



CCADET

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Informe Técnico

UNIDAD DIDACTICA DE REFRIGERACION

M.I Eduardo Bernal Vargas

Dr. Gabriel Ascanio Gasca

M.I Ricardo Damián Zamacona

D.I Juan Salvador Pérez Lomelí

15 Agosto 2014

Desarrollo Tecnológico.

Financiamiento: PAPIME

UNIDAD DIDACTICA DE REFRIGERACION

Bernal E., Ascanio G., Damián R., Pérez J.

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico-UNAM

Grupo: Ingeniería de Proceso.

RESUMEN.

Ante el panorama comercial y ambiental que se ha registrado no solo en México si no a nivel mundial la labor que implica el conocimiento teórico y práctico de procesos donde el control de la temperatura juega un papel muy importante, resulta necesaria y de vital importancia.

Con ayuda de la tecnología se han diseñado equipos didácticos en diferentes disciplinas a todos los niveles educativos para el mejor aprendizaje de las ciencias, de esta manera se pretende diseñar un equipo a nivel licenciatura para el estudio del ciclo básico de refrigeración por compresión de vapor

La gran mayoría de los equipos didácticos con los que cuentan los laboratorios en escuelas tanto a nivel técnico como licenciatura en México, son de manufactura extranjera y de un costo muy elevado. Por otro lado estos equipos son poco funcionales ya que solo se pueden trabajar un número limitado de prácticas, y no ofrecen a los alumnos los medios necesarios que le permitan conocer e interpretar el funcionamiento de cada uno de los componentes básicos del ciclo de refrigeración, así como desarrollar habilidades para analizar posibles fallas y tomar las medidas preventivas y/o correctivas que se requieran.

El objetivo principal del presente proyecto es desarrollar un equipo didáctico de refrigeración por compresión de vapor que permita visualizar de forma más clara los cambios físicos que sufre el refrigerante a su paso por cada uno de los componentes básicos que componen al sistema, además el alumno podrá analizar el comportamiento de un sistema de refrigeración por compresión de vapor con diferente control de flujo y obtener el diagrama presión entalpía del sistema bajo diferentes condiciones termodinámicas.

INDICE.

	página
INTRODUCCIÓN	4
1. DESARROLLO	7
1.1 Desarrollo Mecánico	7
1.2 Sistema Electrónico	8
1.3 Sensores	11
1.3.1 Sensor de Presión	11
1.3.2 Sensor de Temperatura	11
1.3.3 Sensor de Flujo	12
1.3.4 Sensor de Temperatura Ambiente	12
1.3.5 Sensor de Corriente	13
1.3.6 Sensor de Voltaje	13
1.4 Diagramas del Sistema Electrónico	15
2. CONCLUSIONES	22
3. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	24

INTRODUCCIÓN.

La refrigeración se puede definir como cualquier proceso de eliminación de calor, o también como la rama de la ciencia que trata de los procesos de producción y mantenimiento de la temperatura en un espacio o material a temperatura inferior con respecto a los alrededores correspondientes.

La refrigeración moderna tiene muchas aplicaciones, la principal y más importante es la conservación de alimentos.

La mayor parte de los alimentos expuestos a la temperatura ambiental tienden a descomponerse, esto es debido al rápido crecimiento de bacterias. La temperatura normal de operación para que esto no ocurra es 4.4 °C (Air-Conditioning and Refrigeration Institute, 1979), en la cual la bacteria crece muy lentamente y los alimentos, a ésta temperatura se conservan más tiempo en buen estado.

Otros de los usos de la refrigeración es el aire acondicionado y en varias empresas de manufactura la refrigeración es empleada para la elaboración de sus productos. Al paso del tiempo la refrigeración ha sufrido una sorprendente transformación ya que se pueden almacenar grandes cantidades de alimentos, mantener una temperatura agradable en grandes auditorios, producir bajas temperaturas para la conservación de muestras biológicas.

En otro tiempo, el único uso que se le daba a la refrigeración era la elaboración de hielo, en la actualidad las aplicaciones que tiene la refrigeración las podemos clasificar en cuatro grupos: producción y distribución de alimentos, uso en procesos industriales e industrias químicas, aplicaciones especiales de la refrigeración (tratamiento frío de metales, medicina, construcción, etc.) (Stoecker, 1970)

Actualmente la refrigeración por compresión mecánica de vapores se ha convertido en el sistema más empleado en aplicaciones que requieren capacidad de enfriamiento.

El ciclo de refrigeración también conocido como ciclo de Carnot, es un ciclo termodinámico ideal reversible entre dos fuentes de temperatura, en el cual el rendimiento es máximo (Dossat, 1980). Este ciclo trabaja absorbiendo una cantidad de calor Q_1 de la fuente de alta temperatura y cede calor Q_2 a la de baja temperatura produciendo un trabajo sobre el exterior. Se puede conocer el rendimiento del ciclo termodinámico o ciclo de Carnot mediante la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \quad (1)$$

El ciclo termodinámico consta de cuatro etapas, dos procesos isotérmicos (temperatura constante) y dos procesos adiabáticos (aislados térmicamente).

Para que se lleve a cabo el ciclo termodinámico de refrigeración (ciclo de Carnot) se requieren de cuatro elementos básicos:

COMPRESOR: Tiene dos funciones: succiona el vapor refrigerante del evaporador que circula a baja presión y comprime al refrigerante elevando su presión y su temperatura.

CONDENSADOR: Es básicamente un intercambiador de calor, en el cual el refrigerante cede el calor absorbido en el evaporador al medio ambiente, además el refrigerante cambia de estado físico (gas a líquido).

CONTROL DE FLUJO: Restringe el flujo del refrigerante a través de la línea que va del condensador al evaporador y mantiene los diferentes niveles de presión en el refrigerante por la acción de bombeo del compresor.

EVAPORADOR: Es básicamente un dispositivo para intercambiar calor en el se lleva a cabo el enfriamiento, el refrigerante a través de este dispositivo absorbe el calor del medio ambiente y sufre un segundo cambio físico (líquido a gas).

La figura 1 muestra los elementos que componen el ciclo básico de refrigeración y su correspondiente diagrama presión-entalpía.

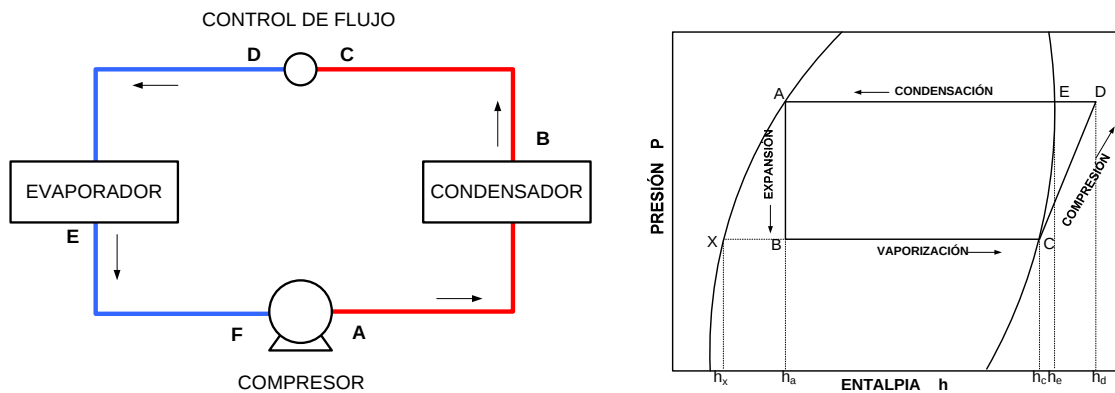


Figura 1. Ciclo básico de refrigeración: (a) Componentes, (b) Diagrama p-h.

Los cuatro elementos operan en conjunto de la siguiente manera: el refrigerante a alta presión que sale de la línea de descarga del compresor, pasa hacia el condensador. Conforme pasa a través del condensador, el refrigerante a alta presión es enfriado por algún medio externo (por ejemplo un ventilador) y conforme la temperatura del vapor del refrigerante alcanza la temperatura de saturación correspondiente a la alta presión en el condensador, el vapor se condensa y pasa al dispositivo que separa el lado de alta presión del sistema de baja presión (tubo capilar o válvula termostática).

El tubo capilar o válvula de expansión regula el flujo del refrigerante a través del evaporador según se requiera para mantener una diferencia de temperatura determinada a cierto sobrecalentamiento deseado entre la temperatura de evaporación y el refrigerante que sale del evaporador.

El vapor refrigerante que sale del evaporador viaja a través de la línea de succión y de ahí a la entrada del compresor. El compresor toma el vapor a baja presión y lo comprime aumentando tanto su presión como su temperatura y repitiéndose nuevamente el ciclo.

1. DESARROLLO.

1.1 Sistema mecánico

La figura 2 muestra los componentes básicos de la unidad didáctica de refrigeración por compresión de vapor: compresor, condensador, control de flujo y evaporador. El equipo cuenta con dos diferentes controles de flujo (tubo capilar y válvula termostática) donde se puede observar el comportamiento que tiene el gas refrigerante a su paso por cualquiera de estos dos elementos. Para poder efectuar el manejo de cada control de flujo se instalaron dos válvulas solenoides para desviar el paso del gas refrigerante por cualquiera de los elementos de control del flujo.

En lo que se refiere al evaporador, este se compone de un circuito a través del cual circula refrigerante a baja presión, enfriando el medio refrigerando mediante convección natural.

El condensador tiene instalado un motor-ventilador para forzar el paso del aire a través de la tubería. Este se encuentra conectado a un panel de control, con el cual es posible operar el condensador de aire forzado o con convección natural.

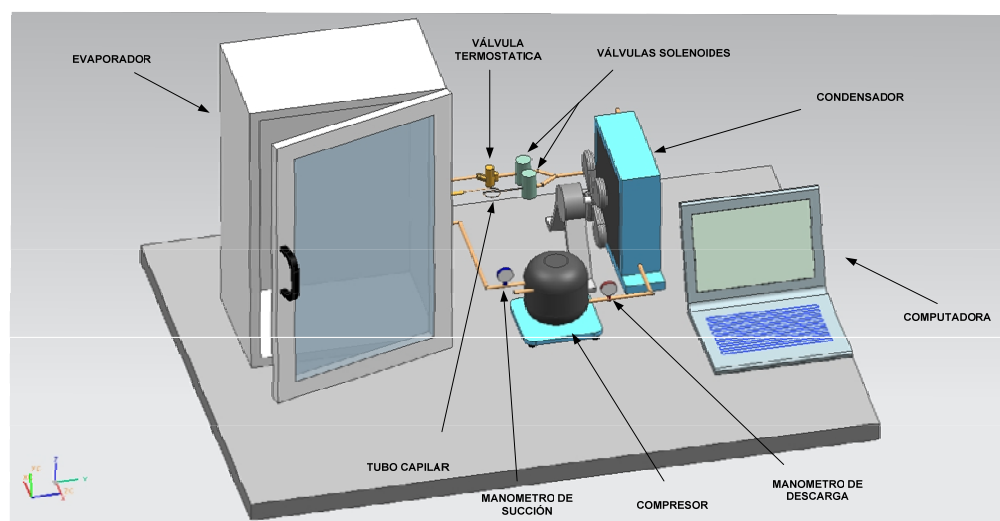


Figura 2. Unidad didáctica de refrigeración.

En el compresor se instalaron dos manómetros para medir las presiones de entrada y salida y así determinar la relación de compresión.

Para observar las temperaturas de evaporación y condensación se instalaron 4 termopares a la entrada y salida de cada uno de los elementos donde ocurre este fenómeno (figura 3).

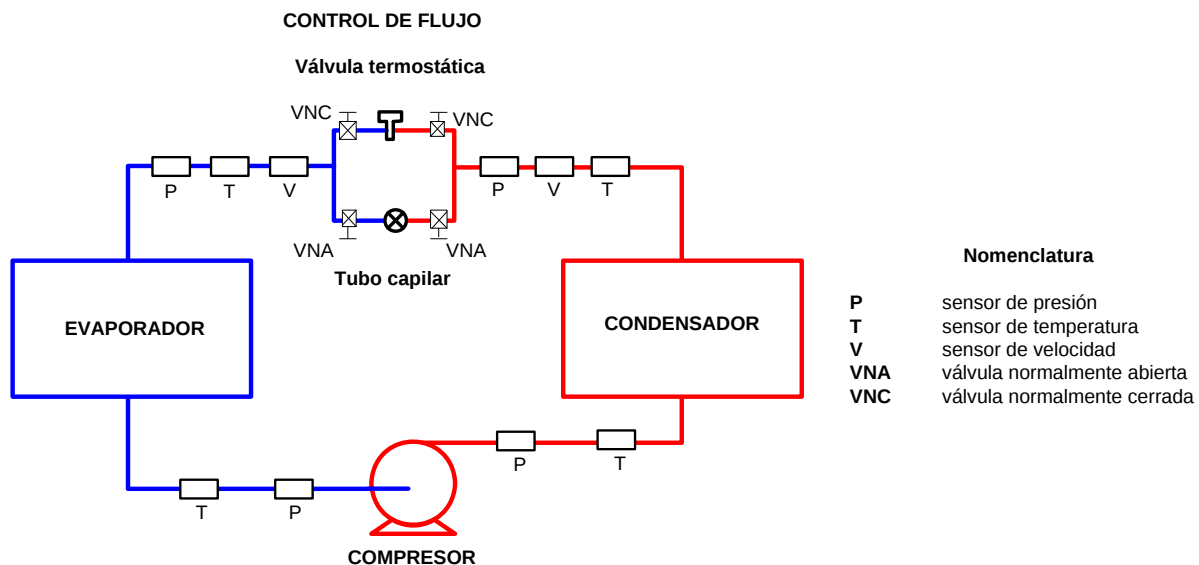


Figura 3. Ubicación de sensores en el equipo.

1.2 Sistema electrónico

El sistema electrónico consta básicamente de la instrumentación (sensores), la tarjeta de adquisición de datos y la interfaz gráfica. Para la instrumentación del sistema es indispensable tener una idea general de los intervalos en los que se encuentran las variables a medir (presión, temperatura y flujo), de tal forma que se pueden seleccionar los sensores adecuados. Se presenta a continuación una breve descripción del sistema y los intervalos aproximados de cada una de estas variables.

La ubicación de los sensores en el sistema se presenta el ciclo de refrigeración mediante un diagrama a bloques (figura 1).

El ciclo inicia en el compresor **“punto A”**, éste comprime el refrigerante y a través de la válvula de descarga sale a una presión mayor, del orden de **8.5 kg/cm²** y una temperatura de **55°C** aproximadamente. A medida que el refrigerante avanza por el condensador su temperatura disminuye de tal forma que en el **“punto B”** se encuentra a **39 °C y 8.5 kg/cm²** aproximadamente; en éste punto el gas caliente que sale con alta presión de la válvula de descarga se empieza a condensar en su recorrido por el condensador.

Cuando el refrigerante llega a la válvula de expansión **“punto C”** la temperatura y presión son aproximadamente **30 °C y 8.5 kg/cm²**, respectivamente, y se encuentra como líquido sub-enfriado a alta presión. A medida que el refrigerante pasa a través de la válvula de expansión, que es una válvula de control de flujo o en su defecto por el tubo capilar, la presión del refrigerante se va reduciendo hasta la presión de vapor, de tal manera que la temperatura de saturación del refrigerante en el evaporador hará disminuir la temperatura del espacio refrigerado. En el **“punto D”** el refrigerante se encuentra como líquido-vapor aproximadamente a **- 5 °C y 2 kg/cm²**.

El vapor refrigerante que sale del evaporador se encuentra saturado y tiene aproximadamente la misma presión y temperatura que la del refrigerante líquido-vapor, para el **“punto E”** se encontrará aproximadamente a **-1 °C y 2 kg/cm²**. El vapor refrigerante en su recorrido a la línea de succión absorbe calor de los alrededores y se vuelve vapor sobrecalentado.

En el **“punto F”** de la figura 1, el vapor se encuentra a **21 °C y 2 kg/cm²** aproximadamente. Finalmente el compresor saca el vapor refrigerante del evaporador por la línea de succión para nuevamente repetir el ciclo.

La figura 4 muestra una imagen del mueble que actualmente está en construcción, donde se colocará la unidad de refrigeración y la computadora personal, desde la cual se podrá seleccionar el dispositivo de control flujo (válvula termostática o tubo

capilar), además de registrar y procesar las señales provenientes de los distintos sensores.

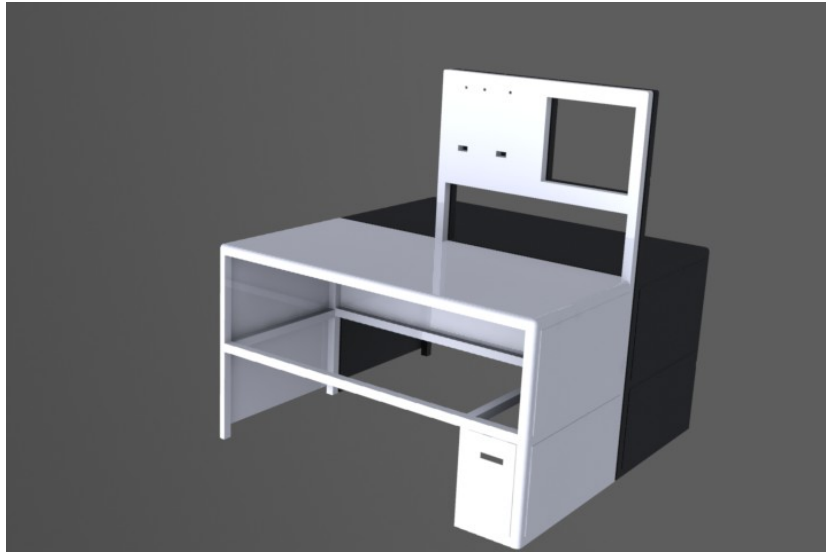


Figura 4. Mueble de la unidad de refrigeración.

Se seleccionó una unidad de condensación (compresor y condensador) de 1/3 hp enfriada por aire forzado y un evaporador de tubos y aletas con ventilador. Dichos elementos se muestran en la figura 5.



(a)



(b)

Figura 5. Elementos de la unidad de refrigeración:

(a) Unidad de condensación; (b) Evaporador.

1.3 Sensores

En lo que respecta a los sensores empleados para medir las distintas variables en el ciclo de refrigeración, se optó por adquirir elementos con distribuidores nacionales. A continuación se describen los sensores empleados en el desarrollo del equipo.

1.3.1 Sensores de presión (2) son de tipo cerámico, con un intervalo de medida de 0-16 bares, alimentados con 24 VDC, salida de señal de 4 a 20 mA . Este sensor se puede apreciar en la figura 6.



Figura 6. Sensor de presión

1.3.2 Sensor de temperatura empleados (4) son termopares tipo **J** mostrados en la figura 7. Para su conexión se requiere rosca de 1/8 NPT y están equipados con malla de acero para el aislamiento electro-magnético.



Figura 7. Sensor de temperatura

1.3.3 Sensores de flujo mostrados en la figura 8 son del tipo paleta, empleados para medir intervalos de 0.5 a 0.53 GPM, su salida es analógica de 4 a 20 mA en función al flujo presente en la tubería. Se alimentan con 24VDC y se conectan a la tubería del sistema de refrigeración con rosca de ¼ NPT



Figura 8. Sensor de flujo tipo paleta

1.3.4 Sensor de temperatura ambiente es un circuito integrado de precisión LM35 mostrado en la figura 9, se polariza con 4 a 30VDC y tiene una salida analógica proporcional a la temperatura de 10mV/°C, con una exactitud de 0.5°C, su intervalo de medida está entre -55 y 150°C.

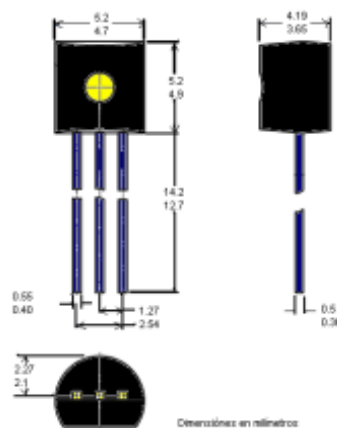


Figura 9. Sensor de temperatura ambiente.

1.3.5 Sensor de corriente empleado es en elemento inductivo, se usa para medir sobre-corrientes o corrientes de operación en circuitos eléctricos. Puede medir corrientes entre 1 a 10 A. Funciona como el secundario de un transformador, el primario es el cable en el cual se desea medir la corriente. Este elemento se muestra en la figura 10.



Figura 10. Sensor de corriente.

1.3.6 Sensor de voltaje es prácticamente un transformador de 127VAC a 9VAC y a 1.2 A. Este elemento, en conjunto con el anterior son empleados para medir la POTENCIA REAL consumida por el compresor. En la figura 11 se muestra este elemento.



Figura 11. Sensor de voltaje.

Además de los sensores empleados para la adquisición de datos, se requieren algunos elementos adicionales, tales como los actuadores, los cuales se emplean para modificar las condiciones de operación del sistema. Uno de estos elementos son las válvulas solenoide de 24 VDC, empleadas para seleccionar el paso del refrigerante por el tubo capilar o por la válvula de paso, estos elementos se muestran en la figura 12. Podemos considerar estos elementos como actuadores electro-mecánicos.



Figura 12. Válvula solenoide.

Otros elementos adicionales son las resistencias las cuales se emplearon para simular la carga térmica en el evaporador y son mostradas en la figura 13. Estos elementos los podríamos considerar como actuadores eléctricos, se requieren 3 elementos de este tipo de 50 Watts cada una.

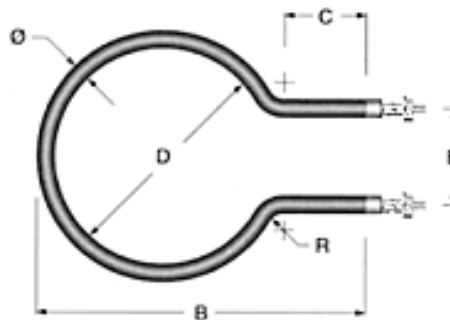


Figura 13. Resistencias de carga.

El equipo cuenta con actuadores electrónicos, también llamados relevadores de estado sólido. Estos se encargan de permitir la alimentación del ventilador del condensador, del compresor y de las resistencias para la carga térmica que se encuentran en el evaporador. La figura 14 muestra dos tipos de relevadores empleados en la unidad de refrigeración.



Figura 14. Relevadores de estado sólido.

1.4 Diagrama a bloques del sistema electrónico

Mediante una tarjeta de adquisición de datos A/D y D/A tipo PCI-6220 de National Instruments se recolectan todos los datos de los sensores, los cuales se encuentran alojados en la unidad de refrigeración. Estos datos son enviados hacia la PC, la cual se encarga de procesarlos y posteriormente, mediante la misma tarjeta antes mencionada, y si así se desea, regresa señales de control a los actuadores para modificar algunos parámetros del ciclo.

Dos tarjetas adicionales se encargan de acondicionar las señales procedentes de los sensores, además de que, por otro lado, también les proporcionan potencia a las señales que vienen de la PC para activar los actuadores encargados de modificar parámetros.

Mediante un interruptor general se alimenta todo el sistema para evitar que trabaje mientras el usuario no está presente. Una fuente de voltaje suministra +24VDC y +5 VDC para alimentar los sensores que así lo requieren y la parte de potencia del sistema.

La figura 15 muestra el diagrama a bloques del sistema electrónico de la unidad de refrigeración.

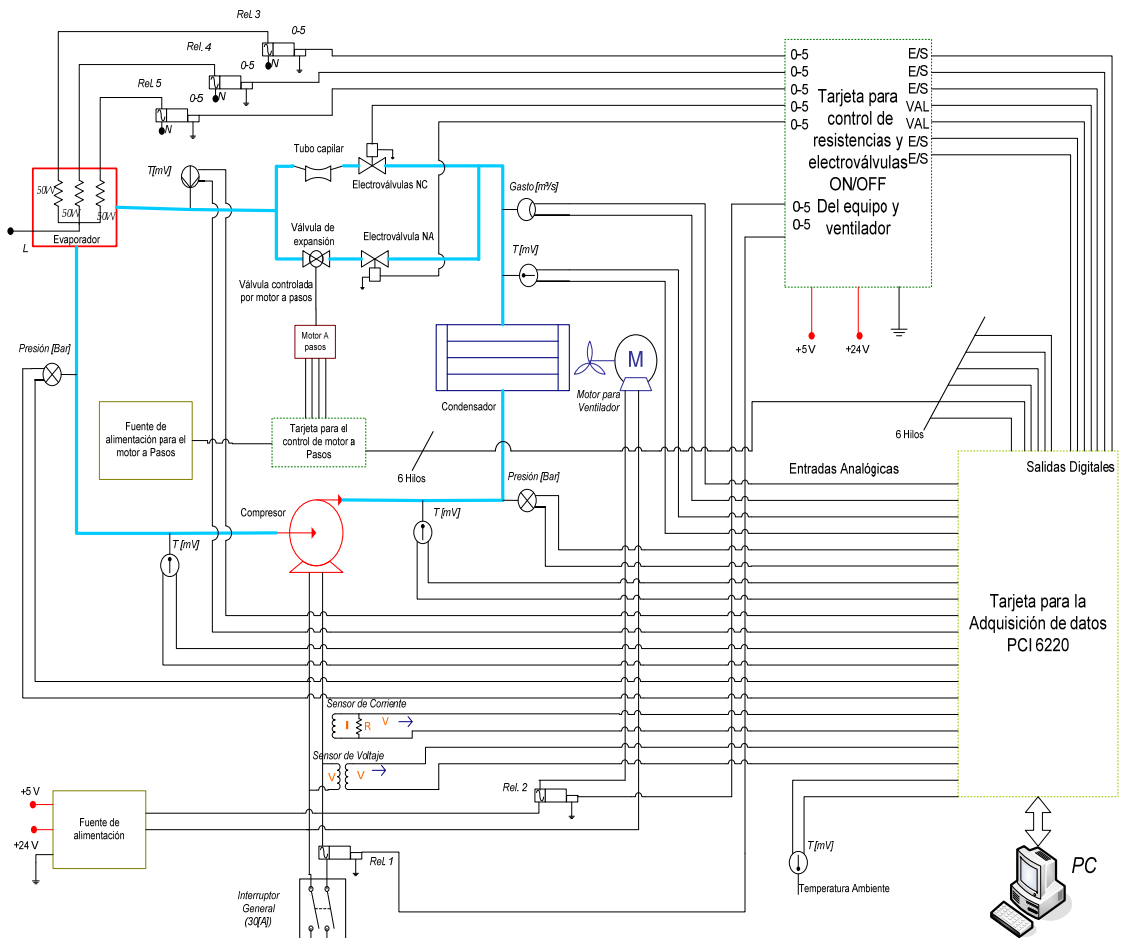


Figura 15. Diagrama a bloques del sistema electrónico.

El control de la válvula de expansión se lleva a cabo mediante un motor a pasos el cual es comandado por la misma tarjeta de control de National Instruments. Para la parte de potencia se emplea el circuito mostrado en la figura 16. Para cada fase del motor a pasos, los circuitos son los mostrados a continuación.

Salidas digitales
De la tarjeta PCI 6220
Hacia el driver del motor a pasos

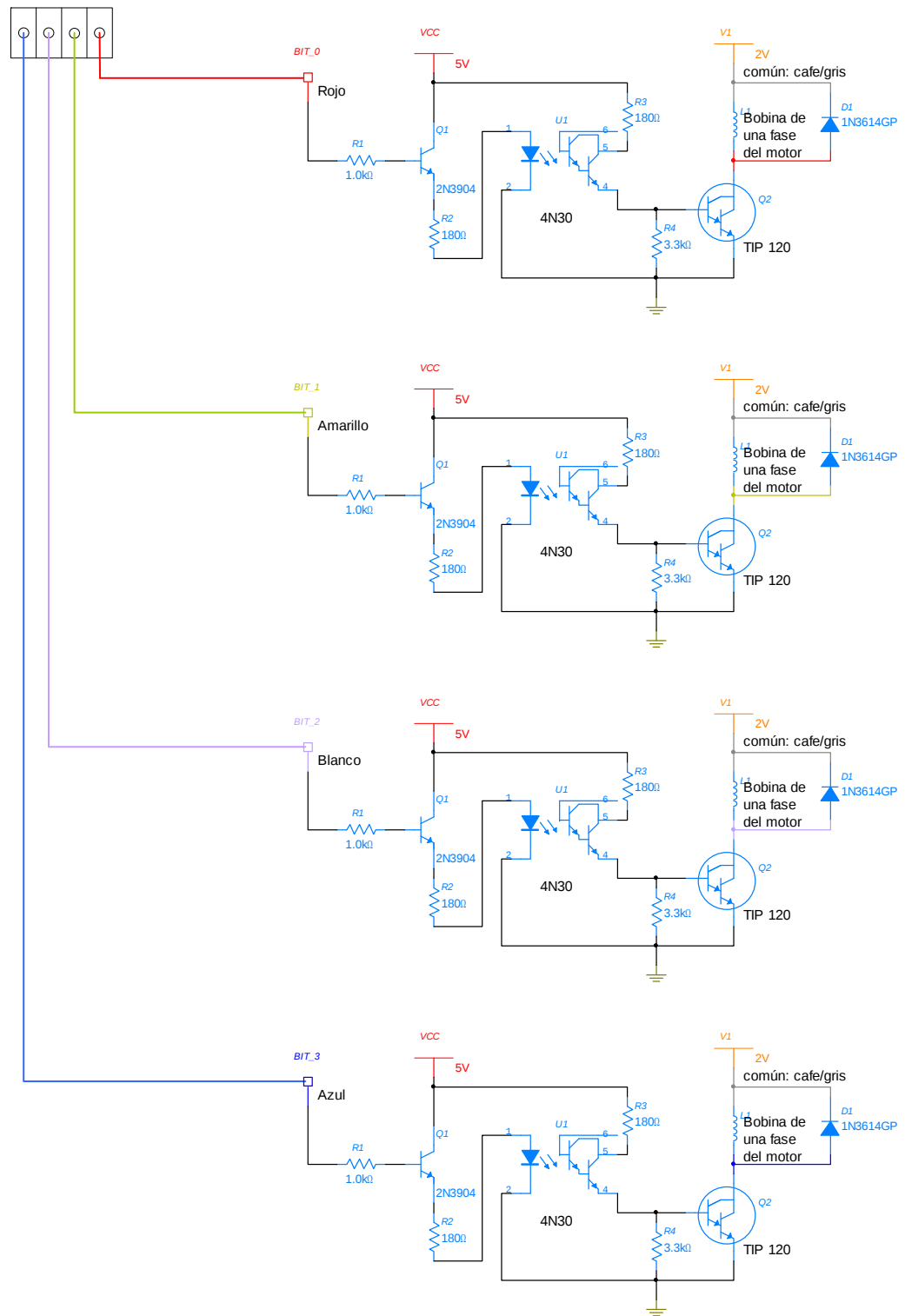


Figura 16. Circuito de potencia para el motor a pasos.

El circuito impreso para la parte de potencia se muestra en la figura 17.

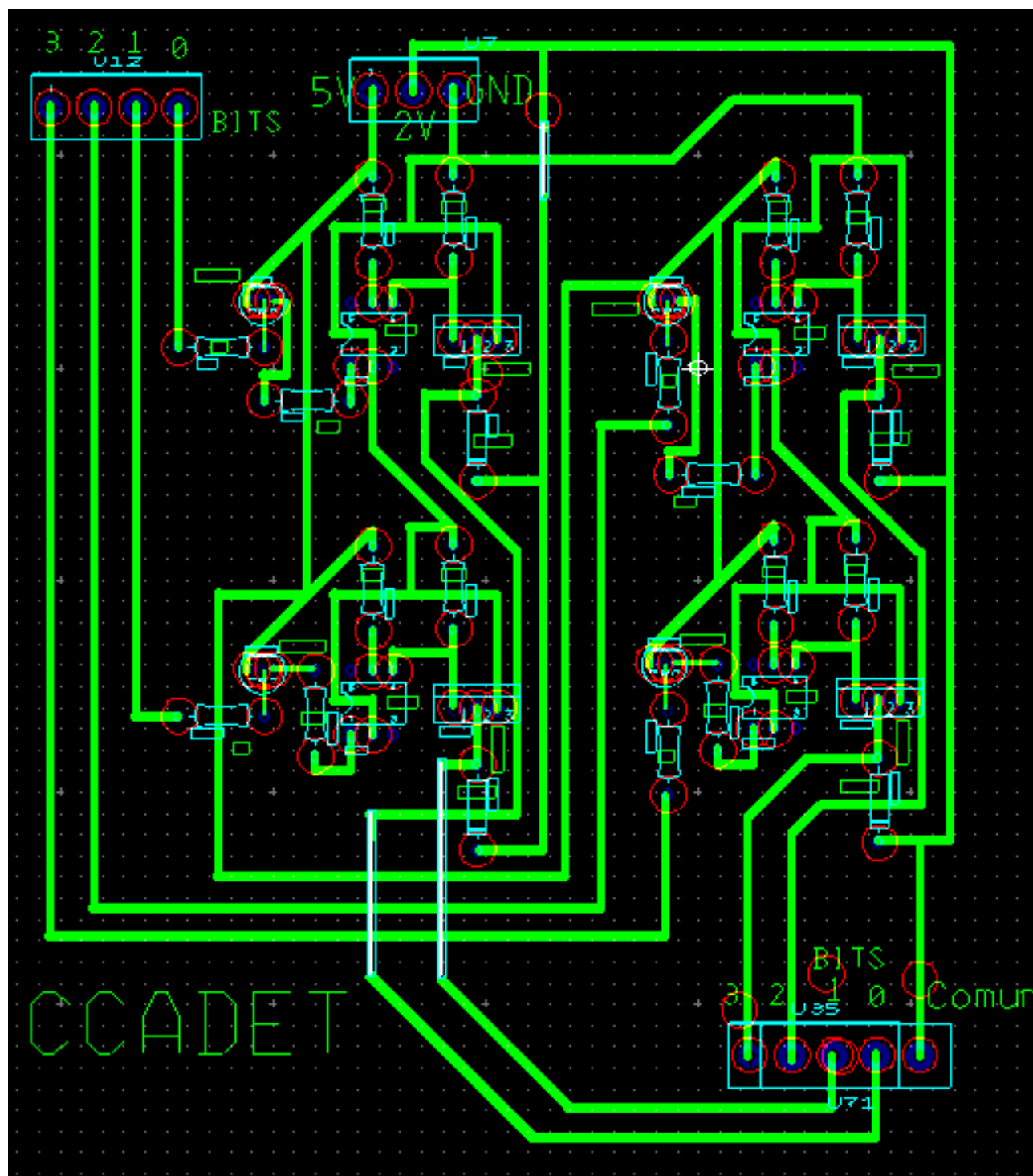


Figura 17. PCB de la tarjeta de potencia para el control del motor a pasos unipolar.

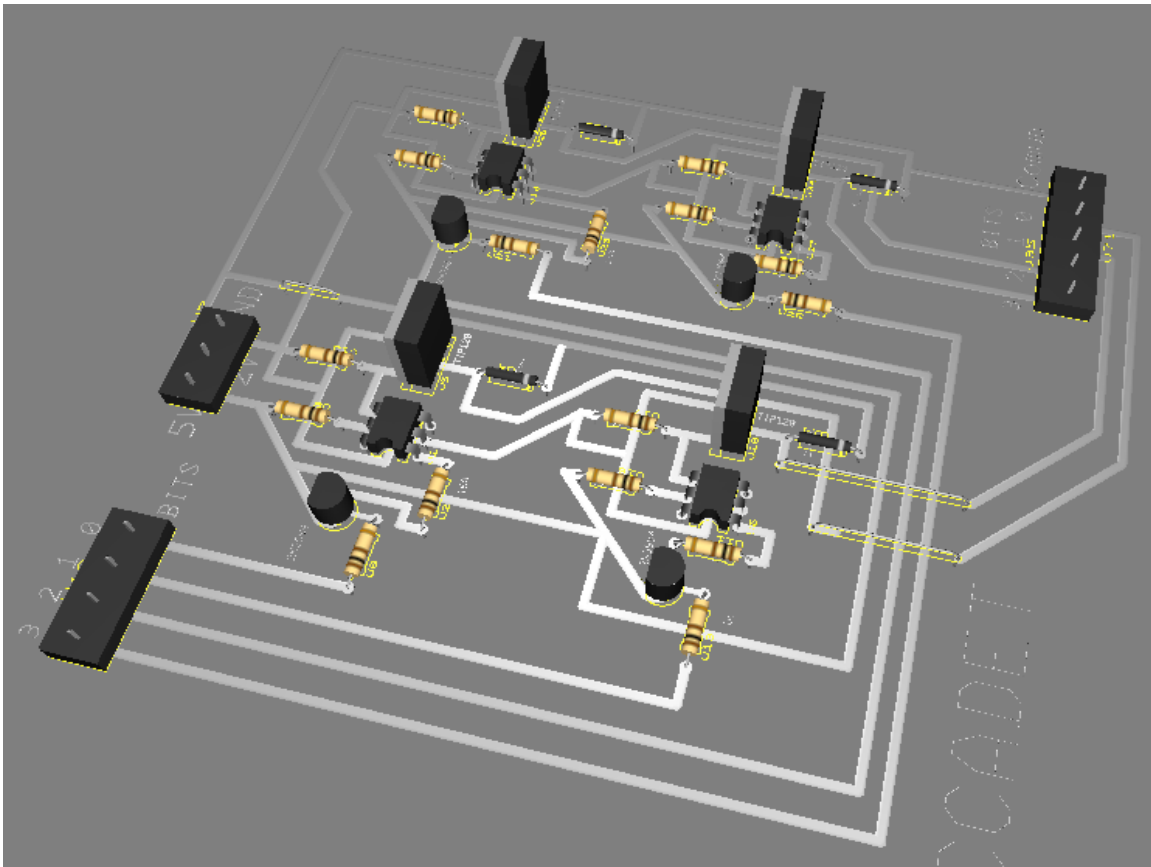


Figura 18. Vista en 3D, tarjeta de potencia para el control de motor a pasos unipolar.

La parte de potencia para el control de los demás elementos se muestran en los siguientes diagramas (figura 19 a y b), tal es el caso del encendido/apagado del equipo, del compresor, del ventilador, de las resistencias, de la selección del tubo capilar o válvula de expansión.

Salidas digitales
De la tarjeta PCI 6220
Hacia el control de resistencias
y control de ventilador

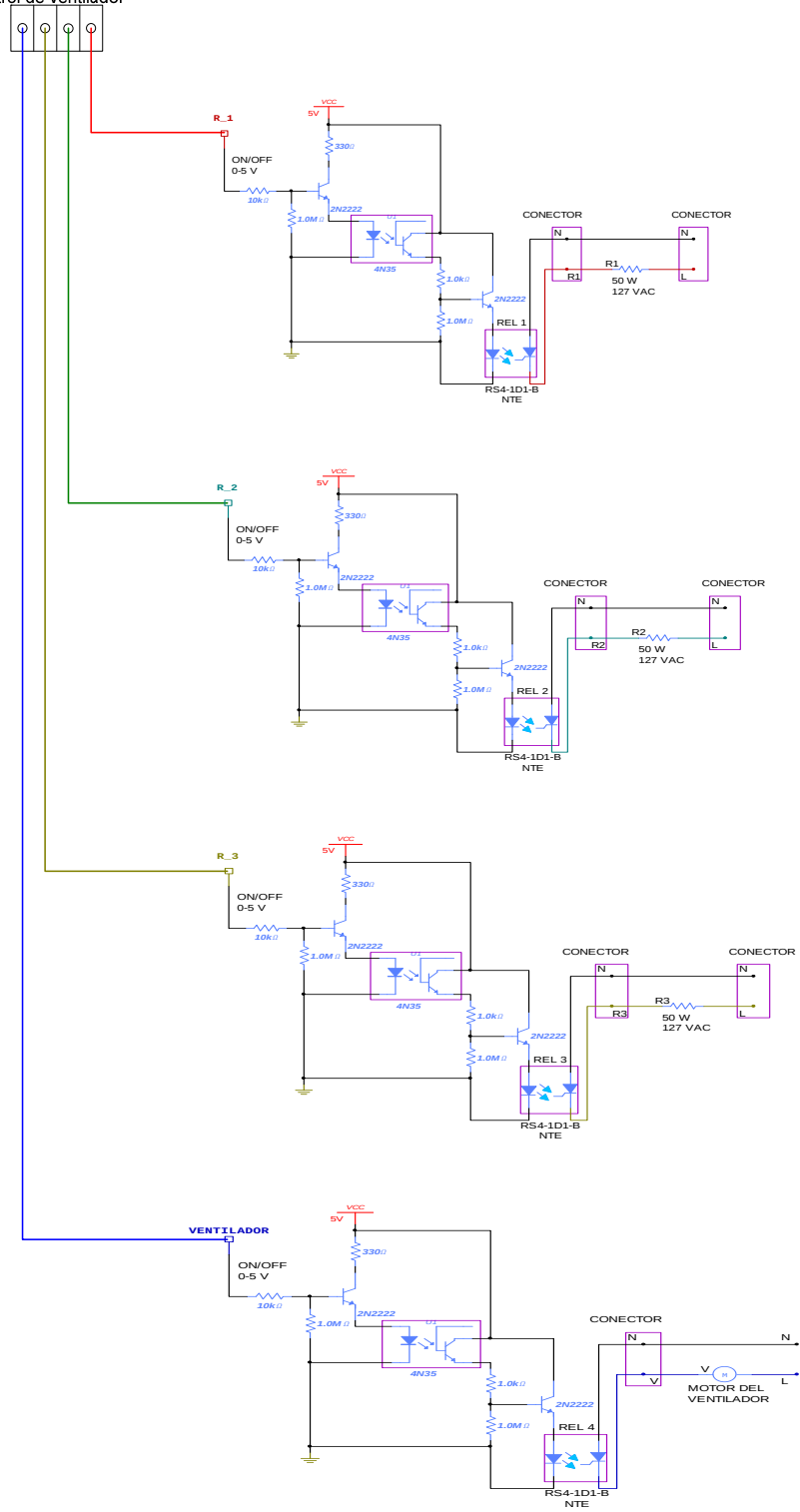


Figura 19a. Control de resistencias y ventilador.

Salidas digitales
De la tarjeta PCI 6220
Para el control de activación de
Las electroválvulas y,
Encendido o apagado del
Equipo

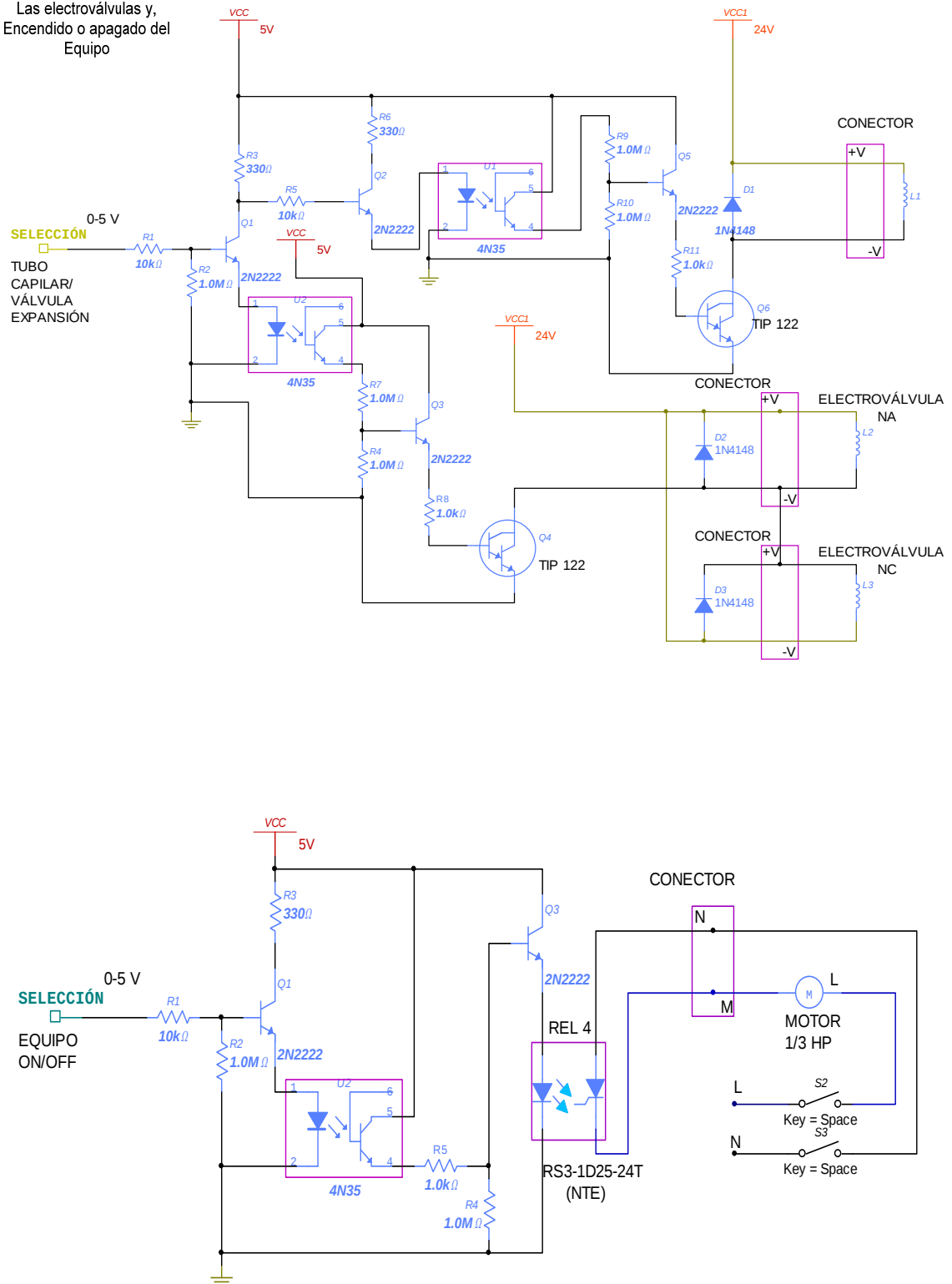


Figura 19-b. Control de encendido general del equipo y selección de válvula.

CONCLUSIONES.

Se diseñó una unidad didáctica para el estudio del ciclo termodinámico de refrigeración para el laboratorio de Termofluidos de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Dicha unidad está dirigida a estudiantes de licenciatura en Ingeniería Mecánica con enfoque en el área de Fluidos. Este equipo permitirá llevar a cabo prácticas básicas sobre el ciclo de refrigeración con el objeto de que el estudiante pueda observar los fenómenos involucrados en el proceso, teniendo la oportunidad de variar las condiciones de operación del equipo y generar el diagrama presión-entalpía. Además de observar los cambios físicos que sufre el refrigerante a su paso por cada uno de los componentes básicos del sistema de refrigeración por compresión de vapor.

Con la unidad didáctica se pretende que el alumno asocie un sistema de refrigeración con la conservación de alimentos y el acondicionamiento de aire, si no que visualice que este ciclo termodinámico tiene muchas otras aplicaciones tanto en la industria y la investigación.

Con los valores de presión y temperatura que se obtienen del sistema de refrigeración se podrá calcular el efecto refrigerante, trabajo mecánico de compresión, calor eliminado en el condensador así como la capacidad de refrigeración.

Los componentes del sistema de refrigeración son de uso comercial esto permite llevar a cabo mantenimiento tanto preventivo como correctivo a un bajo costo, los sensores de presión y flujo es la parte de mayor costo en el equipo debido a que son de fabricación extranjera. Sin embargo, la electrónica e interfaz de comunicación a la computadora es un desarrollo realizado en la UNAM, lo cual permite que el equipo tenga un precio menor a los equipos didácticos que permiten el estudio de este ciclo termodinámico de procedencia extranjera.

Actualmente está en construcción el prototipo definitivo que será entregado al Laboratorio de Termofluidos, además toda esta información estará totalmente disponible para otras dependencias universitarias, lo cual les permitirá en su momento reproducir el equipo y las prácticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- 1.- Air-Conditioning and Refrigeration Institute, *Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado*, Ed. Prentice-Hall, 1987.
- 2.- Dossat, J., *Principios de Refrigeración*, 2ª edición, Ed. Continental, 1980.
- 3.- Hernández, E., *Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración*, Limusa, México, 1973.
- 4.- Stoecker, W.F., *Refrigeración y Acondicionamiento de Aire*, 1ª edición en español, Ed. Mc Graw-Hill, 1970.
- 5.- Perry, R.H., Chilton, C.H., *Chemical Engineering Handbook*, 5a. edición, McGraw Hill, USA.
- 6.- Peris A.J. *Curso de Termodinámica*. Editorial Alambra. Madrid España, 1981.
- 7.- Powell L.R., Hall J.W., *Thermocouple Reference Tables*. Editorial Omega Press, Stamford, 1975.