto 12. Reubicación tablero de control.	56
Tabla 2. Identificación cables de comunicación.	58

1. RESUMEN.

El sistema de refrigeración secundario (CHILLER), es una infraestructura de laboratorio la cual está enfocada para la formación de varias ingenierías en la Universidad del Valle.

El CHILLER se ha diseñado y construido en la escuela de ingeniería mecánica y se enmarca dentro de la investigación, “Desarrollo de la tecnología para la construcción de equipos didácticos en Ciencias Térmicas”, de la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle.

En este proyecto se puso en marcha y se caracterizó el CHILLER; se diseñaron y se evaluaron las guías de laboratorio para este equipo.

Para realizar lo anterior se empezó por conocer el sistema en la parte mecánica y control, y de esta manera se procedió a manipular y caracterizar el CHILLER. Se realizó un instructivo para una adecuada manipulación y utilización del equipo, dicho instructivo está enfocado para el monitor encargado del equipo; además para la caracterización del CHILLER se realizó un inventario detallado de las partes utilizadas, adicionando a cada parte los planos y las especificaciones técnicas.

Se realizaron prácticas de laboratorio del sistema de refrigeración secundario abarcando temas como: Primera Ley de la termodinámica, segunda ley de la termodinámica, intercambiadores de calor y Mecánica de fluidos.

Este proyecto se realizó para la docencia en ingeniería, ya que permite familiarizar al estudiante con los equipos y temas vistos a lo largo de la carrera; además es de gran importancia por la alta necesidad de laboratorios en la Escuela.

2. INTRODUCCION

El calor es una forma de energía que se radia de un cuerpo a otro. Como se sabe, la principal fuente de calor es el Sol, el calor también se puede producir por otros medios como lo es: combustión, fricción, electricidad, reacciones químicas y por compresión de aire o vapor. La teoría del calor se define por el movimiento molecular. Cuanto más energético resulta dicho movimiento, mayor es el calor que proporciona el cuerpo. Al desprender este calor disminuye el movimiento de las moléculas, que no desaparece hasta llegar al cero absoluto (-273°C). Así pues, en todo cuerpo que se halle por encima de esta temperatura existe teóricamente calor. En cuanto al frío, no existe teóricamente como termino positivo, sino que representa simplemente ausencia de calor. El frío no puede desprenderse ni radiarse. La sensación de frío que se nota al aproximar la mano a un trozo de hielo no obedece a que se desprenda frío del hielo, sino que desaparece el calor de la mano al dirigirse hacia aquel. La refrigeración debe considerarse por consiguiente como un proceso de extracción de calor.

El arte de la refrigeración basado en el hielo natural es muy antiguo y se practicó mucho antes de construirse cualquier máquina térmica.

En la Edad Media los griegos y los romanos comprimían la nieve en pozos aislados con pasto, paja y ramas de árboles. La nieve comprimida se convertía en hielo para ser usado en épocas de mayor calor.

Esta práctica la describe Peclet y ha llegado hasta casi mediados del siglo XX en algunas zonas rurales catalanas, donde existían los llamados pous de glaç. Estos pozos se construían en laderas

umbrías de los montes, de forma cónica con la base en la superficie y con un pozuelo en el fondo separado por una rejilla y en forma que se pudiese recoger y vaciar el agua producida por la fusión de hielo. A medida que se iba echando la nieve o el hielo en estos pozos, se rociaban con agua helada y, una vez llenos, se cubrían su boca con paja y tablas que aislaban el hielo del calor exterior; así conservaban hielo preparado en invierno.

La refrigeración mecánica, es decir la producida consumiendo trabajo con una máquina funcionando continuamente, se obtuvo por diversos caminos pero todos basándose en la expansión de un fluido, que puede efectuarse sin cambio de fase (despresurización de un gas) o, lo más frecuente, con cambio de fase (evaporación de un líquido), que a su vez se haya recalentado a la presión atmosférica o menor. A pesar de que los primeros intentos de obtener frío mecánico fueron por evaporación de un líquido volátil, la primera máquina realmente operativa fue de expansión de aire. Por este motivo se denomina máquina frigorífica por compresión de vapor.

Entonces, partiendo de estos principios y de la historia de la refrigeración, se puede decir que esta es la forma mediante el cual el ser humano suple su necesidad de frío, ya sea para confort o para la conservación de los alimentos. Cuando se une el sistema de refrigeración por compresión de vapor con la refrigeración basada en hielo, este toma el nombre de sistema de refrigeración secundario.

En este caso, el Sistema de refrigeración secundario que se encuentra en el edificio 340 de la Universidad del Valle es un equipo único, seleccionado y ensamblado parte por parte para cumplir con la función primaria de congelar el agua de los tanques de hielo, y la refrigeración del piso térmico que se encuentra en el salón 20-03 del edificio 340. Lo cual quiere decir que este equipo no se encuentra en el comercio industrial.

Este proyecto se realizó para la docencia en ingeniería, ya que gracias a su diseño el estudiante puede apreciar de una forma didáctica y particular cada accesorio del que está compuesto un Sistema de Refrigeración Secundario, que no es posible hacerlo con otro equipo CHILLER comercial. Con esto se le permite al estudiante familiarizarse con los equipos y temas vistos a lo largo de la carrera; además es de gran importancia por la alta necesidad de laboratorios en la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Por esta razón se le dió arranque y caracterización al sistema de refrigeración secundario (CHILLER), se diseñaron y validaron las pruebas para las prácticas de laboratorios aplicadas al sistema de refrigeración secundario, para hacer de los estudiantes de la universidad del Valle profesionales íntegros, acompañando con laboratorios prácticos de los temas vistos en las aulas de clase de termodinámica I, termodinámica II, refrigeración y mecánica de fluidos.

3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El ingeniero mecánico bien capacitado se ha vuelto una necesidad para la industria y para los países en vías de desarrollo, lo que conlleva a que se manejen constantemente conceptos de ciencias térmicas, mecánica de fluidos, resistencia de materiales, diseño mecánico, electrónica, procesos de manufactura. Para un buen desempeño profesional.

El estudiante de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle está presentando una carencia de laboratorios y equipos, para el desarrollo y aplicación de los conceptos teóricos.

Por esta razón se le dió arranque y caracterización al sistema de refrigeración secundario (CHILLER), se diseñaron y validaron las pruebas para las prácticas de laboratorios aplicadas al sistema de refrigerante secundario, para hacer de los estudiantes de la universidad del Valle

profesionales íntegros, acompañando con laboratorios prácticos los temas vistos en las aulas de clase de termodinámica I, termodinámica II y refrigeración. Además obteniendo un punto a favor en busca de una futura acreditación de la escuela de ingeniería mecánica.

4. JUSTIFICACIÓN.

A nivel personal, los autores presentan gran afinidad y especial gusto por la Termodinámica, transferencia de calor y la mecánica de fluidos. Se tiene la necesidad y el deseo de aprender, observar y comprobar el desarrollo de los fenómenos térmicos, y conocer todo acerca de los desarrollos tecnológicos en este campo.

A nivel profesional, este proyecto de grado presenta la oportunidad de afianzar e integrar los conocimientos adquiridos en la mayoría de las áreas de la carrera tales como termodinámica, transferencia de calor, mecatrónica, automatización y control, materias que el programa académico de Ingeniería Mecánica imparte a los estudiantes.

El proyecto tiene un alcance ambicioso en pro del desarrollo de la escuela con temas teórico-prácticos de gran importancia y peso académico. La magnitud, distribución del laboratorio y la cantidad de equipos que se encuentran en él, hace que para la fase de pruebas de arranque sea como mínimo de dos personas, que estén atentas y previstas para cualquier anomalía que pueda presentar el sistema. Además de esto los encargados de este laboratorio deben tener un amplio conocimiento técnico de cada uno de los elementos y su funcionamiento; ya que pesa sobre ellos gran responsabilidad el manipular esta clase de equipos.

Además el proyecto se justifica porque:

- Se da un paso importante para solucionar la grave necesidad en laboratorios de docencia en Ciencias Térmicas.
- El estudiante que use el laboratorio se podrá encontrar con equipos y tecnología con la que se enfrentará en su vida profesional.
- La escuela contará con un equipo de refrigeración en funcionamiento, el cual se le podrá dar uso para diferentes estudios y aplicaciones en las diferentes áreas de la carrera.
- Se aporta en el cumplimiento del plan de desarrollo de la universidad y de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Arrancar y caracterizar el Sistema de Refrigeración Secundario. Diseñar y validar las prácticas de laboratorio.

5.2. Objetivos específicos

- Poner en marcha el sistema de refrigeración secundario de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

- Caracterizar el equipo y el comportamiento del Sistema de Refrigeración Secundario y los sistemas involucrados.
- Diseñar manual de operación del equipo orientado a él monitor encargado del CHILLER.
- Diseñar de forma didáctica y sencilla las prácticas para los laboratorios del Sistema de refrigeración secundario. Las prácticas que se realizarán son:
 1. Reconocimiento del Sistema de Refrigeración Secundario.
 2. Balances de masa y energía subsistema refrigeración por Compresión de vapor.
 3. Segunda ley de la termodinámica del subsistema de Refrigeración por compresión de vapor.
 4. Análisis del diseño y eficiencia del condensador flujo cruzado en Contraflujo.
 5. Determinación de la carga de la bomba de la Torre de Enfriamiento y las Pérdidas de presión del recorrido.
- Evaluar y validar las prácticas de laboratorio, realizando las respectivas pruebas.

6. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN SECUNDARIO

6.1. Marco teórico.

Para aplicaciones de refrigeración, en el orden industrial y de investigación, cada día es más preferido el uso de agua helada como refrigerante secundario. Lo anterior se debe a que el agua es una sustancia inofensiva, inerte, muy fácil de manejar, de excelente capacidad calórica, buena conductora, económica, muy fácil de medir en términos de caudal y temperatura, propiedades y comportamiento conocidos, fácil de bombear y con tuberías de conducción económicas.

En ese orden de ideas, el uso de un CHILLER (equipo industrial estándar para enfriamiento de agua) es la mejor alternativa como infraestructura base para un laboratorio de investigación y docencia en las áreas de refrigeración y aire acondicionado.

El CHILLER está compuesto por tres subsistemas mecánicos: El ciclo de refrigeración por compresión de vapor, ciclo torre de enfriamiento y el ciclo de tanques de hielo, (ver figura 1). Además acompañados del sistema de control.

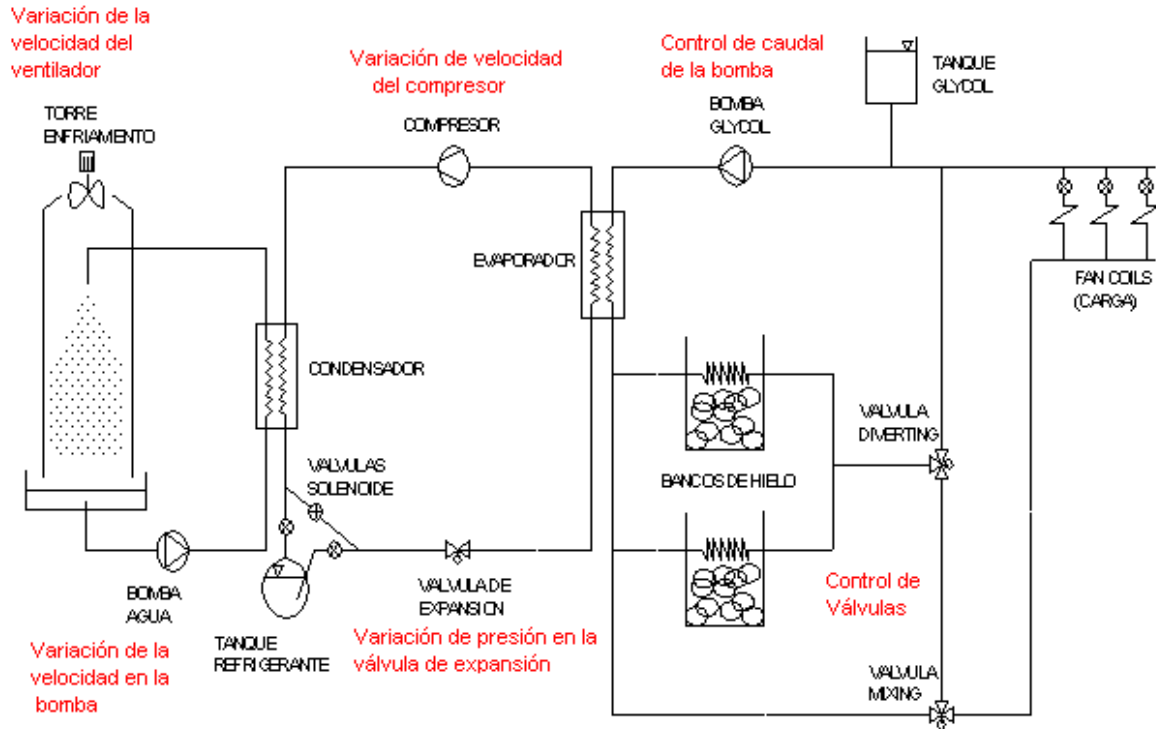


Figura 1. Esquema sistema de refrigeración secundario (CHILLER).

El subsistema de refrigeración por compresión de vapor (ver figura 2), consta de cuatro procesos fundamentales compresión, condensación, expansión y evaporación, los cuales se ven representados en el diagrama de Presión Vs Entalpía. Este diagrama permite en particular encontrar los siguientes valores:

- Presión en el condensador.
- Presión en el evaporador.
- Relación de compresión.
- Calor máximo del líquido.
- Calor máximo del vapor.
- Calor latente del fluido frigorífero.
- Producción frigorífica.
- Volumen específico del gas de salida del evaporador.
- Entropía del gas.
- Temperatura del gas, después de la compresión.
- Energía necesaria de trabajo de compresión.
- Calor, disipado en el condensador.

El diagrama de presión vs entalpía presenta el siguiente comportamiento.

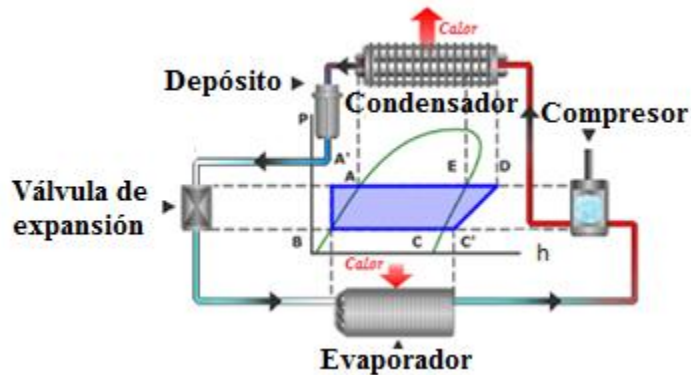


Figura 2. Diagrama de Presión Vs Entalpía.

El principio del funcionamiento del CHILLER se basa en el bombeo de agua helada hacia los espacios que se desean climatizar, en los que por medio de unidades terminales (por ejemplo, fan-coil, pisos térmicos y climatizadores evaporativos) se logra intercambiar calor entre el aire de los espacios y el agua helada. Una vez realizado el intercambio de energía, el agua retorna hacia las unidades enfriadoras siendo nuevamente enfriada y reenviada hacia los espacios a climatizar. Existen diversas configuraciones de unidades enfriadoras de agua y cada opción será la más adecuada, dependiendo de diversos factores como las características del espacio a climatizar, la disponibilidad y costo del agua, del tratamiento de la misma y del consumo eléctrico de las bombas de agua de condensación y de los ventiladores de las torres de enfriamiento.

6.2. Sistema de refrigeración secundario del edificio 340 de la Universidad del Valle.

El sistema de refrigeración secundario tiene una potencia frigorífica de 20 toneladas de refrigeración. En la figura 3 se puede visualizar un ensamble total dibujado virtualmente en SolidWorks 2010 de cada una de las partes del sistema de refrigeración secundario.

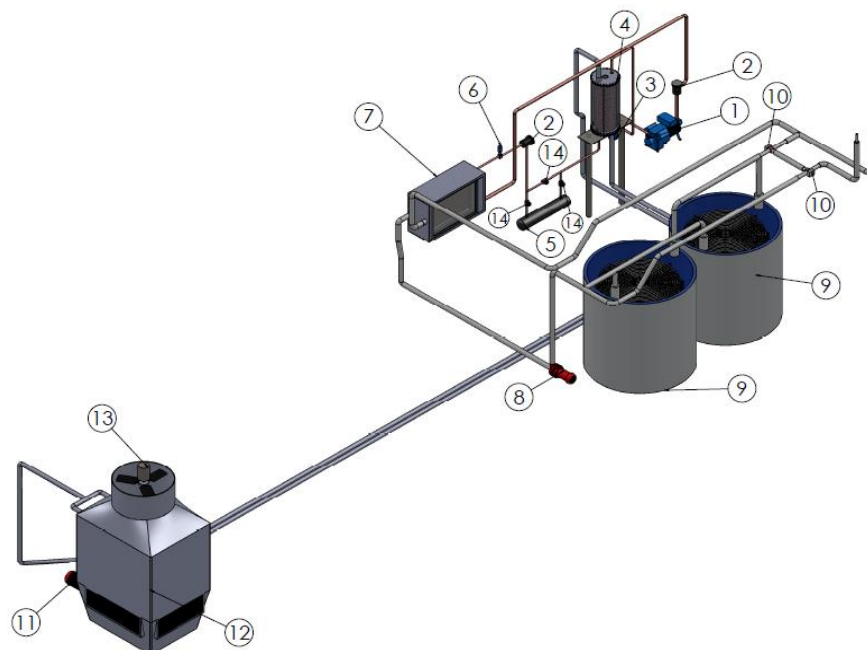


Figura 3. Ensamble Chiller (Edificio 340 Univalle).

Donde:

1. Compresor.
2. Filtro secador.
3. Separador de aceite.
4. Condensador.
5. Acumulador.
6. Válvula de expansión.
7. Evaporador.
8. Bomba 3hp.
9. Bancos de Hielo.
10. Válvulas 3 vías a 110v.
11. Bomba 5hp.
12. Torre de enfriamiento.
13. Ventilador.
14. Válvulas solenoides.

6.2.1. Sistema de refrigeración (Sistema de compresión de Vapor).

El sistema de compresión de vapor, está compuesto por: un compresor BOCK semi-hermetico de desplazamiento alternativo, un condensador, una válvula de expansión electrónica Danfoss TQ20 y un evaporador. En este sistema circula refrigerante R22, el cual le extrae calor al glicol; este glicol se encarga de congelar el agua almacenada en los tanques.

En el sistema de refrigeración por compresión de vapor, el refrigerante sale del compresor en estado gaseoso a alta temperatura y presión. El compresor está acompañado de un separador de aceite, el cual reduce ostensiblemente la presencia de aceite en el sistema de refrigeración. Posteriormente, el refrigerante fluye a través de un intercambiador de calor llamado condensador en el cual el refrigerante le transfiere calor a un fluido (aire o agua), y como resultado de esto el refrigerante se condensa (Proceso isobárico). En este punto el refrigerante se encuentra en estado líquido a alta presión y con menor temperatura, comparada con la de la salida del compresor. Luego de su paso por el condensador, el refrigerante fluye a través de un dispositivo de estrangulamiento llamado válvula de expansión donde la presión y temperatura del refrigerante cae, en la salida de la válvula de expansión, el refrigerante se encuentra en una mezcla de liquido-vapor (este proceso es isoentálpico).

Seguidamente, el refrigerante fluye a través de un intercambiador de calor llamado evaporador, en el cual el refrigerante absorbe calor del glicol (cumpliendo con la ley cero de la termodinámica), y de esta manera se evapora el refrigerante completamente (Proceso isobárico).

Por último, el refrigerante en forma de vapor a baja presión y baja temperatura, completa el ciclo pasando nuevamente por el compresor.

El sistema de refrigeración por compresión de vapor se encuentra conformado por los siguientes equipos fundamentales (Ver figura 4).

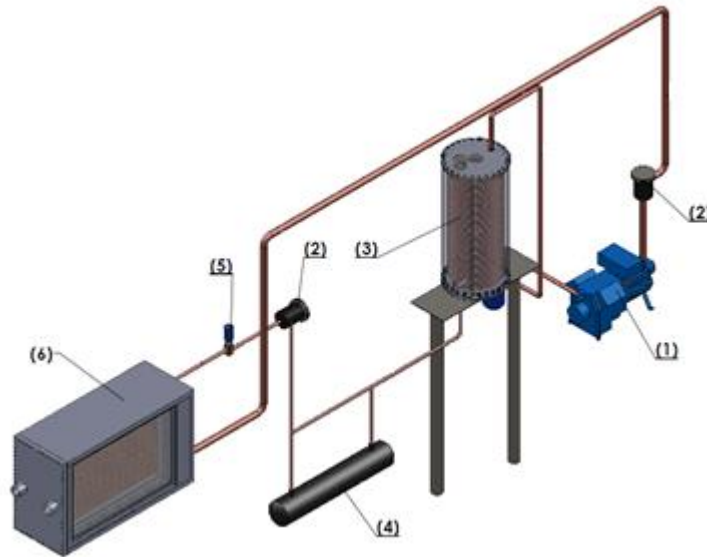


Figura 4. Ciclo compresión de vapor del CHILLER.

Donde:

1. Compresor de desplazamiento positivo alternativo Bock HG4/650-4SN semihermético de 25hp.
2. Filtros secadores Danfoss DCR 0487s/ Danfoss DCR 04813s.
3. Condensador cruzado en contra flujo con área externa de transferencia de calor de $7,89m^2$.
4. Acumulador con un Volumen interno de $24729,9\text{ cm}^3$.
5. Válvula de expansión electrónica TQ20 DE 24V AC.
6. Evaporador en contraflujo con área externa de transferencia de calor de $4,92m^2$.

6.2.1.1. Compresor.

Es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como lo son los gases y los vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido al fluido que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándolo a fluir. Los compresores son máquinas térmicas, ya que su fluido de trabajo es compresible, por eso sufre un cambio apreciable de densidad y, generalmente, también de temperatura.

El compresor utilizado en el sistema de refrigeración por compresión de vapor del edificio 340 de la Universidad del Valle es de tipo semihermético, GEA Bock HG4/650-4SN (ver figura 5), es impulsado por un motor eléctrico trifásico que funciona con una corriente máxima de servicio de 70 Amperios con una tensión de 380 V de 1740 R.P.M a 60 Hz, con un consumo máximo de potencia de 19 KW; que mediante el acople de un cigüeñal transfiere movimiento a través de las bielas a los pistones dentro de los cilindros, los cuales tienen un recorrido de succión con una presión máxima admisible de 19 bares y un recorrido de descarga con una presión máxima de 28 bares admisible. Con un volumen de cilindrada de $67,9m^3/h$ a 60 Hz.

El compresor tiene una protección de tipo IP65 (Protección completa contra penetración de polvo y Protegido contra los chorros de agua desde todas las direcciones).

Durante la compresión por efecto de la fricción entre las partes en movimiento, la resistencia de válvulas, resortes y ductos se genera calor, que debe ser eliminado, lo que implica el uso de un mecanismo de refrigeración del compresor, función asumida en parte por el fluido refrigerante R22 en la succión del compresor pero sobre todo por el lubricante **SP46** que al mezclarse sin perder cada una de sus propiedades absorben este calor perjudicial para el compresor.



Figura 5. Compresor Bock HG4/650-4SN.

6.2.1.2. Separador de aceite

La forma más común para reducir el aceite en circulación y los problemas que éste conlleva dentro del sistema de refrigeración por compresión de vapor, es mediante el uso de un dispositivo auxiliar llamado separador de aceite. Su función principal es separar el aceite lubricante del gas refrigerante, y regresarlo al cárter del compresor antes que llegue a otros componentes del sistema. Si se mantiene el nivel de aceite correcto, se incrementa la vida del compresor y se eliminan el desgaste y los daños que la falta de lubricación puede causar.

El separador de aceite se instala en la línea de descarga, entre el compresor y el condensador, tal como se muestra en la figura 6. El aceite y el refrigerante en un sistema de refrigeración, forman lo que se conoce como mezcla, cosa que es diferente a un compuesto. En un compuesto los componentes sólo pueden ser separados por medio de cambios químicos. Una mezcla, por ser una unión física de componentes, puede separarse por medios físicos, tal y como sucede mediante un separador de aceite. Un separador de aceite depende de tres factores básicos para su operación:

1. Reducción de la velocidad del gas refrigerante.
2. Cambio de dirección del flujo del gas.
3. Superficie de choque a la cual se va a adherir el aceite.

Estos tres requerimientos básicos, son incorporados en el diseño de los separadores de aceite.

El gas de descarga sobrecalentado y cargado de aceite, sale del compresor a alta velocidad, y a través de la línea de descarga llega a la entrada del separador de aceite.

Aquí, el refrigerante queda en estado gaseoso con un altísimo sobrecalentamiento y moviéndose a gran velocidad. El aceite tiene la misma velocidad pero en forma líquida, y como tiene mayor densidad que el refrigerante, su inercia también es mayor. Como el área de sección transversal de la cápsula del separador es mucho mayor que la del tubo de descarga, esto provoca una reducción en la velocidad del gas. Simultáneamente a esta reducción de velocidad, la mezcla de gas y aceite pasa a través de la malla de choque a la entrada, donde una parte del aceite es separado del gas refrigerante. Otro gran porcentaje del aceite se encuentra en forma de partículas más finas, las cuales sólo pueden ser removidas provocando que choquen unas con otras para formar partículas

más pesadas. Esto sólo puede lograrse gracias al cambio de velocidad que sufre la mezcla de aceite y gas refrigerante, y a que las partículas de aceite tienen mayor densidad que el gas refrigerante.

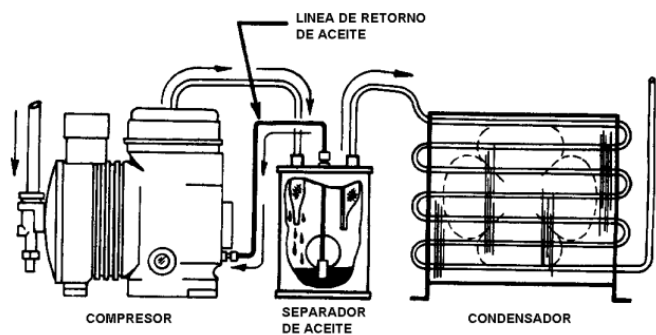


Figura 6. Ubicación separador de aceite.

El separador de aceite ESK Schultez tipo OS-35H utilizado en el sistema de refrigeración por compresión de vapor del edificio 340 de la Universidad del Valle, funciona bajo un rango de operación de presión entre 10 y 31 bares y un rango de temperatura entre -30°C a 140°C . El material del que está hecho el separador es acero (ver figura 7).



Figura 7. Separador de aceite ESK Schultez.

6.2.1.3. Condensador.

El condensador tiene la función de extraer el calor que ganó el refrigerante en el recorrido del evaporador, el compresor y tuberías expuestas al ambiente. Para lograrlo, se debe asegurar que el refrigerante que vienen en estado gaseoso, se condense para lo cual se debe tener una presión lo suficientemente alta que garantice que la temperatura de saturación a dicha presión sea mayor que la del ambiente.

El condensador del sistema de refrigeración por compresión de vapor del edificio 340 de la Universidad del Valle, tiene un área aproximada de transferencia de calor de $7,89 \text{ m}^2$, el tubo de cobre es de $\frac{1}{2}$ ", el arreglo de tubería es de 44,5 espiras con un paso de 19mm. (Ver figura 8).



Figura 8. Condensador.

6.2.1.4. Acumulador.

El acumulador debe seleccionarse con base en la carga de funcionamiento de todos los componentes del sistema, incluyendo las líneas de líquido. Este debe tener una capacidad muy por encima de los datos obtenidos al calcular la cantidad de refrigerante en las tuberías. Su precisión o tamaño dependen del criterio del diseñador.

Los acumuladores se utilizan generalmente para absorber las variaciones de carga en el sistema y para almacenar la carga de refrigerante completa durante el mantenimiento.

El acumulador del sistema de refrigeración por compresión de vapor del edificio 340 de la Universidad del Valle tiene un Volumen interno de 24729,9 cm³. (Ver figura 9).

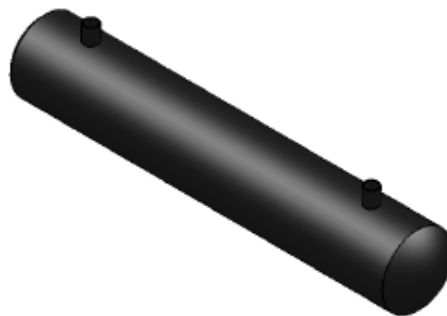


Figura 9. Acumulador.

6.2.1.5. Filtros secadores.

Los filtros secadores de los sistemas de refrigeración tienen varias funciones. Tienen que secar y filtrar. La función de secado constituye la protección química e incluye la absorción de agua y de ácidos. Tiene como finalidad impedir la corrosión de la superficie de metal y la descomposición del aceite y el refrigerante, y evitar que se quemé el motor. La función de filtro constituye la protección física e incluye la retención de partículas e impurezas de todo tipo. Esto minimiza el deterioro por uso del compresor, lo protege y prolonga su vida. En ambos casos, el filtro secador impide el desgaste prematuro de la planta de refrigeración.

El filtro secador contiene un núcleo sólido formado por: tamiz molecular (material con poros diminutos y uniformes), gel de sílice, alúmina activada y una malla de poliéster insertada en la salida del filtro.

El núcleo sólido es comparable a una esponja, capaz de absorber agua y retenerla. El tamiz molecular y el gel de sílice retienen el agua, mientras que la alúmina activada retiene el agua y los ácidos. Tamiz molecular retiene las partículas de suciedad grandes, mientras que la malla de poliéster atrapa las partículas pequeñas.

Los filtros utilizados en el sistema de refrigeración por compresión de vapor del edificio 340 de Univalle son DCR-0487S y DCR-04813S de Danfoss (DCR, filtro secador con núcleo sólido intercambiable), estos están ubicados después del condensador y antes del compresor respectivamente; estos filtros son de un núcleo sólido desmontable ver figura 10, con carcasa enteramente de acero y son por tanto compatibles con todos los refrigerantes, tienen un Volumen de 2,35L, y pueden trabajar en un Rango de temperatura (-40°C a + 70°C), la presión máxima de operación son 46 bares.

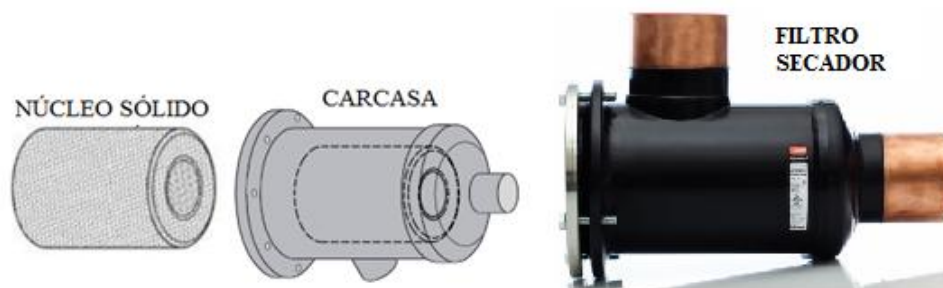


Figura 10. Filtro secador DCR.

6.2.1.6. Visor de líquido.

El visor de líquido consiste en un trozo de tubería sobre la que se ha instalado una mirilla de cristal que nos permite ver lo que está ocurriendo en el interior de las tuberías del circuito frigorífico (ver figura 11). Esta mirilla nos suministra gran cantidad de información, pues a través de ella podemos comprobar el estado del refrigerante en los puntos que nos interese y además saber el nivel de humedad que tenemos en el interior del circuito. Los visores incorporan para ello un anillo interno de un material compuesto de una sal de sílice sensible a la humedad. Cuando entra en contacto con la humedad cambia de color, de verde a amarillo.

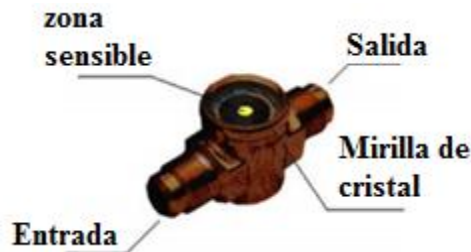


Figura 11. Visor de líquido Danfoss.

En el sistema de refrigeración por compresión de vapor del edificio 340 de Univalle, el visor de líquido tiene un indicador de humedad y está instalado entre el filtro secador y la válvula de expansión, el visor de líquido nos indica la siguiente información:

- Verde: No existe humedad "peligrosa" en el refrigerante.
- Amarillo: Contenido de humedad en el refrigerante demasiado elevado en todo el sistema.
- Burbujas:
 - No hay subenfriamiento.
 - Falta de refrigerante en todo el sistema.

El punto de cambio de verde a amarillo en el visor de líquido es determinado en función de la hidrosolubilidad del refrigerante. El indicador muestra el color amarillo antes de que se produzca el riesgo de congelación del agua en la válvula de expansión.

Los rangos de operación del visor son: presión máxima 35bares y temperatura máxima de 80°C.

6.2.1.7. Válvula de expansión electrónica.

La válvula de expansión electrónica (ver figura 12) recibe una señal modulante de tensión que se transmite desde el controlador EKC 315A al actuador. De esta forma se produce un aumento de presión en el actuador, el cual se traduce en una fuerza. Esta fuerza actuará sobre el diafragma y sobre el vástago de presión, y por tanto determina el grado de apertura de la válvula. El controlador proporciona un suministro de potencia variable, lo cual asegurará el correcto posicionamiento del cono de válvula, de forma que se obtiene el flujo de líquido requerido. Si el suministro de tensión se corta, la válvula se cierra. En la parte superior de la válvula hay una conexión para la igualación de presión. La igualación se conecta externamente a la línea de líquido inmediatamente después de la válvula. Para el correcto funcionamiento de la válvula es necesario realizar la igualación externa de presión. La válvula de expansión mantiene lleno de líquido y gas refrigerante al evaporador y dejando que sólo salga del mismo el gas sobrecalentado para no dañar el compresor.

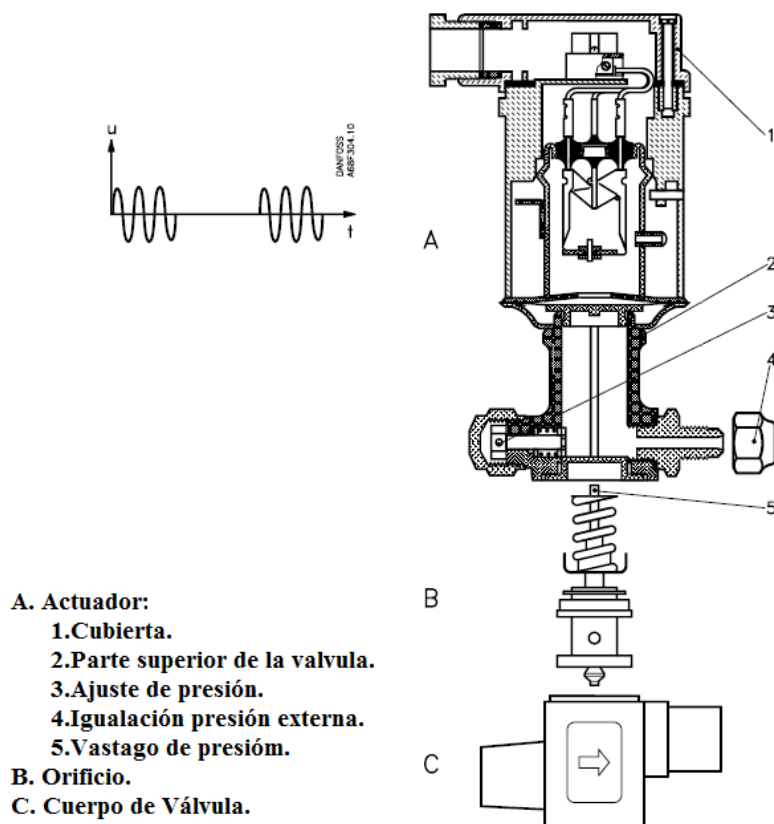


Figura 12. Válvula de expansión electrónica TQ20.

La válvula de expansión utilizada en el sistema de refrigeración del edificio 340 de la universidad del Valle es una válvula de expansión electrónica tipo TQ20, alimentada a 24V AC, consumo de potencia durante el arranque 75VA, consumo de potencia durante la operación de 50VA, con protección IP55 (protección contra polvo y contra agua en todas las direcciones), máxima presión de trabajo de 22 bares, con un rango de temperatura de -40°C a 10°C , con un actuador 068F3207.

6.2.1.8. Evaporador.

Los evaporadores son intercambiadores de calor en los que tiene lugar la evaporación del fluido frigorígeno sustrayendo calor del fluido a enfriar. Están constituidos por un haz de tuberías en las que se evapora el fluido frigorígeno extrayendo calor de los alrededores, que es en esencia el fenómeno de producción de frío, o potencia frigorífica, que se desea conseguir.

El evaporador consiste en un recipiente metálico, (carcasa), el cual contiene dentro de él un haz de tubos al que llega el fluido frigorígeno procedente de la válvula de estrangulamiento, (ver figura 13), parcialmente vaporizado, produciéndose en el mismo la ebullición de la parte licuada, a baja presión, lo que origina la extracción de calor del medio que le rodea. Al final del proceso de vaporización de las últimas gotas de líquido frigorígeno, se produce vapor saturado seco.

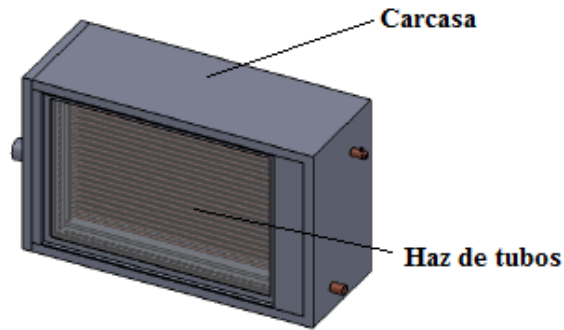


Figura 13. Evaporador.

El evaporador utilizado en el sistema de refrigeración por compresión de vapor del edificio 340 de la Universidad del Valle, está compuesto por una carcasa de acero inoxidable calibre 20 y un serpentín de expansión directa de 22 tubos en la cara y 8 tubos por fila de cobre de diámetro exterior de 9,52mm y un área de transferencia de calor de $4,92 \text{ m}^2$, con una caída de presión de 1,4 bares.

6.2.1.9. Válvula solenoide.

Este tipo de válvula es controlada variando la corriente que circula a través de un solenoide (conductor ubicado alrededor de un émbolo, en forma de bobina). Esta corriente, al circular por el solenoide, genera un campo magnético que atrae un émbolo móvil. Por lo general estas válvulas operan de forma completamente abierta o completamente cerrada, aunque existen aplicaciones en las que se controla el flujo en forma lineal. Al finalizar el efecto del campo magnético, el émbolo vuelve a su posición por efecto de la gravedad, un resorte o por presión del fluido a controlar.

El solenoide, bajo el efecto de corriente circulante, se comporta como un electroimán (ver figura 14). Atrae materiales ferromagnéticos, producto de la alineación de momentos magnéticos atómicos. El campo magnético, creado al circular corriente por el solenoide, actúa sobre el émbolo móvil de material magnético. Se produce una fuerza que ocasiona el desplazamiento del émbolo permitiendo el cierre o apertura de la válvula.

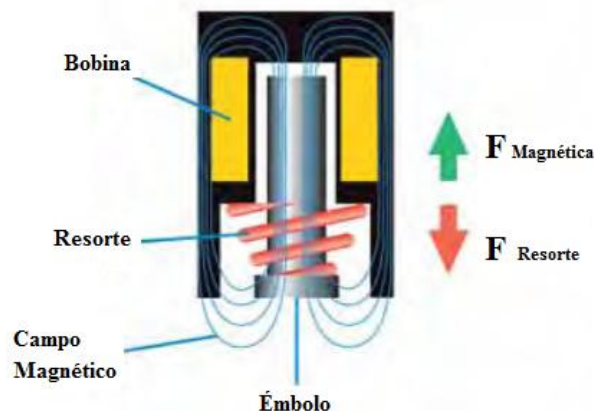


Figura 14. Efecto circulante.

Las válvulas solenoides EVR 20 (ver figura 15) utilizadas en el sistema de compresión de vapor del CHILLER del edificio 340 de la Universidad del Valle, son válvulas solenoides de acción directa normalmente cerradas para tuberías de líquido y de gas caliente con refrigerantes fluorados. Estas válvulas son alimentadas con un voltaje de 110 v Corriente alterna; esta corriente energiza la bobina solenoidal creando un campo magnético que produce un desplazamiento del émbolo permitiendo el flujo del refrigerante R22. Cuando la válvula es desenergizada el émbolo vuelve al cierre por medio de una fuerza que le aplica un resorte sobre él, obstruyendo el flujo del refrigerante. El consumo energético de esta válvula es de 10 Watts, con una protección IP 67 (protección contra polvo y el contra agua en cualquier dirección), temperatura máxima de operación de 80 °C, presión máxima de operación de 21 bares a corriente alterna.

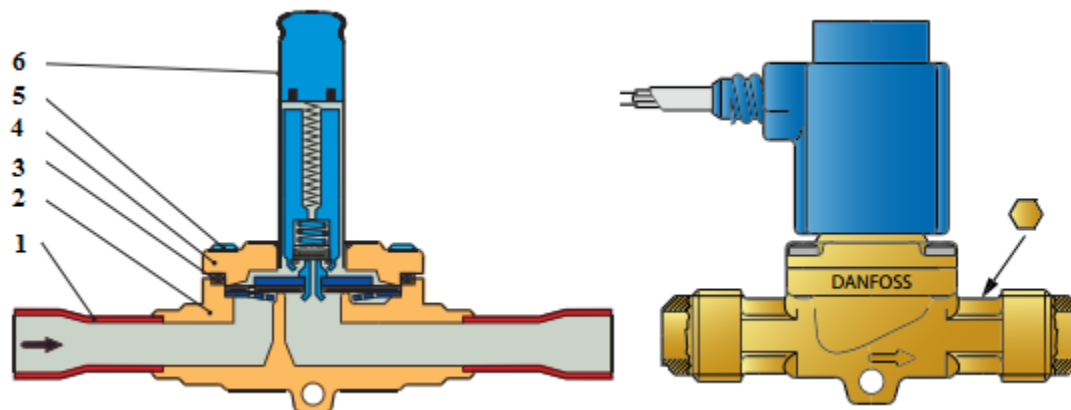


Figura 15. Válvula solenoide EVR20.

Donde:

1. Tubo soldado en cobre
2. Cuerpo de Válvula en cobre
3. Empaque
4. Cubierta
5. Tornillos
6. Armadura de embolo en acero inoxidable

6.2.2. Sistema Glicol.

El sistema de refrigeración por glicol es un mecanismo utilizado para climatizar, y el enfriamiento del agua que se encuentra almacenada en los tanques. Este sistema se utiliza en los chillers que producen hielo en las horas de la noche cuando no existen cargas pico y las necesidades de consumo de energía eléctrica de los edificios son mínimas. El hielo fabricado es almacenado en los tanques con el fin de ayudar a suplir las cargas requeridas por el sistema en el día.

El ciclo del sistema del glicol empieza una vez se genera un intercambio de calor en el evaporador, en este intercambio de calor el refrigerante R22 le quita calor al glicol que circula en la carcasa del evaporador; el glicol es succionado de la carcasa del evaporador hacia el arreglo de mangueras que se encuentra dentro de los tanques de producción de hielo, esto se hace por medio de una bomba de caudal; en este arreglo de mangueras que se encuentra en los tanques se extrae el calor suficiente para que el agua que rodea los tubos formen hielo con un espesor aproximado de 1/2 pulgada (ver figura 16). El glicol retorna al evaporador para repetir el ciclo.

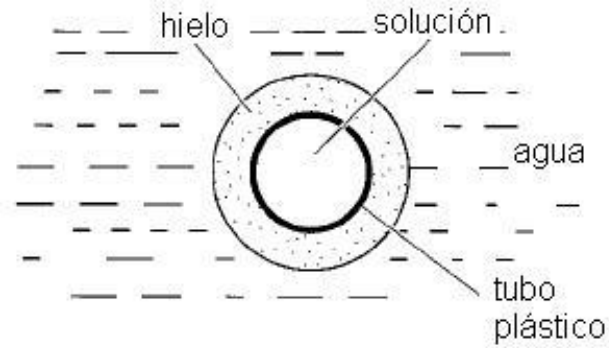


Figura 16. Formación de hielo en el ciclo de carga.

El sistema de Glicol de la Universidad del Valle está compuesto por: un evaporador, dos tanques para producción de Hielo, dos arreglos en espiral de tubería plástica flexible de PVC, una bomba de 3HP, y 2 válvulas de 3 vías (ver figura 17).

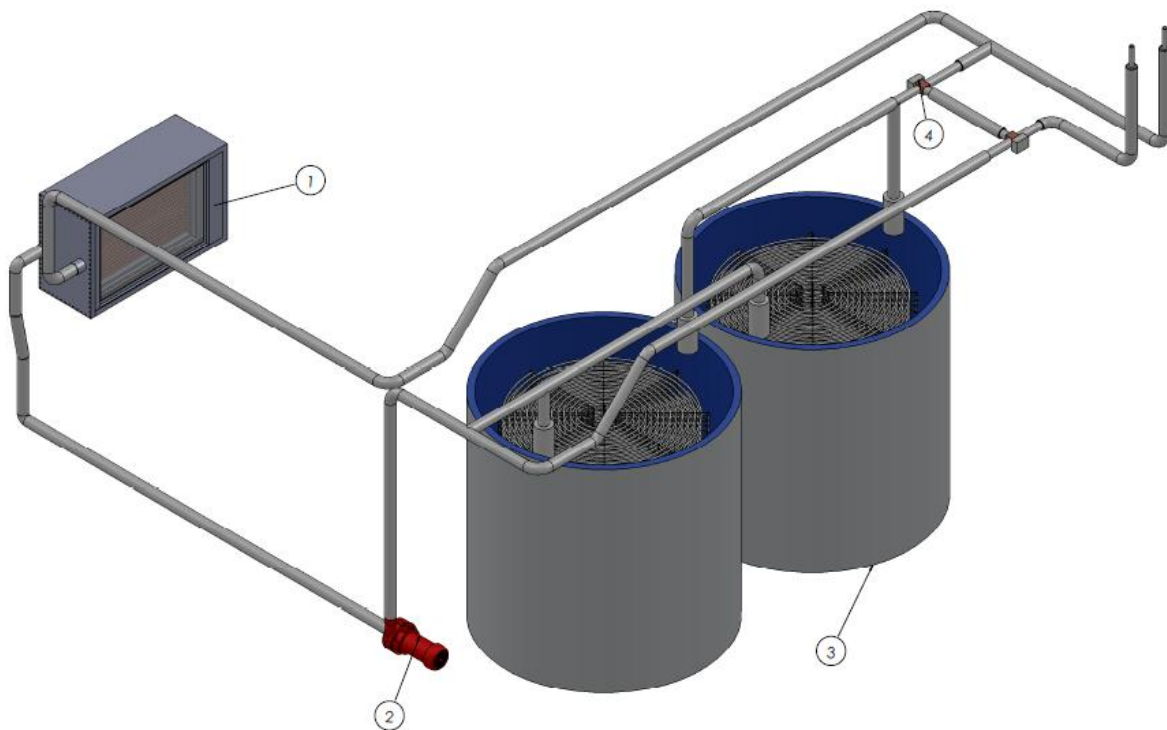


Figura 17. Ciclo glicol.

Donde:

1. Evaporador.
2. Bomba Glicol de 3HP.
3. Tanques de Hielo.
4. Válvulas 3 vías.

6.2.2.1 Bomba de caudal.

Es una máquina de fluido que está construida para transformar la energía mecánica en hidráulica, es decir, realiza un trabajo para mantener un líquido en movimiento. Consiguiendo así aumentar la presión o energía cinética del fluido. El impulsor (rotor) crea una corriente de succión a la entrada, introduciendo el fluido en su interior y lo empuja hacia el circuito hidráulico. El termino bomba, generalmente es utilizado para referirse a las maquinas de fluido que transfieren energía, o bombean fluidos incompresibles, y por lo tanto no alteran la densidad del fluido de trabajo, a diferencia de otras maquinas como lo son los compresores.

La bomba utilizada en el sistema de glicol del edificio 340 de la Universidad del Valle es una bomba de caudal HY-FLO marca IHM 15A-3TW, con impulsor de aluminio de 148 mm de diámetro, de 60 GPM de caudal, impulsada con un motor trifásico de 3HP de 3500 R.P.M a 60 Hz, con un consumo máximo de potencia de 2.2 Kw (ver figura 18).



Figura 18. Bomba HY-FLO IHM 15A-3TW.

6.2.2.2. Tanques de hielo.

Un banco de hielo es un tanque de polietileno aislado que contiene intercambiadores de calor en forma de espiral, fabricados en tubería plástica y que están rodeados por agua (figura 19). El hielo fabricado es almacenado en los tanques con el fin de suplir las 5,27 TR requeridas para la climatización.

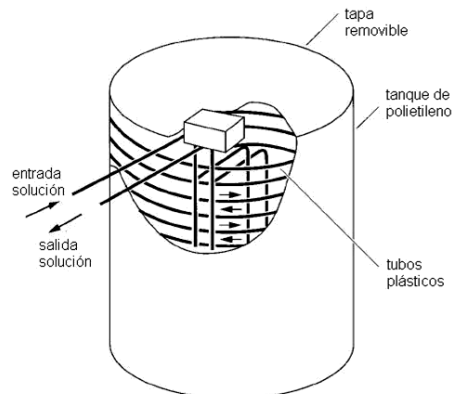


Figura 19. Banco de hielo típico.

Cada banco de hielo tiene un espiral de manguera 3/8" calibre 20, con una longitud de 1085.5 m con una capacidad volumétrica de $3m^3$, pero sólo puede recolectar aproximadamente de 1 a $1,1m^3$ de Hielo. El hielo tiene una energía de fusión de 79,78 Kcal/Kg=143,6 Btu/Lb.

6.2.2.3. Válvulas tres vías.

La válvula de tres vías (ver figura 20), está preparada para las instalaciones por zonas, para uso en energías alternativas, para instalaciones de riego automático y más en general para instalaciones domésticas e industriales con fluidos calientes y fríos no agresivos.

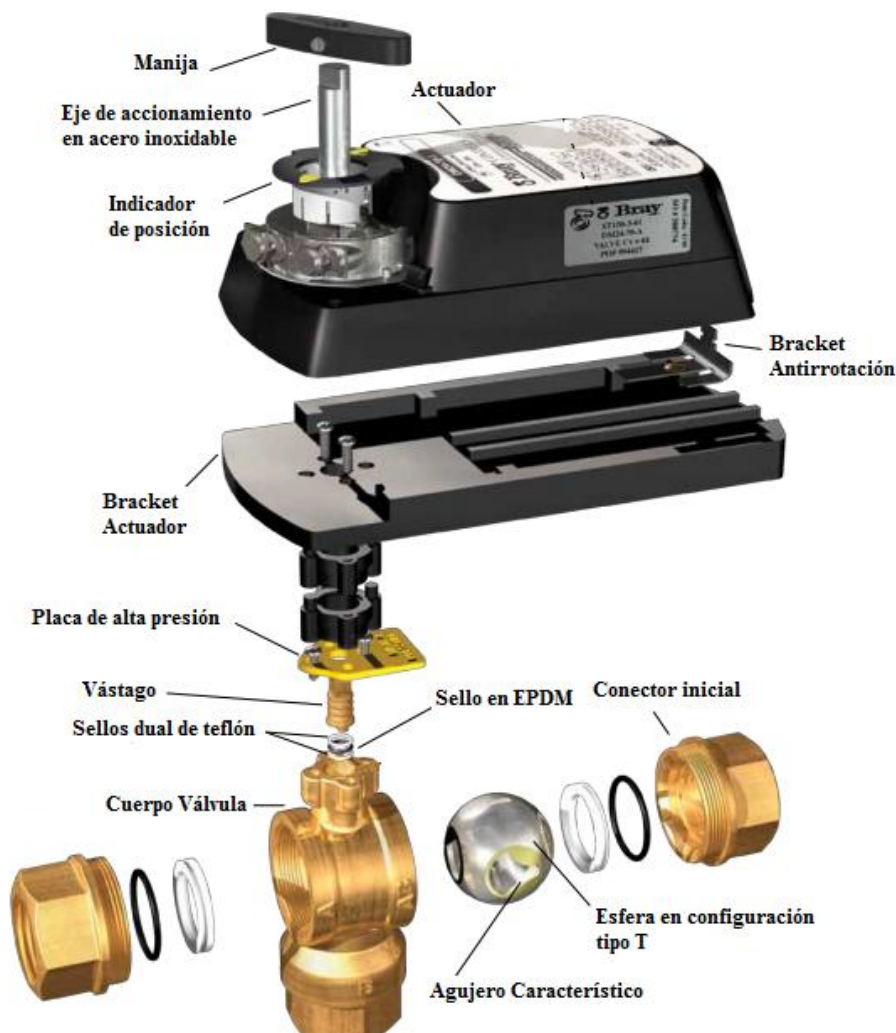


Figura 20. Válvula tres vías Delta ST 125-34-3 / DCP 24-4-45-T-TS.

Esta válvula de esfera en configuración T (ver figura 21) gira por medio de un servomotor a 90° ó 180° dependiendo la referencia.

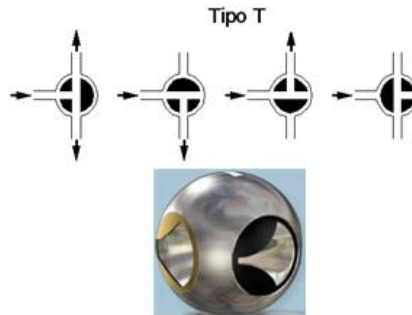


Figura 21. Esfera en configuración T.

Las válvulas tres vías utilizadas en el edificio 340 de la Universidad del Valle son Válvulas Delta ST 125-34-3 con un actuador DCP 24-4-45-T-TS, las válvulas pueden trabajar a una presión de 360 PSI, en un rango de temperatura de -30°C a 115°C, se puede trabajar con agua con un porcentaje de máximo de 50% etilenglicol, con anillos de empaque en material EPDM, un ángulo de rotación de 0° a 90°, Material del cuerpo cobre ASTM B283, Esfera en acero inoxidable, Tamaños de conexión de 1 1/4", con un coeficiente de caudal C_v igual 34, con una caída de presión de 3,1Psi con la bomba entregando un caudal de 60 GPM, calculado con la siguiente ecuación.

$$Q = C_v * \sqrt{\frac{\Delta P}{SG}}$$

Donde:

- Q es caudal en GPM
- C_v Coeficiente de caudal en GPM
- SG gravedad específica del fluido
- ΔP caída de presión en el fluido

El actuador es alimentado con 24 V AC/DC como se observa en la figura 22, con un rango de giro 0-95 ° / 95-0 °, ángulo seleccionable y ajustable con topes integrales CCW (izquierda) y CW (derecha) Izquierda / Derecha, selector integrado en el actuador, Tiempo de rotación 60 a 120 segundos para una rotación de 0 a 90°, temperatura de operación de -30°C a 50 °C, con un rango de humedad relativa de 5% a 95%

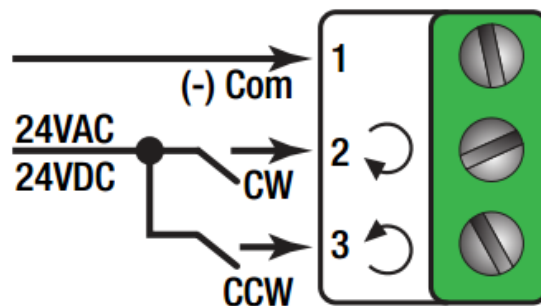


Figura 22. Modo de conexión eléctrica del actuador DCP 24-4-45-T-TS.

6.2.3. Sistema Torre de Enfriamiento.

El sistema de torre de enfriamiento es el encargado de ayudar al sistema de refrigeración por compresión de vapor a liberar el calor, ya que el agua que sale de la bomba proveniente de la torre de enfriamiento, le saca calor al refrigerante en el condensador, de esta forma el agua retorna a la torre a una temperatura más elevada que la temperatura ambiente, cuando el agua entra a la torre de enfriamiento esta se atomiza y cae luego a los eliminadores de gotas intercambiando calor con el aire extraído por el ventilador, inmediatamente el agua desciende por los eliminadores de gotas a una temperatura baja no menor a la ambiente, esta agua cae a la piscina y es succionada por la bomba para ser impulsada de nuevo al condensador para intercambiar el calor con el refrigerante R22.

El sistema de la torre enfriamiento de la Universidad del Valle del edificio 340 está conformado por los siguientes equipos:

Torre de enfriamiento, Bomba 5HP, Condensador (Ver figura 23).

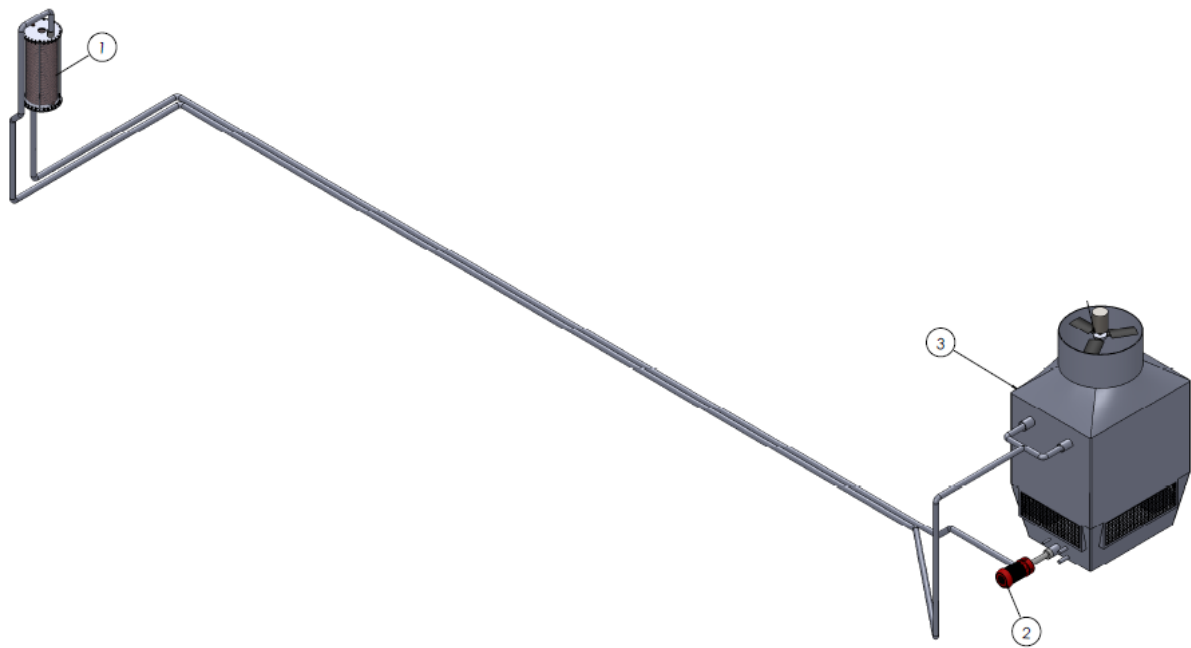


Figura 23. Sistema torre de enfriamiento

Donde:

1. Condensador.
2. Bomba de 5HP.
3. Torre de enfriamiento y ventilador de 1,5HP.

6.2.3.1. Bomba de 5HP.

La bomba utilizada en el sistema de glicol del edificio 340 de la Universidad del Valle es una bomba de caudal HY-FLO marca IHM 20A-5TW, con impulsor en hierro de 150 mm de diámetro, de 120 GPM de caudal, impulsada con un motor trifásico de 5HP de 3500 R.P.M a 60 Hz; con un consumo máximo de potencia de 3.7 Kw (ver figura 24).



Figura 24. Bomba HY-FLO IHM 20A-5TW

6.2.3.2. Torre de enfriamiento.

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en grandes volúmenes, porque son el medio más económico para hacerlo, si se compara con otros equipos de enfriamiento como los cambiadores de calor donde el enfriamiento ocurre a través de una pared (intercambiador de calor a placas). En el interior de las torres se colocan deflectores o eliminadores de niebla que atrapan las gotas de agua que fluyen con la corriente de aire hacia la salida de la torre, con el objeto de disminuir la posible pérdida de agua.

El agua se introduce por el domo de la torre por medio de vertederos o por boquillas para distribuir el agua en la mayor superficie posible. El enfriamiento ocurre cuando el agua, al caer a través de la torre, se pone en contacto directo con una corriente de aire que fluye a contracorriente o a flujo cruzado, con una temperatura de bulbo húmedo inferior a la temperatura del agua caliente, en estas condiciones, el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación) y por transferencia de calor sensible y latente del agua al aire, lo anterior origina que la temperatura del aire y su humedad aumenten y que la temperatura del agua disminuya; la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre.

La torre de enfriamiento utilizada en el sistema de glicol del edificio 340 de la Universidad del Valle es una torre de enfriamiento a contra flujo Glaciar AMV-050, con un ventilador de tres aletas accionado por un motor siemens de 1.5 HP a 1200 RPM con una frecuencia de 60Hz, peso neto de la torre 221Kg. En la figura 25, se puede observar el funcionamiento básico de una torre de enfriamiento a contraflujo.

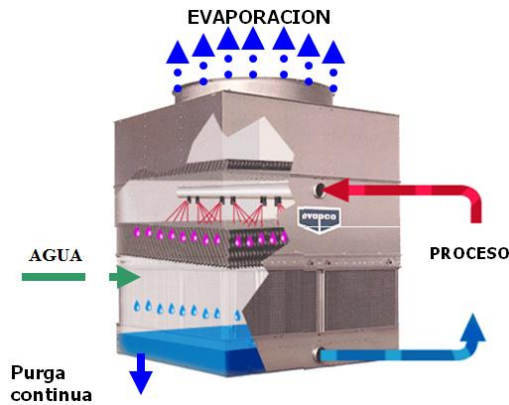


Figura 25. Torre de enfriamiento a contraflujo.

6.2.4. Sistema de control.

Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados.

Estos sistemas se usan típicamente en sustituir un trabajador pasivo que controla un determinado sistema (ya sea eléctrico, mecánico, etc.) con una posibilidad nula o casi nula de error, y un grado de eficiencia mucho más grande que el de un trabajador. Los sistemas de control deben conseguir los siguientes objetivos:

1. Ser estables y robustos frente a perturbaciones y errores en los modelos.
2. Ser eficientes según un criterio preestablecido evitando comportamientos bruscos e irreales.
3. Ser fácilmente implementable y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

- **Sensores:** Permiten conocer los valores de las variables medidas del sistema.
- **Controlador:** Utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.
- **Actuador:** Es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control.

6.2.4.1. Variadores de frecuencia.

Una gran parte de los equipos utilizados en la industria moderna funcionan a velocidades variables, como por ejemplo los trenes laminadores, los mecanismos de elevación, las máquinas-herramientas, etc. En los mismos se requiere un control preciso de la velocidad para lograr una adecuada productividad, una buena terminación del producto elaborado, o garantizar la seguridad de personas y bienes.

Un variador de frecuencia es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$RPM = \frac{120X f}{p}$$

Donde:

RPM = Revoluciones por minuto

f = frecuencia de suministro CA (Hercio)

p = Número de polos (adimensional)

El variador de frecuencia regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando modificar su velocidad. Se utilizan estos equipos cuando las necesidades de la aplicación sean:

- Dominio de par y la velocidad.
- Regulación sin golpes mecánicos.
- Movimientos complejos.
- Mecánica delicada.

Ventajas de la utilización del Variador de Velocidad en el arranque de motores asíncronos son:

- El variador de velocidad no tiene elementos móviles, ni contactos.
- La conexión del cableado es muy sencilla.
- Permite arranques suaves, progresivos y sin saltos.
- Controla la aceleración y el frenado progresivo:
- Limita la corriente de arranque.
- Permite el control de rampas de aceleración y desaceleración regulables en el tiempo.
- Consigue un ahorro de energía cuando el motor funcione parcialmente cargado, con acción directa sobre el factor de potencia
- Puede detectar y controlar la falta de fase a la entrada y salida de un equipo. Protege al motor.
- Puede controlarse directamente a través de un autómata o microprocesador.
- Se obtiene un mayor rendimiento del motor.
- Nos permite ver las variables (tensión, frecuencia, r.p.m, etc...).

Las principales funciones de los variadores de velocidad electrónicos son:

Aceleración controlada: La aceleración del motor se controla mediante una rampa de aceleración. Generalmente, esta rampa es controlable y permite por tanto elegir el tiempo de aceleración adecuado para la aplicación.

Variación de velocidad: La velocidad del motor se define mediante un valor de entrada (tensión o corriente) llamado consigna o referencia. Para un valor dado de la consigna, esta velocidad puede variar en función de las perturbaciones (variaciones de la tensión de alimentación, de la carga, de la temperatura). El margen de velocidad se expresa en función de la velocidad nominal.

Regulación de la velocidad: Un regulador de velocidad es un dispositivo controlado, posee un sistema de mando con amplificación de potencia y un bucle de alimentación: se denomina, «bucle abierto». La velocidad del motor se define mediante una consigna o referencia, si se detecta una

desviación como consecuencia de una variación de velocidad, las magnitudes aplicadas al motor (tensión y/o frecuencia) se corrigen automáticamente para volver a llevar la velocidad a su valor inicial. Gracias a la regulación, la velocidad es prácticamente insensible a las perturbaciones.

Desaceleración controlada: Cuando se desconecta un motor, su desaceleración se debe únicamente al par resistente de la máquina (desaceleración natural). Los arrancadores y variadores electrónicos permiten controlar la desaceleración mediante una rampa, esta rampa puede ajustarse de manera que se consiga un tiempo para pasar de la velocidad de régimen fijada a una velocidad intermedia o nula.

Protección integrada: Los variadores modernos aseguran tanto la protección térmica de los motores como su propia protección. A partir de la medida de la corriente y de una información sobre la velocidad (si la ventilación del motor depende de su velocidad de rotación), un microprocesador calcula la elevación de temperatura de un motor y suministra una señal de alarma o de desconexión en caso de calentamiento excesivo.

Además, los variadores, y especialmente los convertidores de frecuencia, están dotados de protecciones contra: los cortocircuitos entre fases y entre fase y tierra, las sobretensiones y las caídas de tensión y los desequilibrios de fases.

Los variadores de frecuencia utilizados en el equipo CHILLER del edificio 340 de la Universidad del Valle son Danfoss. Y están compuestos por las siguientes partes (Ver figura 26):

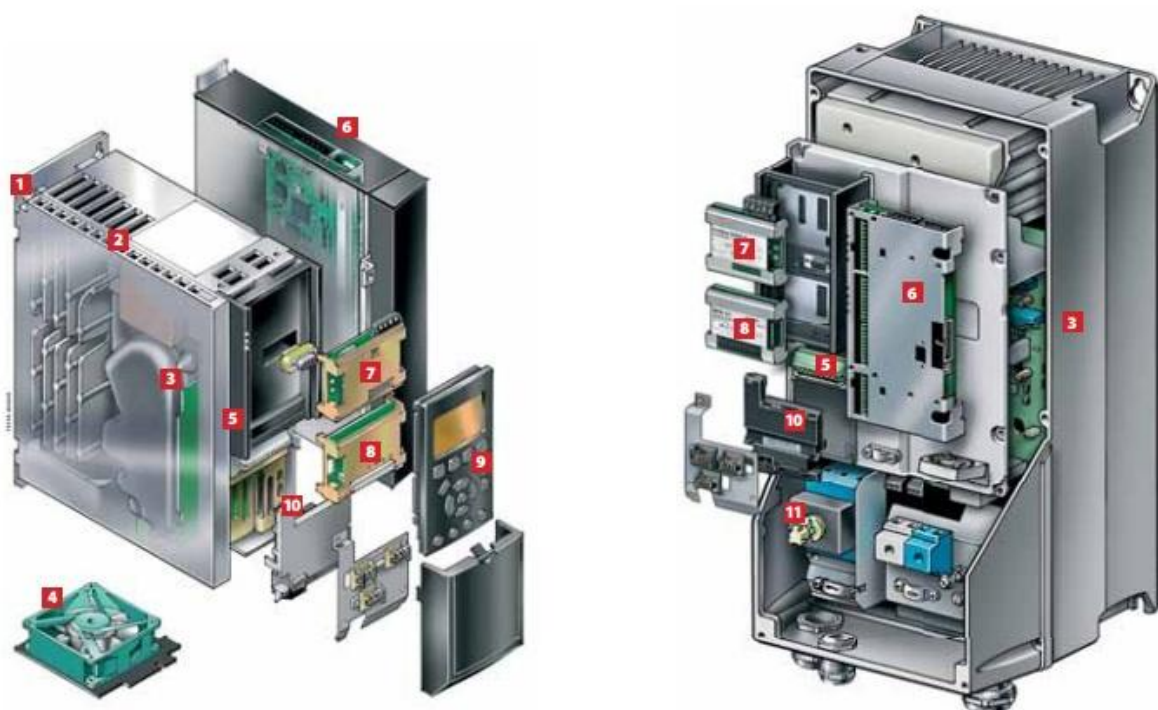


Figura 26. Variador de frecuencia VTL

Donde:

1. Convertidor de frecuencia.
2. EMC y efectos de red.
3. Revestimiento anticorrosivo.
4. Ventilador desmontable.

5. Terminales de control.
6. Opción programable.
7. Opción de bus de campo.
8. Extensiones de E/S.
9. Opciones del display.
10. Puerto de alimentación de 24V.
11. Interruptor de red.

Los variadores Danfoss están clasificados por un serial que describe sus características, este serial es llamado Código Descriptivo:

- 1) El variador para el Compresor es un VLT de Danfoss FC-102 trifásico de 200-240 V AC con una potencia de salida de 22Kw, con una protección IP20 (protegido contra cuerpos mayores a 12 mm y sin protección contra líquidos), con un filtro RFI clase A2, sin freno, sin panel de control local, PCB no barnizado y sin interruptor de desconexión de la red.
- 2) Variador para la bomba de torre de enfriamiento es un VLT de Danfoss FC-102 trifásico de 200-240 V AC con una potencia de salida de 3.3Kw, con una protección IP20 (protegido contra cuerpos mayores a 12 mm y sin protección contra líquidos), con un filtro RFI clase A2, sin freno, sin panel de control local, PCB no barnizado y sin interruptor de desconexión de la red.
- 3) Variador para la bomba del sistema glicol es un VLT de Danfoss FC-102 trifásico de 200-240 V AC con una potencia de salida de 2.2Kw, con una protección IP20 (protegido contra cuerpos mayores a 12 mm y sin protección contra líquidos), con un filtro RFI clase A2, sin freno, sin panel de control local, PCB no barnizado y sin interruptor de desconexión de la red.
- 4) Variador para el ventilador de la torre de enfriamiento es un VLT de Danfoss FC-102 trifásico de 200-240 V AC con una potencia de salida de 1.1Kw, con una protección IP20 (protegido contra cuerpos mayores a 12 mm y sin protección contra líquidos), con un filtro RFI clase A2, sin freno, sin panel de control local, PCB no barnizado y sin interruptor de desconexión de la red.

6.2.4.2. Controles.

Un PLC es un dispositivo usado para controlar. Este control se realiza sobre la base de una lógica, definida a través de un programa (ver figura 27). Los autómatas programables son máquinas secuenciales que ejecutan correlativamente las instrucciones indicadas en el programa de usuario almacenado en su memoria, generando unas órdenes o señales de mando a partir de las señales de entrada leídas de la planta (aplicación): al detectarse cambios en las señales, el control reacciona según el programa hasta obtener las órdenes de salida necesarias. Esta secuencia se ejecuta continuamente para conseguir el control actualizado del proceso.

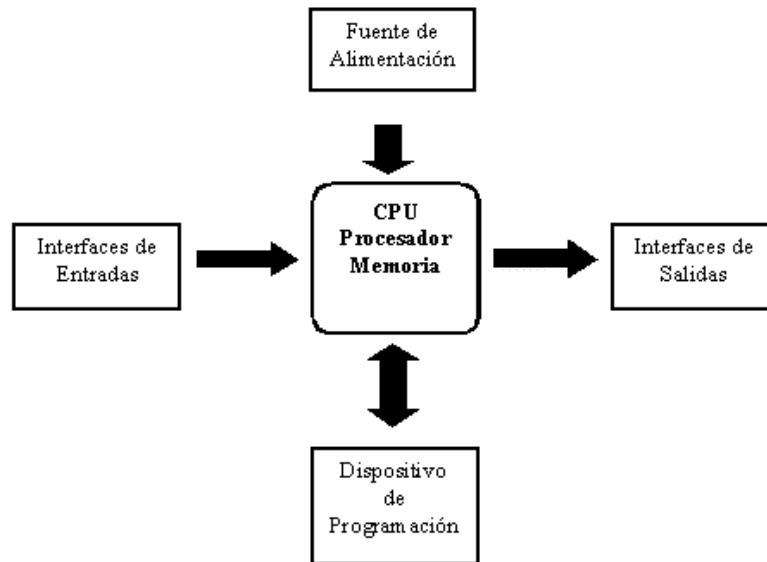


Figura 27. Estructura de un controlador lógico programable (PLC).

Para explicar el funcionamiento del PLC, se pueden distinguir las siguientes partes:

- Interfaces de entradas y salidas
- CPU (Unidad Central de Proceso)
- Memoria
- Dispositivos de Programación

El usuario ingresa el programa a través del dispositivo adecuado (un cargador de programa o PC) y éste es almacenado en la memoria de la CPU.

La CPU, que es el "cerebro" del PLC, procesa la información que recibe del exterior a través de la interfaz de entrada y de acuerdo con el programa, activa una señal salida a través de la correspondiente interfaz de salida.

Evidentemente, las interfaces de entrada y salida se encargan de adaptar las señales internas a niveles de la CPU. Por ejemplo, cuando la CPU ordena la activación de una salida, la interfaz adapta la señal y acciona un componente (transistor, relé, etc.)

Al comenzar el ciclo, la CPU lee el estado de las entradas. A continuación ejecuta la aplicación empleando el último estado leído. Una vez completado el programa, la CPU ejecuta tareas internas de diagnóstico y comunicación. Al final del ciclo se actualizan las salidas. El tiempo de ciclo depende del tamaño del programa, del número de E/S y de la cantidad de comunicación requerida.

Las ventajas en el uso del PLC comparado con sistemas basados en relé o sistemas electromecánicos son:

- **Flexibilidad:** Posibilidad de reemplazar la lógica cableada de un tablero o de un circuito impreso de un sistema electrónico, mediante un programa que corre en un PLC.
- **Tiempo:** Ahorro de tiempo de trabajo en las conexiones a realizar, en la puesta en marcha y en el ajuste del sistema.
- **Cambios:** Facilidad para realizar cambios durante la operación del sistema.
- **Confiabilidad**
- **Espacio**
- **Modularidad**
- **Estandarización**

El autómata programable consta de los siguientes componentes:

- Unidad central de procesamiento (CPU), que constituye el "cerebro" del sistema y toma decisiones en base a la aplicación programada.
- Módulos para señales digitales y analógicas (I/O)
- Procesadores de comunicación (CP) para facilitar la comunicación entre el hombre y la máquina o entre máquinas. Se tiene procesadores de comunicación para conexión a redes y para conexión punto a punto.
- Módulos de función (FM) para operaciones de cálculo rápido.

En los módulos de entrada pueden ser conectados:

- Sensores inductivos, capacitivos, resistivos, ópticos.
- Interruptores
- Pulsadores
- Llaves
- Detectores de proximidad

En los módulos de salida pueden ser conectados:

- Contactores
- Electroválvulas
- Variadores de velocidad
- Alarmas

Módulos de entradas digitales: Los módulos de entradas digitales convierten las señales digitales externas del proceso al nivel interno del autómata.

Módulos de salidas digitales: Los módulos de salidas digitales convierten las señales internas del autómata en señales externas adaptadas al proceso.

Módulos de entradas analógicas: Este convierte las señales analógicas en señales digitales que el autómata procesa internamente. Se puede conectar sensores y emisores de señal de tipo tensión o intensidad, resistencia, así como termopares y termoresistencias y se puede elegir entre módulos que van de los 2 a 8 canales.

Módulos de salidas analógicas: Este módulo convierte las señales digitales del autómata en señales analógicas para el proceso. Es una herramienta indispensable para convertidores de frecuencias, regulaciones, etc. Además dispone de 8 canales y tiene una resolución de 4 bits, con posibilidad de configuración para señales tipo tensión o corriente.

6.2.4.2.1. Control Danfoss AK2-SC-255.

El control AK2-SC-255 (ver figura 28) de la Universidad del Valle es utilizado en el sistema de refrigeración secundario para la visualización y toma de datos, y la orden de las ejecuciones que el usuario o el sistema disponga; esto se puede hacer gracias a las entradas/salidas analógicas y salidas digitales. La señal de entrada llega a uno de los módulos y se envía al módulo de comunicación que está conectado directamente al Control. La señal de salida empieza en el control,

luego al módulo de comunicación y módulo de salida digital que posteriormente da la señal al actuador.

El AK2-SC-255 brinda funciones de control y monitorización en todos los niveles. Sólo refrigeración, sólo HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire acondicionado) ó Control Completo.

- Permite hasta 5 grupos de aspiración y hasta 40 circuitos por grupo de aspiración; posibilidad de definir varias estrategias para el control de varios tipos de condensadores.
- Permite el control de hasta 30 zonas de iluminación y hasta 40 sistemas HVAC.
- Incorpora procesador Boolean Logic.
- Versiones con y sin display.



Figura 28. Control Danfoss AK2-SC-255.

Los módulos que se utilizan en el control para el CHILLER de la Universidad del Valle funcionan con una tensión de alimentación de 24 V en corriente alterna o corriente continua. Estos módulos alimentan los transductores de presión ya sea a 5V o 12 V dependiendo del tipo de transmisor, estos puertos de alimentación se encuentran en la parte superior del módulo.

Hay dos filas con los LED. Significan (ver figura 29):

Lado izquierda:

- Alimentación de tensión al controlador
- La comunicación activa con la tarjeta de circuitos inferior (rojo = error)
- Estado de las salidas DO1 a DO8

Lado derecho:

- Software de estado (slow flash = OK)
- Comunicación con la herramienta de servicio
- Comunicación sobre LON
- Alarma LED parpadea cuando
- 3 LED que no se utilizan
- "Pin de servicio" se ha activado el interruptor

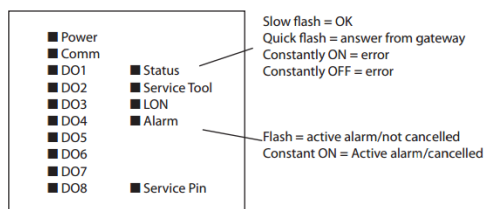


Figura 29. Tablero de Estado de Módulos.

6.2.4.2.2. Control válvula de expansión EKC 315A.

En un sistema de refrigeración, los sistemas de regulación electrónicos controlan el evaporador, y constan de los siguientes componentes:

- Controlador electrónico
- Sensores de temperatura Pt 1000 ohm
- Transmisores de presión
- Válvulas de expansión electrónicas.

El controlador EKC 315 y la válvula TQ20 están diseñados para aplicaciones de refrigeración que requieren un control preciso del recalentamiento y la temperatura (ver figura 30). Por ejemplo: Cámaras frigoríficas (enfriadores de aire), Plantas de proceso (enfriadoras de agua) y Plantas de aire acondicionado.

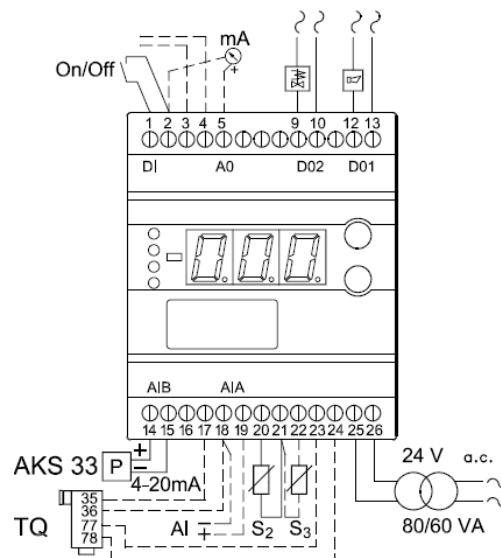


Figura 30. Control EKC 315.

Donde:

S2 es un Sensor Pt 1000 a la salida del evaporador.

S3 es un Sensor Pt 1000 para medir temperatura del glicol a la entra del evaporador.

AKS 33 es un Transmisor de presión.

TQ es una válvula de expansión electrónica.

Ventajas

- ✓ Óptima carga del evaporador – incluso bajo grandes fluctuaciones de carga y presión de aspiración.
- ✓ Ahorro energético – la regulación "adaptativa" de la inyección de refrigerante, asegura un uso óptimo del evaporador, y por lo tanto una alta presión de aspiración.
- ✓ Control de temperatura preciso – la combinación del control "adaptativo" del evaporador y de la temperatura, asegura una gran precisión de temperatura para el medio a refrigerar.
- ✓ La regulación del recalentamiento se limita al valor mínimo posible a la vez que la temperatura del entorno se controla mediante la función del termostato.

El funcionamiento del control se basa en el recalentamiento en el evaporador que se controla mediante un transmisor de presión P y un sensor de temperatura S2. La TQ es una válvula reguladora, y cuando se utiliza tiene que haber una válvula solenoide en la línea de líquido. El control de temperatura se realiza con base a una señal del sensor de temperatura S3, el cual está situado en la corriente de aire de entrada del evaporador. La regulación de temperatura es en forma de un termostato ON/OFF, que cierra la línea de líquido, mediante la válvula solenoide.

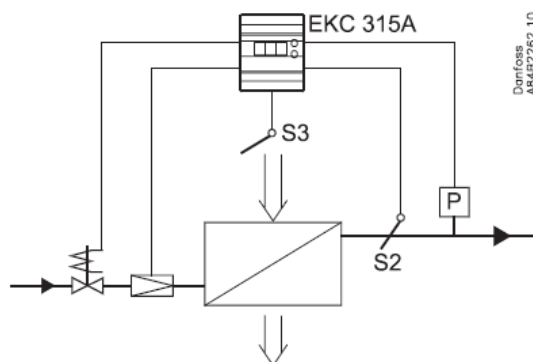


Figura 31. Esquema del funcionamiento del Control EKC 315A.

Funciones:

- **Función del recalentamiento:** El parámetro en el que se basa el control de la válvula electrónica es la temperatura de recalentamiento, que indica efectivamente si hay o no hay líquido al final del evaporador. La temperatura de recalentamiento se calcula como la diferencia entre: la temperatura del gas sobrecalentado (medida por una sonda de temperatura situada al final del evaporador) y la temperatura saturada de evaporación (calculada en función de la lectura de un transductor de presión situado al final del evaporador y utilizando la curva de conversión Tsat (P) de cada refrigerante). Una temperatura de recalentamiento recomendada es de 7°C.

Si la temperatura de recalentamiento es alta significa que el proceso de evaporación ha finalizado antes del final del evaporador y, por lo tanto, el índice de flujo de refrigerante que pasa por la válvula es insuficiente. Esto provoca una reducción de la eficacia de refrigeración debido a una fuerte explotación de parte del evaporador. Se debe, por lo tanto, incrementar la apertura de la válvula. Viceversa, si la temperatura de recalentamiento es baja significa que el proceso de evaporación no ha concluido al final del evaporador y quedará todavía una cierta cantidad de líquido a la entrada del compresor. Se debe, por lo tanto, disminuir la apertura de la válvula.

- **MOP:** El umbral de la protección MOP se aplica como valor de temperatura de evaporación saturada para poderlo comparar fácilmente con los datos técnicos proporcionados por los fabricantes de los compresores. La protección se activa para evitar que valores demasiado altos de la temperatura de evaporación provoquen una carga de trabajo excesiva para el compresor, con el consiguiente sobrecalentamiento del motor y la posible activación de la protección térmica. Para poder reducir la temperatura de evaporación, la salida de la unidad de refrigeración tiene que ser disminuida. Se puede hacer mediante el cierre controlado de la válvula electrónica, lo que implica el abandono del control del recalentamiento y un aumento de la temperatura de recalentamiento. Así, la protección tendrá una reacción moderada que tiende a limitar el aumento de la temperatura de evaporación, manteniéndola por debajo del umbral de activación mientras intenta que el

sobrecalentamiento aumente lo menos posible. Las condiciones de funcionamiento no se restablecerán basándose en la activación del protector, sino en la reducción de la carga de refrigerante que ha causado el aumento de la temperatura. El sistema por lo tanto permanecerá en la mejores condiciones de funcionamiento (un poco por debajo del umbral) hasta que no cambien las condiciones de carga. Cuando la temperatura de evaporación sube por encima del umbral MOP, el sistema entra en el estado MOP, se interrumpe el control de sobrecalentamiento para que se pueda controlar la presión y la válvula cierra lentamente, tratando de limitar la temperatura de evaporación. Como la acción es integral, depende directamente de la diferencia entre la temperatura de evaporación y el umbral de activación. Cuanto más aumente la temperatura de evaporación con respecto al umbral MOP, mayor será la intensidad de cierre de la válvula. El tiempo integral indica la intensidad de la acción: cuanto más bajo es el valor, más intensa es la acción.

- **Salida analógica:** El controlador está provisto de una salida de corriente analógica la cual se puede ajustar tanto para 0-20 mA ó 4-20 mA. La señal puede registrar el recalentamiento, grado de apertura de la válvula ó temperatura del fluido a refrigerar.
- **Función de desplazamiento (modificación):** Mediante la entrada analógica, se puede desplazar las referencias de temperatura o de recalentamiento. Puede ser una señal de 0-20 mA ó una señal de 4 - 20mA. Las referencias se pueden desplazar bien en sentido positivo ó en sentido negativo (ver figura 32).

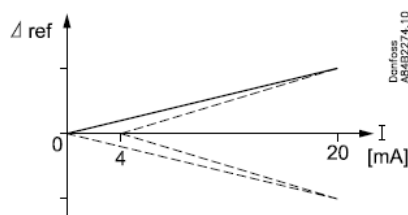


Figura 32. Función de desplazamiento.

- **Interruptor externo para arranque/parada:** El controlador se puede arrancar y parar externamente mediante el contacto conectado a los terminales de entrada 1 y 2 (ver figura 30). La regulación se para cuando se interrumpe la conexión. La función deberá utilizarse cuando el compresor está parado. El controlador cierra entonces la válvula solenoide cortando la alimentación de refrigerante al evaporador.
- **Operación con PC:** El controlador se puede proveer con comunicación de datos, con lo cual se puede conectar con otros productos de la línea ADAPKOOL ® de Danfoss. Operación, monitorización y almacenamiento de datos se pueden realizar desde un PC instalado en la misma planta o bien en la compañía de mantenimiento.

6.2.4.3. Sensores de temperatura.

Los sensores de temperatura AKS tienen un principio físico que se basa en la resistividad de los metales, es decir, en variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Esto se debe a que al incrementar la temperatura los iones vibran con mayor amplitud y así se dificulta el paso de los electrones a través del conductor. El elemento resistor consiste en un enrollamiento muy fino de platino bobinado y protegido por una carcasa en acero inoxidable (ver figura 33), el valor de esta resistencia cambia proporcionalmente con la temperatura (comportamiento lineal).

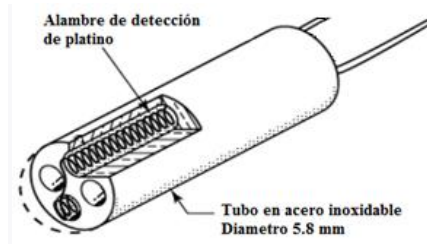


Figura 33. Sensor de temperatura AKS 12.

Las características que deben tener los metales son un alto coeficiente de resistencia y alta resistividad para que tengan mayor sensibilidad y que haya una relación lineal entre la resistencia y la temperatura. La variación de la resistencia viene dada por la siguiente fórmula:

$$R_T = R_o (1 + \alpha T)$$

Donde:

R_o Es la resistencia inicial (valor de la resistencia a 0°C en Ohmios).

T Es la temperatura medida en grados Celsius.

α es el coeficiente de temperatura del conductor. Este debe ser alto.

Los sensores de temperatura utilizados en el control del CHILLER del edificio 340 de la Universidad del Valle son AKS 12 con resistencia de platino Pt 1000 (1000 ohm a 0 ° C), estos sensores tienen dos cables, uno de excitación y otro de señal; los cuales están conectados mediante los puertos de entradas analógicas al modulo AK2 –XM205B. Los módulos energizan los sensores de temperatura con una señal de 12V por el cable de excitación y por el otro cable reciben una señal de voltaje que depende de la temperatura a la cual esté expuesta la resistencia de platino, con estos dos valores de voltaje el módulo AK2 –XM205B mide la caída de tensión en el sensor, este valor es transmitido al control AK2-SC-255 para determinar el valor de la resistencia mediante la Ley de Ohm. Sucede que la caída de voltaje que determina el módulo de entrada será la de la RTD (detector de temperatura resistivo) sumada a la de los cables. En la tabla 1 se observa la resistencia que emite la bobina de platino medida en Ohms correspondiente a cada temperatura medida por el sensor AKS 12, esta temperatura entregada en °C con un rango de operación de -40°C a 100°C.

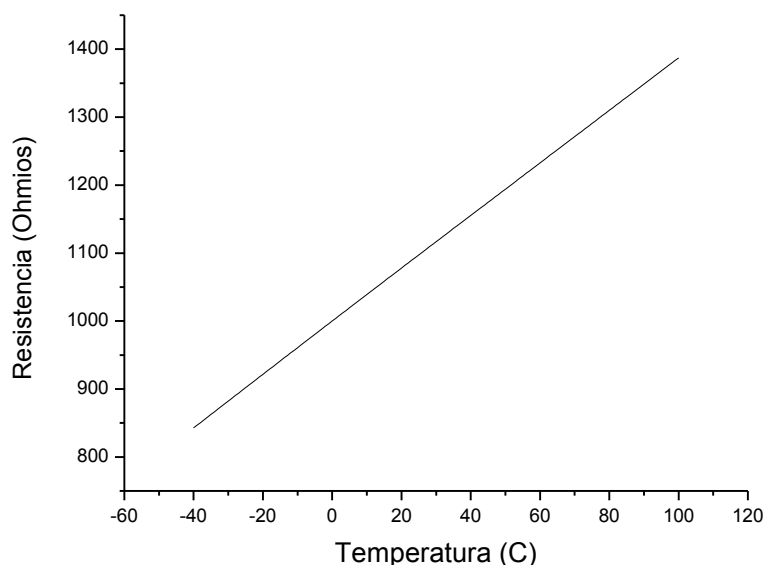


Figura 34. Curva característica del AKS12.

°C	ohm	°C	ohm	°C	ohm	°C	ohm	°C	ohm	°C	ohm	°C	ohm
-40	842,7	-20	921,6	0	1000	20	1077,9	40	1155,4	60	1232,7	80	1310
-39	846,7	-19	925,5	1	1003,9	21	1081,8	41	1159,3	61	1236,5	81	1313,9
-38	850,6	-18	929,5	2	1007,8	22	1085,7	42	1163,1	62	1240,4	82	1317,7
-37	854,6	-17	933,4	3	1011,7	23	1089,6	43	1167	63	1244,3	83	1321,6
-36	858,5	-16	937,3	4	1015,6	24	1093,5	44	1170,8	64	1248,1	84	1325,5
-35	862,5	-15	941,2	5	1019,5	25	1097,3	45	1174,7	65	1252	85	1329,3
-34	866,4	-14	945,2	6	1023,4	26	1101,2	46	1178,5	66	1255,9	86	1333,2
-33	870,4	-13	949,1	7	1027,3	27	1105,1	47	1182,4	67	1259,7	87	1337,1
-32	874,3	-12	953	8	1031,2	28	1109	48	1186,3	68	1263,6	88	1340,9
-31	878,3	-11	956,9	9	1035,1	29	1112,8	49	1190,1	69	1267,5	89	1344,8
-30	882,2	-10	960,9	10	1039	30	1116,7	50	1194	70	1271,3	90	1348,7
-29	886,2	-9	964,8	11	1042,9	31	1120,6	51	1197,9	71	1275,2	91	1352,5
-28	890,1	-8	968,7	12	1046,8	32	1124,5	52	1201,7	72	1279,1	92	1356,4
-27	894	-7	972,6	13	1050,7	33	1128,3	53	1205,6	73	1282,9	93	1360,3
-26	898	-6	976,5	14	1054,6	34	1132,2	54	1209,5	74	1286,8	94	1364,1
-25	901,9	-5	980,4	15	1058,5	35	1136,1	55	1213,3	75	1290,7	95	1368
-24	905,9	-4	984,4	16	1062,4	36	1139,9	56	1217,2	76	1294,5	96	1371,9
-23	909,8	-3	988,3	17	1066,3	37	1143,8	57	1221,1	77	1298,4	97	1375,7
-22	913,8	-2	992,2	18	1070,2	38	1147,7	58	1224,9	78	1302,3	98	1379,6
-21	917,7	-1	996,1	19	1074	39	1151,5	59	1228,8	79	1306,1	99	1383,5

Tabla 1. Medida de Resistencia de los sensores de temperatura en función de la temperatura.

6.2.4.4. Transductores de presión.

Para la medida de presión con transmisores de presión se requiere un sensor que capta el valor de presión o la variación de la misma y lo convierte de manera exacta y precisa en una señal eléctrica. La señal eléctrica indica el valor de presión recibida. Los cuatro principios más importantes son la medida con sensores resistivos, sensores piezoresistivos, sensores capacitivos y sensores piezoeléctricos.

El término transductor ha sido aplicado a dispositivos, o combinaciones de dispositivos, que convierten señales, o energía, de una forma física a otra forma. Más específicamente, en sistemas de medición, un transductor se define como un dispositivo que provee una salida usable, en respuesta a una medida especificada. La entrada es "una cantidad física, propiedad o condición, la cual es medida" y la salida es una "cantidad eléctrica, producida por un transductor, que es función de la medida".

Si bien los transductores actuales suelen estar integrados en una sola pieza, se pueden distinguir, en general, tres etapas en la generación de la salida eléctrica en respuesta a la medida física.

1. Sensor: es un elemento que responde directamente a la medida.
2. Transductor propiamente dicho: es el elemento en el que se transduce la señal física en una salida eléctrica.

3. Circuito de acondicionamiento y procesamiento de la señal: es un circuito, eléctrico o electrónico, que le da formato a la señal entregada por el transductor. Su principal función es linealizar la salida y estandarizarla dentro de los límites de la aplicación.

Medida con sensores resistivos: El principio de medida con sensores resistivos se basa en la medida de la variación de la resistencia inducida por la deformación en función de la presión. La resistencia de un conductor eléctrico está definida por la ecuación:

$$R = p * \frac{l}{A}$$

Donde R es resistencia eléctrica, p es resistencia específica, l es longitud y A es la superficie de sección. Una tracción del conductor aumenta la longitud y reduce la superficie de sección con la consecuencia de un aumento de la resistencia eléctrica (ver figura 35), ya que la resistencia específica se mantiene constante. Una deformación provocada por recalado tendría el efecto contrario. Para la realización del principio se utiliza un cuerpo base que se deforma de manera controlado al someterle a presión. A menudo este cuerpo consiste en una membrana con una parte fina. El valor de la deformación en función de la presión se mide mediante una cinta extensométrica es decir conductores eléctricos metálicos tipo meandro.

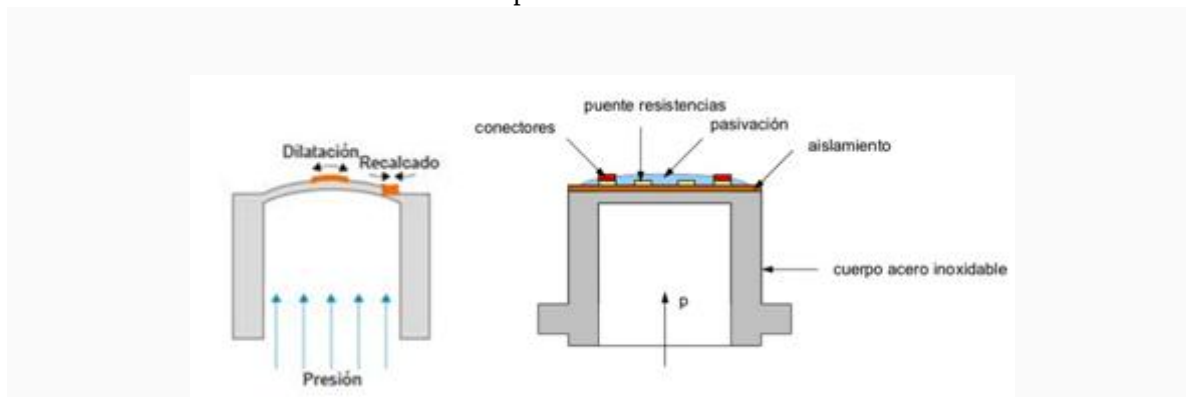


Figura 35. Esquema de sensores resistivos.

Habitualmente se encuentran cuatro cintas extensométricas en una membrana de las cuales unas están ubicadas en el área de dilatación, otras en el área del recalado. La deformación de la membrana provoca la deformación de las cintas con el efecto de un aumento proporcional de la resistencia (dilatación) o de una reducción (recalado). Para realizar una medición precisa se conecta las cintas a un puente Wheatstone.

Sensores piezoresistivos: El principio de la medida con sensores piezoresistivos es similar al de los sensores resistivos. La diferencia reside en la utilización de semiconductores como cintas extensométricas en vez de metal y la deformación provoca en este caso una variación de la resistencia específica. Según la ecuación indicada arriba, la resistencia eléctrica varía proporcional con la resistencia específica. Este efecto piezoresistivo con semiconductores es de un factor 10 hasta 100 veces mayor que con metal. Las cintas metálicas pueden colocarse en cualquier material mientras las cintas semiconductoras están incorporadas como microestructura en la membrana. Por lo tanto las cintas extensométricas y el cuerpo expuesto a la deformación están compuestas del mismo material. Normalmente se incorpora cuatro cintas en una membrana de silicio formando un puente de Wheatstone (ver figura 36).



Figura 36. Sensor piezoresistivo.

Dado que las microestructuras no presentan la suficiente resistencia contra numerosos medios de proceso se encapsula el chip para la mayoría de las aplicaciones. La transmisión de la presión se efectúa en este caso de manera indirecta, por ejemplo mediante una membrana metálica o mediante aceite como medio de transmisión. El gran volumen del efecto piezoresistivo permite la aplicación de estos sensores también para presiones muy bajas. Sin embargo la elevada sensibilidad a efectos de temperatura requiere una compensación de temperatura individual para cada sensor (ver figura 37).

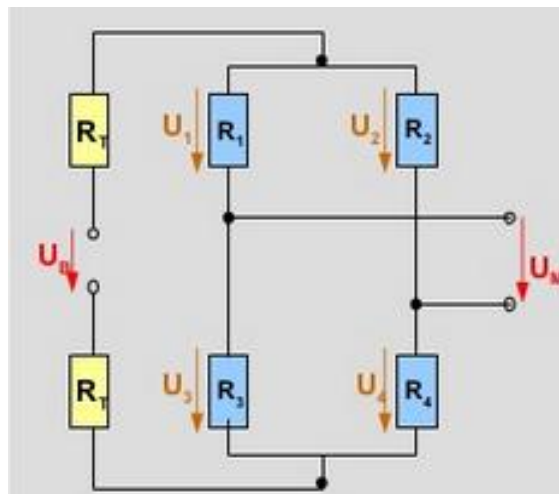


Figura 37. Esquema de sensor piezométrico con compensación por temperatura R_T .

Los transductores de presión utilizados en el Chiller del edificio 340 de la Universidad del Valle son transductores Danfoss con sensores piezoresistivos y protección IP 65(Protección completa contra contacto, protección contra penetración de polvo y Protegido contra los chorros de agua desde todas las direcciones), con las siguientes referencias:

- AKS33- 060G2101, este transductor de baja presión (LP) se encuentra ubicado a la salida del evaporador y mide la presión P4 del sistema de compresión de vapor. Este transductor está diseñado para un control preciso y optimizado energéticamente, que admite una señal de alimentación de 10 a 30 V dc para este caso se alimenta con 12 V dc y tiene una resistencia $R_L \leq 100$ Ohmios (ver figura 38), una señal de salida de 4 a 20 mA (ver figura 39), compensación por temperatura para transmisores de baja presión (LP): -30 a 40°C , mide presión en un rango de $(-1$ a 12 bares), con una presión máxima de operación de 33 bares, con un diseño robusto que proporciona protección contra influencias mecánicas tales como golpes, vibraciones y golpes de presión, con protección eficaz contra la humedad lo que significa que el sensor se puede montar en ambientes muy agresivos, como por ejemplo en la línea de aspiración encapsulado en un bloque de hielo.

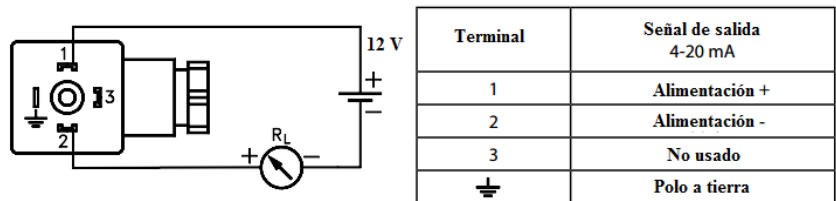


Figura 38. Conexión eléctrica.

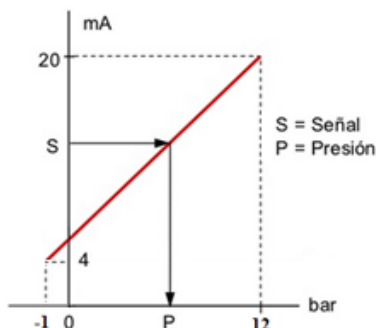


Figura 39. Curva característica ideal del AKS 33 060G2101.

- AKS32-060G2031, este transductor de alta presión (HP) se encuentra ubicado a la salida del separador de aceite del compresor y mide la presión P1 del sistema de compresión de vapor. Este transductor está diseñado para un control preciso y optimizado energéticamente, con una señal de alimentación de 8 a 30 V dc; para este caso está alimentado con 12V dc. En comparación al AKS 33 606G2101 no tiene resistencia en la conexión eléctrica (ver figura 40), arroja una señal de salida de 1 a 5 V dc(ver figura 41); mide presión en un rango de (0 a 34 bares), compensación por temperatura para transmisores de alta presión (HP): 0 - +80°C, con una presión máxima de operación de 55 bares, con un diseño robusto que proporciona protección contra influencias mecánicas tales como golpes, vibraciones y golpes de presión.

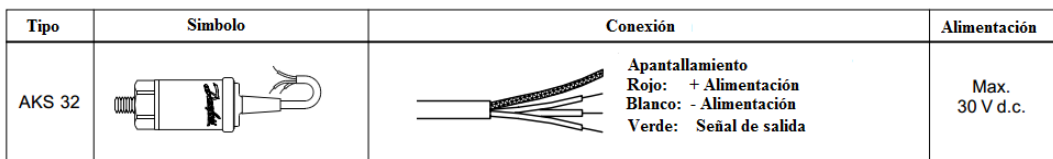


Figura 40. Conexión eléctrica.

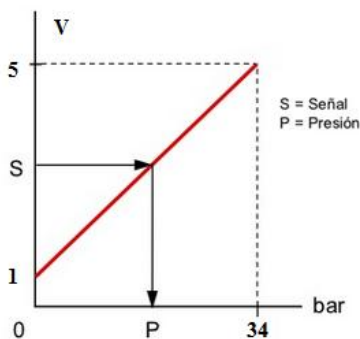


Figura 41. Curva característica ideal de AKS 32 060G2031.

- AKS32-060G2030, este transductor de baja presión (LP) se encuentra ubicado a la salida de la Válvula de expansión y mide la presión P3 del sistema de compresión de vapor. Este transductor está diseñado para un control preciso y optimizado energéticamente, con una señal de alimentación de 8 a 30 V dc; para este caso está alimentado con 12V dc; en comparación al AKS 33 606G2101 no tiene resistencia en la conexión eléctrica (ver figura 40), arroja una señal de salida de 1 a 5 V dc(ver figura 42); mide presión en un rango de (0 a 12 bares), compensación por temperatura para transmisores de baja presión (LP): -30 a 40°C, con una presión máxima de operación de 33 bares, con un diseño robusto que proporciona protección contra influencias mecánicas tales como golpes, vibraciones y golpes de presión.

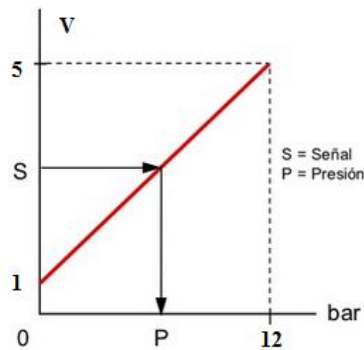


Figura 42. Curva característica ideal del AKS 33 060G2030

6.2.4.5 Transductor diferencial de presión.

Para la medición diferencial de presión con transductores diferenciales se requiere un sensor que capte el valor de presión o la variación de la misma y lo convierta de manera exacta y precisa en una señal eléctrica. La señal eléctrica indica el valor de presión recibida. Los cuatro principios más importantes son la medida con sensores resistivos, sensores piezoresistivos, sensores capacitivos y sensores piezoeléctricos.

El transductor diferencial de presión utilizado en el CHILLER del edificio 340 de la Universidad del Valle es un Omega PX2300, el cual tiene un sensor piezoresistivo; que tiene un rango de excitación entre 9 a 30 VDC y una señal de salida de (4-20mA), el Omega PX2300 viene calibrado de fábrica a 24 V DC. El sensor está formado por cuatro cintas en una membrana de silicio formando un puente de Wheatstone, el cual mide la diferencia de presión existente entre sus dos superficies.

El transductor diferencial de presión tiene una resistencia interna que varía dependiendo de la excitación recibida, a continuación en la figura 43 se puede observar el comportamiento de esta resistencia.

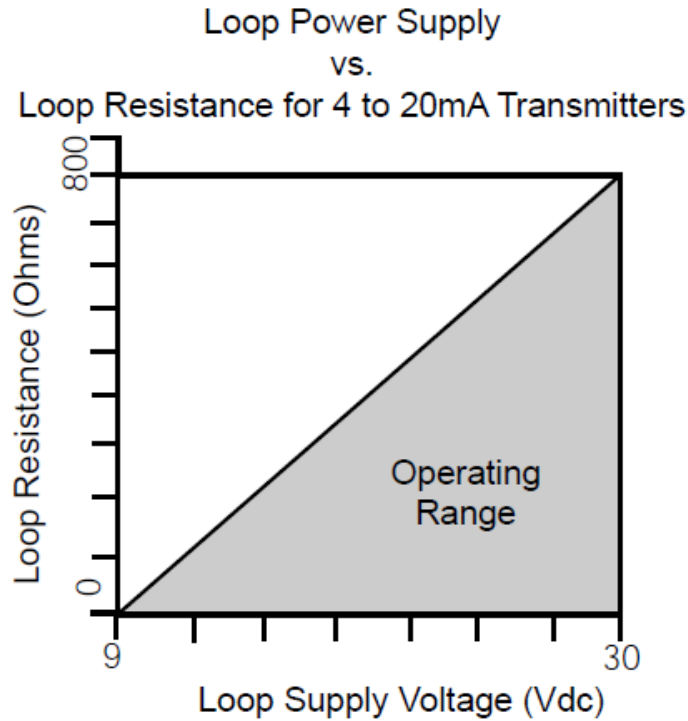


Figura 43. Curva PX2300 - resistencia interna VS Voltaje de alimentación

Como la señal de salida del diferencial de presión está dada en un rango de amperaje (4-20mA), esta señal debe ser transducida a voltaje, para que pueda ser leída por el control AK-SC-255, en este caso se transforma la señal a voltaje por medio de una resistencia de 100 Ohm, con esta resistencia más la resistencia del componente que es de 458 Ohm, por estar excitado con un voltaje de 21 VDC, se tiene entonces una resistencia total de 558 Ohm.

El comportamiento de la caída de presión leída por el diferencial de presión respecto al delta de voltaje se puede ver en la figura 44.

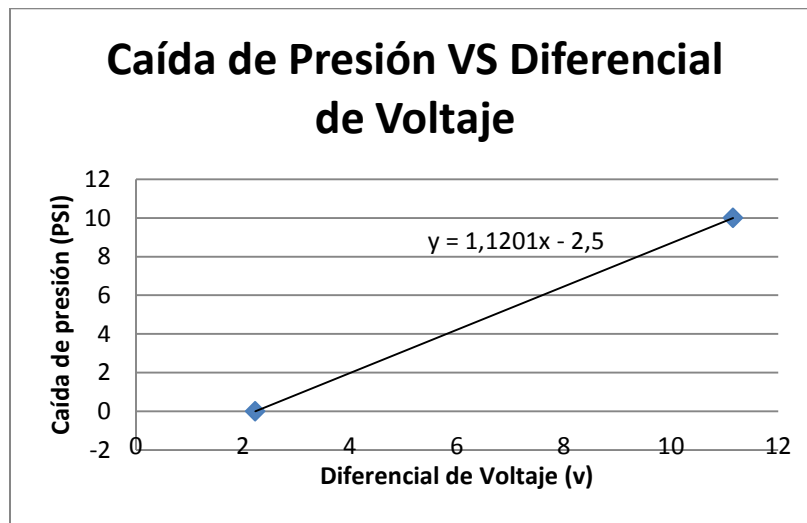


Figura 44. Medida de la caída de presión del PX2300 VS el diferencial de voltaje.

6.2.4.6. Sensor de Humedad relativa y temperatura Ambiente.

Los sensores capacitivos (polímero orgánico capacitivo) son diseñados normalmente con platos paralelos, con electrodos porosos o con filamentos entrelazados en el sustrato. El material dieléctrico absorbe o elimina vapor de agua del ambiente con los cambios del nivel de humedad. Los cambios resultantes en la constante dieléctrica causa una variación en el valor de la capacidad del dispositivo por lo que resulta una impedancia que varía con la humedad. Un cambio en la constante dieléctrica de aproximadamente el 30% corresponde a una variación de 0-100% en la humedad relativa. El material sensor es muy delgado para alcanzar grandes cambios en la señal con la humedad. Esto permite al vapor de agua entrar y salir fácilmente y el secado rápido para la sencilla calibración del sensor.

Los sensores capacitivos son también apropiados para aplicaciones que requieran un alto grado de sensibilidad a niveles bajos de humedad, donde proveen una respuesta relativamente rápida. A valores de humedad superiores al 85% sin embargo el sensor tiene una tendencia a saturar y se transforma en no lineal.

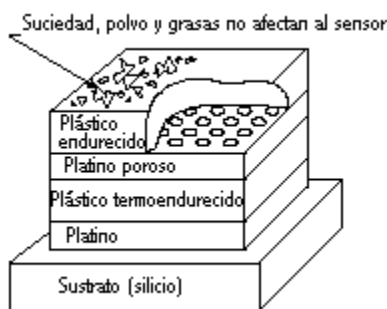


Figura 45. Estructura de un sensor capacitivo para medir nivel de humedad.

Efectos de la temperatura y la humedad. La salida de todos los sensores de humedad por absorción (capacitivos, resistivos, de film resistivo etc.), se ven afectados sensiblemente por la temperatura y la humedad relativa. A causa de esto se utilizan mecanismos de compensación de temperatura en aplicaciones que demanden alto nivel de precisión o un amplio rango de temperaturas. Cuando se compensa la temperatura de un sensor lo mejor es hacer la medición de temperatura tan cerca como sea posible de área activa del sensor, esto es en el mismo micro-ambiente. Esto es especialmente verdad cuando se combina la medición de RH y temperatura para derivar el punto de rocío. Los instrumentos de tipo industrial para medir humedad y punto de rocío incorporan una resistencia de platino (RTD) en la parte posterior del sustrato del sensor para la integridad de la compensación de la diferencia de temperaturas. Para estos sensores de alta temperatura no se proveen los circuitos electrónicos de acondicionamiento de señal.

El transmisor de humedad relativa HX303C está diseñado para ambientes industriales con una alimentación de 12 a 40 VDC y una señal de salida de 4 a 20 mA, cuenta con un sensor lineal el cual es un condensador de polímero de película delgada que tiene un rango de humedad relativa de 0 a 100 % HR en un ambiente de 0 a 50 °C, tiempo de respuesta de 15 segundos con un flujo de aire de 0,5 m/s, tiene corrección por compensación de temperatura hasta los 50°C; lo que quiere decir que a temperaturas mayor a 50°C tiene error de lectura, para el sensor de la temperatura ambiente se utiliza una RTD de platino PT100 la cual varía su resistencia con el cambio de temperatura y tiene un comportamiento lineal. La señal de temperatura y humedad relativa del transmisor HX303C fueron transformadas de corriente a caída de voltaje para poder ser leídas desde el

control AK-SC-255; esta señal se transformó por medio de dos resistencias de 330 Ohm ubicadas en las señales de salida de la humedad relativa y temperatura ambiente respectivamente.

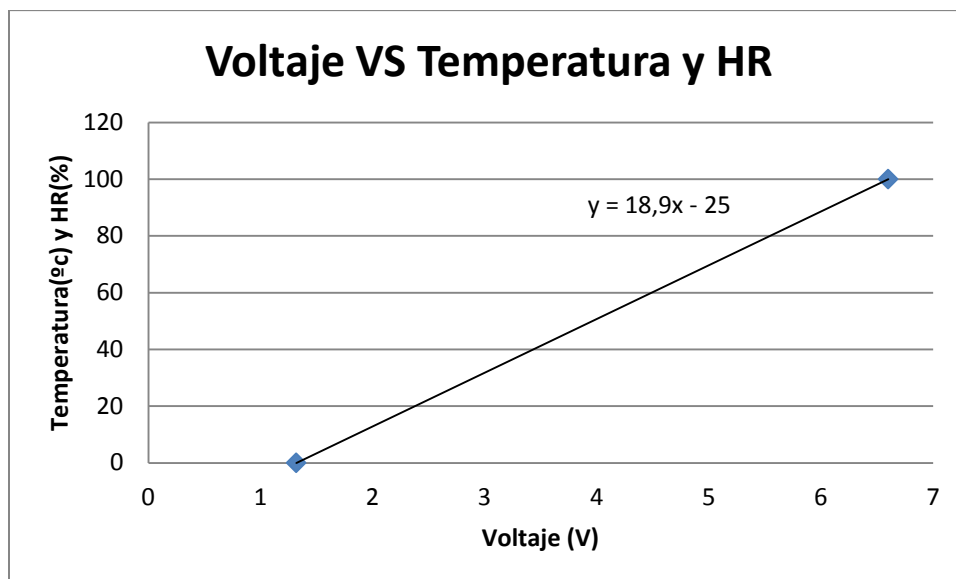


Figura 46. Medida de la temperatura ambiente y % de HR del sensor HX303C VS Voltaje.

7. BITÁCORA DE TRABAJO.

Fecha. 27,28/-09-11

- Se toman mediciones de los componentes y fotos detalladas de cada una de las partes para el levantamiento de los planos y la recolección de las especificaciones técnicas para la caracterización del equipo.
- Reconocimiento mecánico y técnico del CHILLER con el ingeniero Guillermo Perea.



Foto1. Reconocimiento del Equipo con el ingeniero Guillermo.

- Se recibe el equipo sólo con el funcionamiento del control de la válvula EKC 315A como se observa en la foto 2.



Foto 2. Estado inicial del gabinete de control.

- Se recibe el equipo con un cableado inadecuado y sin la identificación de los mismos, y con ausencia del sensor de temperatura T7 (Entrada del fluido a enfriar en el evaporador) y T9 (Sensor Bancos de Hielo).



Figura 3. Cableado inadecuado de los sensores y válvulas solenoides.



Foto 4. Ausencia de sensor de temperatura T7.

Fecha. 18-05-12

- Se sostuvo una reunión con uno de los representantes de Danfoss para el debido funcionamiento del control del equipo. Participantes de la Reunión: Profesor José Isidro García, Andrés Felipe Henao, Jhonny Fernando Sevilla.
- Se instaló la red eléctrica para el transformador RENCO RL 2250-56-24 que alimenta el control AKS-SC-255 y las válvulas solenoides (ver foto5).
- Se actualizó el software del controlador AK2-SC-255 (Realizado por el asesor de Danfoss).

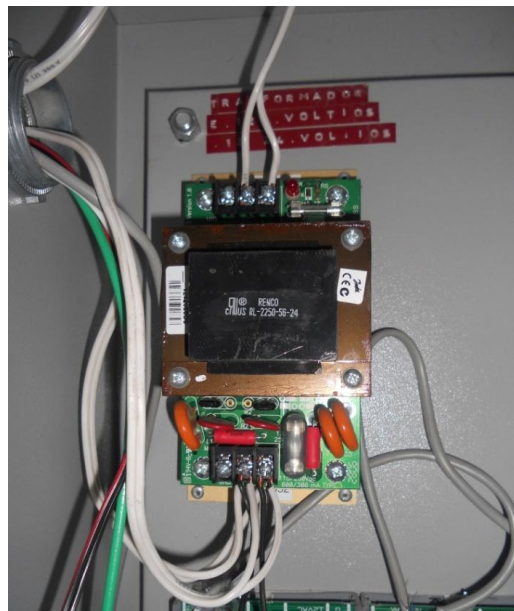


Foto 5. Alimentación del transformador RENCO RL 2250-56-24.



Foto 6. Reunión sostenida con representante de Danfoss.

- En esta reunión se encontraron las siguientes falencias:
 1. Se debe transformar la señal de Amperios a Voltaje en el sensor de presión P4 (sensor que está después del evaporador), esta transformación en la señal se realiza con una resistencia de 250 Ohmios.
 2. Se deben de cambiar de posición los sensores de presión de alta y de baja, ya que están ubicados en posiciones invertidas, según los rangos de presión que puede manejar cada uno.
 3. Se necesita un transformador de 110v-24v (Voltaje) y con una potencia de 100 VA, para ser utilizada en el control en las tarjetas de entradas analógicas.

Fecha. 01-06-12

- Se realizan las conexiones e identificaciones provisionales de entradas análogas y salidas digitales para el control con cinta de enmascarar, para el monitoreo de las mediciones de las variables involucradas en el CHILLER (ver figura7). Para la realización de estas conexiones se tomaron como base los catálogos de los módulos del control de la página de Danfoss, esta tarea se realizó con la asesoría del profesor José Isidro García y el compañero Alberto Loaiza.

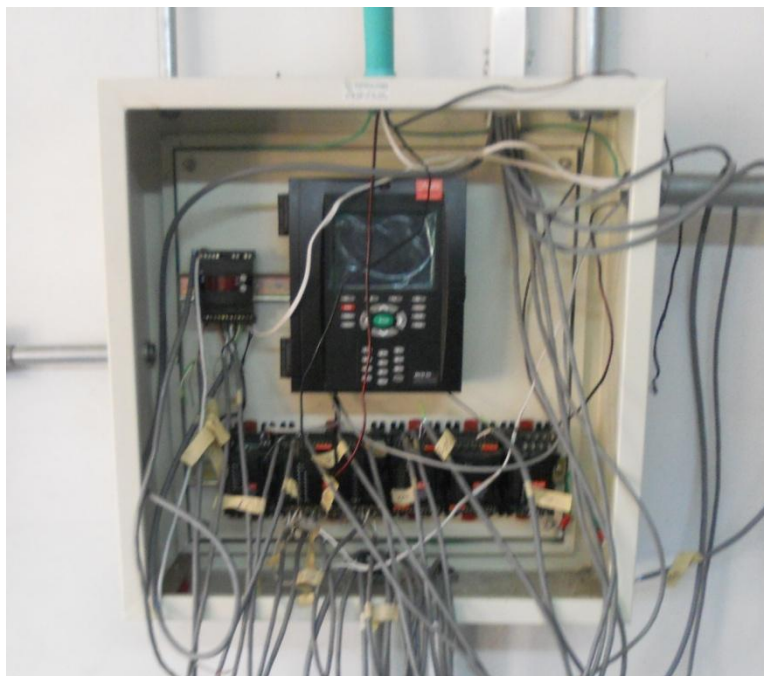


Figura 7. Conexión provisional de sensores, transductores, válvulas y módulos.

Fecha. 02-06-12

- Se direccionan las rutas de los puertos analógicos y digitales, se clasifican los tipos de sensores, transductores y se programan las válvulas solenoides en el control AKS-SC-255.



Foto 8. Enrutamiento programado de los sensores, transductores y válvulas en el Control.

Fecha. 07-06-12

- Se gestiona un computador con la escuela y se instala en el laboratorio para la recolección de datos de las pruebas de las guías (este equipo iba a ser dado de baja, se tomaron los datos de los números de activos fijos del PC, de la silla y de la mesa y se le entregan a Omaira para que ella tenga control y queda bajo la responsabilidad del profesor José Isidro García).



Foto 9. Instalación toma corriente 110v para el computador.

- Se consiguen canaletas para ser utilizadas en la distribución de los cables del control, estas se encontraban en el edificio 351 e iban a ser dadas de baja, se les realizó las perforaciones correspondientes en el edificio 340 para utilizarlas.

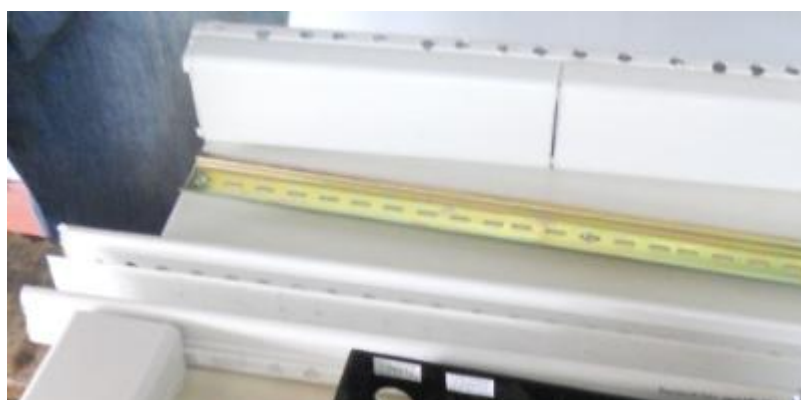


Foto 10. Canaletas para la distribución de la red de Comunicación del Control.

Fecha. 08,09/-06-12

- Llegaron etiquetas por parte de la Escuela de Ingeniería Mecánica con numeración impresa para la identificación de cables y el transformador.



Foto 11. Recibimiento cable y transformador solicitado.

- Se desmonta el espaldar gabinete donde está ubicado el control, para realizar la distribución previa de las canaletas, módulos y los controles AKS-SC-255 y EKC 315A, por medio de perforaciones para la debida ubicación de cada uno. Se ensamblan las canaletas con remaches de 1/8"; para realizar esto se debió perforar el espaldar gabinete en el que se encuentra el control. Se realiza adecuación de las conexiones en el control con las canaletas plásticas perforadas y reprocesadas para mejorar la estética y la presentación del equipo.



Foto 12. Reubicación tablero de control.

Fecha. 14-06-12.

- Se compra codo de canaletas para terminar el ensamble de los cables y su debido posicionamiento.
- Se le da una ubicación inicial al transformador, esta ubicación está sujeta a cambios (Se procede a realizar pruebas al transformador en laboratorio antes de ser instalado, responsable: José Isidro).
- Se continúa con el debido posicionamiento e identificación de las entradas análogas y salidas digitales de los cables que entran en los módulos del control.

SENSOR	IDENTIFICACIÓN
P4 (U25 en el control EKC-315A)	1
T4 (U20 en el control EKC-315A)	2
T6 (U27 en el control EKC-315A)	3
VALVULA DE EXPANSIÓN	4
PUENTE DE ALIMENTACIÓN DEL CONTROL EVAPORADOR EKC-315A – AL MÓDULO DE COMUNICACIÓN AK2-CN101A (24VAC)	5
SEÑAL MÓDULO COMUNICACIÓN AK2-CN101A AL CONTROL AK2-SC-255	6
T1	7
T2	8
T3	9
T5	10
P1	11
P3	12
VÁLVULA SOLENOIDE A (110 VAC)	13
VÁLVULA SOLENOIDE B (110 VAC)	14
VÁLVULA SOLENOIDE C (110 VAC)	15
T8	16
T9	17
T10	18
T11	19
ALIMENTACIÓN DE FUENTE REGULADA (DE 110 A 12 /24 VAC) AL CONTROL EVAPORADOR EKC-315A (24VCA)	20
VÁLVULA DE TRES VIAS 1 (24VDC/AC)	21
VÁLVULA DE TRES VIAS 2 (24VDC/AC)	22
T7	23
COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC AKSC255 Y LAS TRAJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS	24

ALIMENTACIÓN VALVULAS SOLENOIDES A/B/C (110VAC)	25
ALIMENTACIÓN AL PLC AK2-SC-255 (110VAC)	26
ALIMENTACIÓN AL TRANSFORMADOR DEL SISTEMA Y AL SISTEMA	27

Tabla 2. Identificación cables de comunicación.

Fechas de pruebas realizadas para las guías de laboratorio.

- 10 de mayo de 2012- Prueba #1.
- 08 de junio de 2012- Prueba #2.
- 22 de junio de 2012- Prueba #3.
- 23 de junio de 2012- Prueba #4.
- 25 de junio de 2012- Prueba #5.
- 26 de junio de 2012- Prueba #6.
- 07 de julio de 2012- Prueba #7.
- 24 de julio de 2012- Prueba #8.

Se entregan todos los datos tomados y pruebas como anexos al proyecto en formato digital. Con base a estos datos y pruebas se realizaron las guías de laboratorio.



ANTES PERIFÉRICO



Antes.



Después.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- En los sistemas de refrigeración el proceso de absorción de calor dentro del evaporador se lleva a cabo a presión constante idealmente, el refrigerante entra a éste en forma de líquido saturado y sale en forma de gas sobrecalentado a una determinada presión, la diferencia de entalpías en estos puntos debería ser el calor latente del refrigerante a esa presión. En la práctica una parte del refrigerante líquido empieza a evaporarse en la válvula de expansión absorbiendo calor de él mismo. Este fenómeno se debe al proceso de expansión que experimenta el refrigerante ya que se encontraba a una alta presión en el condensador y en la válvula de expansión llega a la presión del evaporador, presión de baja.
- Cuanto más refrigerante se evapora en la válvula de expansión la eficiencia del ciclo disminuirá, una forma para reducir este problema es tratando de bajar la temperatura del refrigerante en la línea de líquido antes de llegar a la válvula de expansión sin suministrar energía extra para esto. Una forma de realizar lo anterior es utilizando un intercambiador de calor entre la línea de refrigerante líquido y la tubería de succión del compresor, con esto se puede bajar un poco la temperatura del refrigerante líquido y subir la del vapor en la succión ayudando a evitar la entrada de refrigerante líquido al compresor.
- Un sistema de aire acondicionado central es más eficaz cuando se utiliza un método de enfriamiento indirecto, con agua fría hasta los fan coils, que utilizar un sistema de enfriamiento directo, con gas refrigerante hasta las fan coils, ya que cuanto más lejos estén localizadas éstas del chiller, los compresores realizarán trabajo extra de bombeo de refrigerante.
- Los equipos chillers de enfriamiento de agua tienen una capacidad de trabajo máxima, pero pueden variar su carga de entrega en diferentes momentos dependiendo de la potencia que le sea requerida en diferentes momentos del día, por esto la potencia máxima está en función de las RPM que se requiera en los variadores de frecuencia, según la carga de calor que se tenga.

- Se debe evitar que ingresen partículas líquidas de refrigerante al compresor, cuando el compresor está trabajando; porque se corre el riesgo de dañar partes mecánicas como las válvulas o los pistones. Cuando el compresor se encuentre en parada el refrigerante líquido se mezcla fácilmente con el aceite del compresor lo cual ocasiona un bajo nivel de aceite en el cárter cuando arranca de nuevo. Para el primer caso debe graduarse correctamente la válvula de expansión a manera de mantener unos 7 grados de sobrecalentamiento en el refrigerante a la salida del evaporador y hacer un buen intercambio de calor con las líneas de refrigerante líquido y la succión del compresor. Para el segundo caso el apagado pump down del compresor es una buena forma de evitar regreso de refrigerante líquido al cárter del compresor cuando éste acaba de parar. El método Pump Down se le conoce al hecho de acumular el refrigerante en el condensador y depósito de refrigerante líquido (lado de alta presión) antes de apagar el compresor.
- Los fabricantes de equipos mecánicos como los chillers siempre están modificando sus equipos a manera de hacerlos más eficientes, y con estos los sistemas de control como el control de capacidad, los dispositivos de medición de temperatura y otros los que han cambiado y apuntan cada vez más al uso de equipo electrónico, por lo que es muy importante mantenerse actualizado en las nuevas tecnologías como los controladores lógicos programables (PLC).
- Tener en cuenta que el transductor de presión AKS 33 606G2101 no arroja una medición exacta cuando la temperatura del fluido pasa de 80 °C. esto se debe a que la resistencia de compensación por temperatura R_T trabaja con precisión hasta los 80°C (Ver figura 37).
- Para realizar las pruebas de primera y segunda ley, se recomienda la toma de datos al inicio del arranque del sistema, para corroborar el coeficiente de desempeño y la eficiencia del compresor, ya que este es seleccionado para abatir la carga térmica de un sistema en reposo. Caso contrario cuando se realiza la prueba del desempeño del condensador, en este caso se deben de tomar datos cuando el sistema se encuentre estable.
- Los Chillers se presentan en diferentes tamaños y formas, dependiendo del fabricante, con capacidades que van de una a varias Toneladas de Refrigeración (TR). Se emplean diferentes tipos de compresores de refrigeración como pueden ser del tipo semihermético, hermético o de tornillo. Los evaporadores suelen ser del tipo casco y tubo aunque pueden ser también de placas, todo dependerá de la aplicación. El refrigerante en su paso por el condensador suele ser enfriado por aire ó por agua.
El Chiller Instalado en la Universidad del Valle es un equipo muy completo técnicamente y bastante útil para los fines didácticos que se requiere, ya que en este se puede apreciar en detalle y tangiblemente las partes y sistemas que componen un Chiller a nivel Industrial.
- En el montaje del compresor GEA Book se debe tener en cuenta la recomendación del punto fijo estable del fabricante para evitar daños por vibración en la tubería de alta presión, aunque en la actualidad se tiene un amortiguador de vibraciones en la salida del compresor; se puede evidenciar que se presentan vibraciones en la línea de alta presión cuando el compresor está en funcionamiento.
- En caso tal que el sistema Glicol siga trabajando con agua en lugar de la mezcla de agua con 25% de alcohol, se debe tener cuidado con la temperatura T7 (Temperatura de salida

del agua del evaporador), esta temperatura debe estar por encima de los 4°C, para prevenir un daño en el evaporador por congelamiento del agua.

- Tener en cuenta todos los pasos y las recomendaciones que se dan en el instructivo de funcionamiento, como lo son: no tocar las fases energizadas del gabinete de los variadores de frecuencia (Voltaje entre dos fases de 220 V), mantener los equipos dentro de los parámetros de operación estables.
- Cambiar posición del depósito de glicol y las purgas, donde no se presente riesgos eléctricos para el operario.
- Mejorar los soportes del sistema en todas las tuberías, para prevenir fallas por vibraciones ó fugas en tuberías por rupturas.
- Se recomienda dar un buen aislamiento térmico a la tubería del subsistema de Glicol y del subsistema de compresión de vapor, para evitar charcos que puedan ocasionar un accidente; y para mejorar el aspecto estético del equipo en funcionamiento, además esto ayudaría al funcionamiento térmico del equipo porque evita pérdidas de carga térmica.
- Se recomienda instalar manómetros análogos que sirvan como una referencia para la calibración de los transductores de presión.

9. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] M. Rosillo and C. Herrera. Desarrollo de sistema de refrigerante secundario como infraestructura para investigación y docencia en ciencias térmicas y mecatrónica. (2006).
- [2] José Alarcón Creus. Tratado práctico de refrigeración automatic.Fasana. (1998). P 1-22.
- [3] Morsel, Horst (Compilador). Vademecum del frigorista. España : Editorial Acribia, c1967.
- [4] Y. A. Cengel, **Heat Transfer: A Practical Approach**, New York: McGraw Hill, 1998.
- [5] Y. A. Cengel, termodinamica, New York: McGraw Hill, 1998.
- [6] Y. A. Cengel. Mecánica de fluidos: fundamentos y aplicaciones. México : McGraw-Hill Interamericana, 2006.
- [7] <http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/RI5GF222.pdf>
- [8] <http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/RD5GH702.pdf>
- [9] http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/RD5FM602_AKS12.pdf
- [10] http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/RK0YG502_AKS.pdf
- [11] <http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/RS8CX805.pdf>
- [12] <http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/USCO.EI.RF0.D2.05.pdf>
- [13] <http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/USCO.PI.RF0.A2.22.pdf>
- [14] http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/USCO.EK.RF0.A1.22_AK-SC255E_FACTSHEET.pdf
- [15] [http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/AK2-C%20255%20\[RB8DR122\].pdf](http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/AK2-C%20255%20[RB8DR122].pdf)
- [16] <http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/AK2%20On%20Site%20Guide%200505.pdf>
- [17] http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/AK255E_UserGuide.pdf
- [18] http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/AK255R_UserGuide.pdf
- [19] <http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/DKRCEECR1A110.pdf>

- [20] http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/PVR1C105_AKD102_Poster_A1_format.pdf
- [21] http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/MG11P205_AKD102_LonWorks%20manual_Spanish.pdf
- [22] <http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/DKRCC.PD.BB0.A3.22.pdf>
- [23] http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/DKRCCPIBB0A902_EVR.pdf
- [24] http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/PBBB0B102_EVR_flare.pdf
- [25] http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/DKRCCPDBB0B202_JAN2012.pdf
- [26] <http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/DKRCCPIEJ0A202.pdf>
- [27] <http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/DKRCCPIEJ0B302.pdf>
- [28] <http://www.ra.danfoss.com/TechnicalInfo/Literature/Manuals/01/RB6BB202.pdf>
- [29] <http://www.bock.de/Data/DocumentationFiles/09958-07-2010-E.pdf>
- [30] <http://meteorologia.pucp.edu.pe/estacion/bchumedade.html>
- [31] <http://www.metone.com/documents/083EHumidity.pdf>
- [32] <http://www.omega.com/Manuals/manualpdf/M3692.pdf>