



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“AUTOMATIZACIÓN DEL CALORÍMETRO -10
DE LA EMPRESA ELECTROLUX”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
ÁREA ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO
P R E S E N T A N:
CECILIA AVILA SÁNCHEZ
GERARDO ARELLANO ANAYA



DIRECTOR: ING. ENRIQUE GÓMEZ ROSAS
CODIRECTOR: ING. EDUARDO BADILLO CÉH

CIUDAD UNIVERSITARIA MÉXICO, D.F. 2000

287116



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS.

Con mucho cariño para mis padres.

Sr. Margarito Avila Juárez y Sra María Eva Sánchez Montoro por su confianza, amor y apoyo que siempre me han brindado.

Para mis Hermanos.

Lucero, Julieta, Gloriela y Manuel Avila Sánchez, por su gran apoyo incondicional.

Para mis Profesores.

Que con su entrega y compromiso me motivaron para cumplir mi objetivo.

Para mis Amigos.

Que siempre han estado conmigo en todo momento.

Para mis Compañeros.

Que a lo largo de la carrera siempre me brindaron su apoyo.

Para Gerardo Arellano Anaya.

Que siempre me apoyó incondicionalmente para seguir adelante.

Y a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron para culminar este trabajo.

A todos ustedes GRACIAS.

CECILIA AVILA SÁNCHEZ.

AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO A MIS PADRES JOSÉ Y JOSEFINA, POR TODO EL APOYO INCONDICIONAL QUE ME HAN DADO DESDE QUE ME DIERON LA VIDA HASTA ESTOS MOMENTOS EN LOS QUE CULMINA UNA ETAPA MÁS DE MI VIDA, SÉ QUE LA EDUCACIÓN QUE ME DIERON ES LO MEJOR QUE PUEDE RECIBIR UN HIJO DE SUS PADRES.

GRACIAS QUERIDOS PADRES.

A MIS HERMANOS Y HERMANAS ARACELI (ARA), GABRIELA (GABY), ELIZABETH (LICHA), CARLOS (TALOS) Y ARTURO (POLLO), POR CADA MOMENTO QUE COMPARTEN CONMIGO Y PRINCIPALMENTE EL APOYO QUE ME BRINDARON Y ME BRINDAN EN TODO MOMENTO.

QUIERO MENCIONAR UN ESPECIAL AGRADECIMIENTO A MI HERMANA GABY (EN PAZ DESCANSE), QUE AUNQUE ELLA YA NO SE ENCUENTRE CON NOSOTROS FÍSICAMENTE SIEMPRE LA VAMOS A RECORDAR, PORQUE NOS HA DEJADO UN PEQUEÑO FRUTO QUE LA REPRESENTA Y ESE FRUTO ES MI HIJO BRANDON GABRIEL, EN ÉL ME HE INSPIRADO PARA SEGUIR ADELANTE Y LAS COSAS QUE HE HECHO SON PRINCIPALMENTE PENSANDO EN ÉL.

GRACIAS GABY Y HERMANOS.

AGRADEZCO A LA FAMILIA AVILA SÁNCHEZ (SR. MARGARITO, SRA. EVA, LUCERO (LUNA), JULIETA (JULY), GLORIELA (GLORY) Y MANUEL (MANOLO)) Y A TODAS LAS PERSONAS ALLEGADAS A ESTA FAMILIA QUE DE UNA U OTRA MANERA ME AYUDARON, POR TODO LO QUE HICIERON POR MÍ, ME DIERON AMOR DE

FAMILIA CUANDO LO NECESITABA Y ME ENSEÑARON MUCHAS COSAS DE LAS CUALES HE SACADO PROVECHO PARA SALIR ADELANTE, POR LO QUE ME PERMITIERON COMPARTIR CON TODOS ELLOS, ESOS MOMENTOS TRISTES QUE SUPERAMOS JUNTOS Y AQUELLOS ALEGRES QUE REPRESENTARON PARA MÍ TODA CASI UNA VIDA.

A LA FAMILIA ANAYA SUÁREZ Y FAMILIA ANAYA ZUTCHITL (DEBIDO A LO GRANDE QUE SON LAS FAMILIAS Y PARA NO OMITIR A NINGÚN INTEGRANTE, PREFIERO LLAMARLOS EN CONJUNTO) QUE GRACIAS A ELLOS UNA PARTE DE MÍ VIDA SE VIO CUBIERTA POR TODO LO QUE ME BRINDARON Y LO QUE ME ENSEÑARON DE LA VIDA QUE AHORA HA SIDO DE PROVECHO PARA MÍ.

AL DIRECTOR DE LA TESIS ING. ENRIQUE GÓMEZ ROSAS, POR EL CONSTANTE APOYO PARA LA ESTRUCTURACIÓN DE ESTE TRABAJO. A LOS INGENIEROS QUE LE DIERON FORMA A ESTA TESIS APORTANDO COMENTARIOS, SUGERENCIAS Y MODIFICACIONES.

A TODOS LOS INGENIEROS QUE INFLUYERON EN MI FORMACIÓN ESCOLAR Y ÉTICA Y PRINCIPALMENTE A LA FACULTAD DE INGENIERÍA POR HABERME ABIERTO LAS PUERTAS PARA FORMARME COMO PROFESIONAL.

A LOS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE LA ESCUELA MIGUEL, RICARDO, ENRIQUE LÓPEZ, ENRIQUE CALVO, HUGO, RODRIGO, MARCOS, Y TODOS AQUELLOS QUE POR DESCUIDO NO MENCIONE PERO ESTAN PRESENTES EN TODO MOMENTO.

A MÍOS AMIGOS MIGUEL CASTRO LIBREROS Y ROSA I. MENDOZA PÉREZ, POR HABERNOS AGUANTADO EN TODA LA CARRERA Y EL TRABAJO SUFRIENDO Y DISFRUTANDO TODOS LOS MOMENTOS TANTO FELICES COMO DIFÍCILES QUE SE NOS PRESENTARON EN TODO MOMENTO.

A TODAS LAS PERSONAS QUE ESTUVIERON PRESENTES Y APOYANDOME EN MÍ ESFUERZO: ROSA, VERÓNICA, LUIS IGNACIO (NACHO) E IRMA POR TODO LO QUE RECIBÍ DE USTEDES GRACIAS.

A LA GERENCIA DE GESTIÓN Y MONITOREO DE LA RED DE TELCEL Y ESPECIALMENTE LA JEFATURA DE GESTIÓN DE NUEVAS PLATAFORMAS POR HABERME APOYADO PARA ACABAR DE REALIZAR MIS TRÁMITES Y CULMINAR EL TRABAJO.

A CECILIA AVILA SÁNCHEZ POR SER UNA GRAN COMPAÑERA Y AMIGA, Y QUE GRACIAS AL APOYO INCONDICIONAL QUE ME BRINDO EN TODOS LOS MOMENTOS, DICIENDOME CONSEJOS LOS CUALES ME SIRVIERON PARA LEVANTARME DE CADA TROPIEZO Y NUNCA RENDIRME ANTE NADA POR MUY DIFÍCIL QUE FUERAN LAS COSAS. POR MOSTRARME Y ENSEÑARME LO MUCHO QUE VALGO, ASI COMO SER UNA PIEZA FUNDAMENTAL EN ESTE TRABAJO QUE AHORA LO CONCLUIMOS COMO EL EQUIPO QUE SIEMPRE FUIMOS. GRACIAS POR TODOS LOS MOMENTOS QUE ESTUVIMOS JUNTOS.

GRACIAS POR TODO CECY.

GERARDO ARELLANO ANAYA.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.	1
1.1.	Justificación de la automatización del sistema.	1
1.2.	Posibles formas de automatización del sistema.	2
1.3.	Teoría de control.	3
1.4.	Tipos de controladores.	5
1.5.	Actuadores.	10
1.5.1.	Resistencia eléctrica.	12
2.	SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.	14
2.1.	Métodos de refrigeración.	17
2.1.1.	Refrigeración por absorción.	17
2.1.2.	Refrigeración por compresión de vapor.	19
3.	COMPRESORES.	27
3.1.	Tipos de compresores.	28
3.1.1.	Compresores centrífugos.	29
3.1.2.	Compresores rotatorios.	30
3.1.3.	Compresores reciprocantes.	31
3.1.3.1.	Compresores herméticos.	33
3.1.3.2.	Compresores reciprocantes herméticos.	34
3.1.3.3.	Compresores abiertos.	36
3.1.4.	Compresores helicoidales.	37

4.	CALORÍMETRO.	39
4.1.	Factores que afectan el funcionamiento del compresor.	40
4.2.	Control de parámetros.	43
5.	AUTOMATIZACIÓN DEL CALORÍMETRO.	52
5.1.	Métodos de implementación.	53
5.2.	Implementación del sistema.	56
5.2.1.	Control de presión de succión.	56
5.2.2.	Control de presión de descarga.	59
5.2.3.	Control de temperatura de la botella.	60
5.2.4.	Etapas de acoplamiento en el control de los triacs.	66
5.2.5.	Control de las servoválvulas.	70
6.	PROGRAMA DE OPERACIÓN.	74
6.1	Requerimientos del sistema de control.	78
6.2	Descripción del programa.	79
6.3	Especificaciones de la pantalla de control.	81
	CONCLUSIONES.	85
	GLOSARIO.	88
	APÉNDICE.	1
	BIBLIOGRAFÍA.	XVI

INTRODUCCIÓN.

1.1. JUSTIFICACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA.

Cuando los procesos se llevan a cabo de manera manual, se requiere que una persona manipule los instrumentos, de tal manera que se obtengan las condiciones deseadas. Este procedimiento tiene muchos errores, entre los cuales se encuentran: la toma de las lecturas en los aparatos de medición, ya que en ocasiones se apresuran las pruebas no permitiendo la estabilización del sistema, los tiempos largos en la estabilización del sistema (presiones y temperaturas requeridas en las pruebas), esto conlleva a que se analicen pocos compresores, y de acuerdo a la gran demanda y crecimiento, se requiere agilizar y acondicionar el sistema para su mejor funcionamiento (entiéndase por mejor funcionamiento una mayor capacidad de pruebas en mejores tiempos y resultados).

Ahora bien, debido a las diversas pruebas y al tiempo tan grande que se emplea para analizar un compresor, y determinar si éste cumple con los límites de especificación, se optó por automatizar el sistema, de manera que se aprovechen todos los recursos con que cuenta la empresa (personal calificado, tiempo del proceso, mediciones precisas, entre otras).

1.2. POSIBLES FORMAS DE AUTOMATIZAR EL SISTEMA.

Existen diversas formas de automatizar el sistema, todo depende de las condiciones que tenga dicho sistema, además de los recursos monetarios que se deseen emplear, dando ventajas tan amplias como su valor, es decir, se requiere un mantenimiento preventivo y correctivo con una frecuencia menor, otra de las ventajas que ofrece la automatización es que brindan los medios para lograr el funcionamiento óptimo de sistemas dinámicos, mejorar la productividad, liberarse de la monotonía de muchas operaciones manuales rutinarias y repetitivas.

Los sistemas pueden ser controlados por un control realimentado entre los cuales se encuentran: servosistemas, de regulación automática, control de procesos, control de lazo cerrado, control adaptable. Además de otros sistemas como: control de lazo abierto, entre otros.

Para este caso, el control fue realizado con un control realimentado del tipo proporcional – integral – derivativo (PID) por las ventajas que éste presenta: logra una estabilización de la respuesta en un menor tiempo y con un margen de variación menor, debido a que contiene sus variables que pueden ser manipuladas en forma independiente. Estas variables son K_p , que es la ganancia proporcional, T_i , que es el tiempo de integración y T_d , que es el tiempo de derivación, además de dos servomecanismos que funcionan como actuadores del sistema.

1.3. TEORÍA DE CONTROL.

Se utilizan términos dentro de los sistemas de control, tales como plantas, perturbaciones, control retroalimentado y sistemas de control retroalimentado, servomecanismos, sistemas de regulación automática, todos estos términos son asociados a la teoría de control.

- **Plantas.** Es un equipo que funciona conjuntamente cuyo objetivo es realizar una operación determinada.
- **Perturbaciones.** Es una señal que tiende a afectar adversamente el valor de la salida de un sistema.
- **Control retroalimentado.** Es una operación, que en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema con respecto al valor deseado.
- **Sistemas de control retroalimentado.** Se denomina así a aquellos que tienden a mantener una relación preestablecida entre la salida y alguna entrada de referencia, comparándolas y utilizando la diferencia como medio de control.
- **Servosistemas o servomecanismo.** Es un sistema de control retroalimentado en el que la salida es algún elemento mecánico. Estos servosistemas se utilizan ampliamente en la industria moderna.
- **Sistemas de regulación automática.** Es un sistema de control retroalimentado en el que la entrada de referencia o la salida deseada son constantes o bien, varían lentamente en el tiempo, y donde la tarea

fundamental consiste en mantener la salida en el valor deseado a pesar de las perturbaciones presentes.

Los controles electrónicos que existen pueden ser implementados mediante dispositivos digitales como microprocesadores, computadoras o bien con electrónica analógica (dispositivos de estado sólido) y sistemas híbridos (analógicos / digitales), otra forma que es utilizada con frecuencia es el control manual, que se emplea cuando se tienen recursos humanos suficientes para la manipulación del equipo.

La forma en que el control automático produce la señal de control, se denomina acción de control. Las acciones básicas utilizadas en los sistemas industriales de control son diversas, como son:

1. Controladores de dos posiciones (encendido - apagado).
2. Controladores proporcionales.
3. Controladores integrales.
4. Controladores proporcional – integral.
5. Controladores tipo proporcional – derivativo.
6. Controladores tipo proporcional – integral – derivativo.

Se analizarán en forma independiente cada uno de los tipos de control.

1.4. TIPOS DE CONTROLADORES.

Para poder determinar el tipo de controlador a utilizar se deben determinar también las variables a controlar, costo del proyecto y, esencialmente, los dispositivos con que se cuenta. Otras características que se deben analizar son los requerimientos del usuario, esto es, saber si el sistema se va a automatizar por completo o requiere partes manipuladas manualmente. Por consiguiente se hará el análisis de los diferentes tipos de controladores.

- Controladores de dos posiciones (encendido - apagado). En un sistema donde se tiene un control de dos posiciones, que en muchos casos simplemente es conectando y desconectando. Este controlador de dos posiciones es simple y económico, por esta razón se usa ampliamente en sistemas de control. La desventaja que presenta, es que el rango de variación es grande y esto hace que se emplee mucho tiempo en llegar al valor consigna. En la figura 1-1 se muestra la acción de control encendido - apagado.

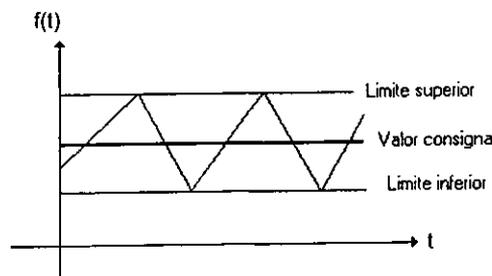


Figura 1-1. Acción del control encendido - apagado.

- Controladores proporcionales. Los controladores proporcionales presentan una relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$, es: $u(t) = K_p e(t)$, donde K_p es la ganancia proporcional. Sin importar el mecanismo en sí y la potencia que lo alimenta, el controlador proporcional es esencialmente un amplificador con ganancia ajustable. En la figura 1-2 se puede ver un diagrama a bloques de este controlador.

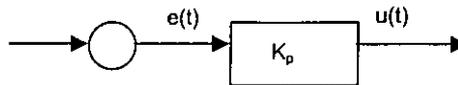


Figura 1-2. Diagrama a bloques de un controlador proporcional.

- Controladores integrales. En este tipo de control, el valor de la salida del controlador $u(t)$ varía en razón proporcional a la señal de error $e(t)$. Es decir,

$$u(t) = K_i \int e(t) dt$$

donde K_i es una constante ajustable. Si se duplica el valor de $e(t)$ el valor de $u(t)$ varía a doble velocidad. En la gráfica 1-3 se muestra el diagrama a bloques de este controlador.



Figura 1-3. Diagrama a bloques de un controlador integral.

- Controladores proporcional – integral. Este controlador presenta una ventaja, ya que posee dos variables de control que se manipulan en forma independiente y queda definido por la siguiente expresión:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

Y la función de transferencia del controlador es:

$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} \right)$$

Donde K_p es la ganancia proporcional y T_i es el tiempo integral. Ambos valores son ajustables.

El tiempo integral regula el control integral, mientras que una modificación en K_p afecta a la parte integral como a la proporcional de control.

En el siguiente diagrama de la figura 1-4, se muestra el controlador proporcional – integral.

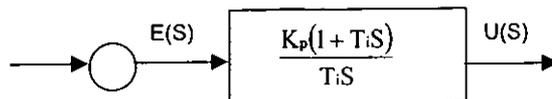


Figura 1-4. Diagrama a bloques de un controlador proporcional - integral.

- Controlador proporcional - derivativo. Este tipo de controlador queda definido por la siguiente ecuación:

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Y la función de transferencia es:

$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_p(1 + T_d S)$$

donde K_p es la ganancia proporcional y T_d es una constante denominada tiempo derivativo o tiempo de adelanto. Tanto K_p como T_d son regulables. La acción de control derivativa, a veces llamada control de velocidad, se presenta cuando el valor de salida del controlador es proporcional a la velocidad de variación de la señal de error.

En el diagrama de la figura 1-5, se muestra la acción del controlador proporcional – derivativo.

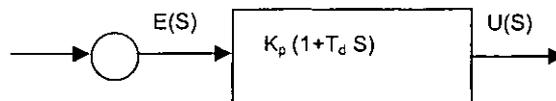


Figura 1-5. Diagrama a bloques de un controlador proporcional – derivativo.

- Controlador proporcional – integral – derivativo. La combinación de los efectos del control proporcional, integral y derivativo, tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de control queda definida como:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Y la función de transferencia es:

$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right)$$

Donde K_p es la ganancia proporcional, T_i es el tiempo integral, y T_d es el tiempo derivativo.

En el diagrama de la figura 1-6 se muestra el controlador proporcional – integral – derivativo.

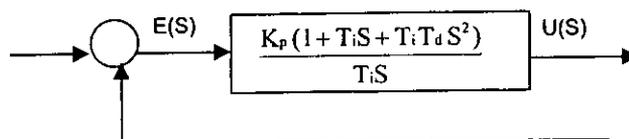


Figura 1-6. Diagrama a bloques de un controlador proporcional – integral – derivativo.

1.5. ACTUADORES.

En el diagrama de bloques de un controlador industrial intervienen cuatro elementos que son: controlador automático (detector de error y amplificador), un actuador o accionador, una planta y un sensor (elemento de medición).

El controlador detecta la señal de error, que regularmente se encuentra con un nivel de potencia bajo y lo amplifica a un nivel suficientemente alto.

Un actuador es un dispositivo de potencia que produce la entrada a la planta, de acuerdo con la señal de control, de modo que la señal de retroalimentación corresponda a la señal de entrada de referencia. La salida de un controlador automático alimenta a un actuador o accionador, que podría ser un motor o una válvula neumática, un motor hidráulico o uno eléctrico.

El sensor o elemento de medición es un dispositivo que convierte la variable de interés en otra variable más adecuada para ser utilizada en el detector de error, se utilizan para comparar la señal de la variable medida con una señal de referencia. Este elemento es el camino de retroalimentación en el sistema de lazo cerrado.

El punto de ajuste del controlador debe convertirse en una entrada de referencia con las mismas variables que la señal de retroalimentación del sensor o el elemento de medición. En el siguiente diagrama de la figura 1-7 se muestra los elementos básicos de control.

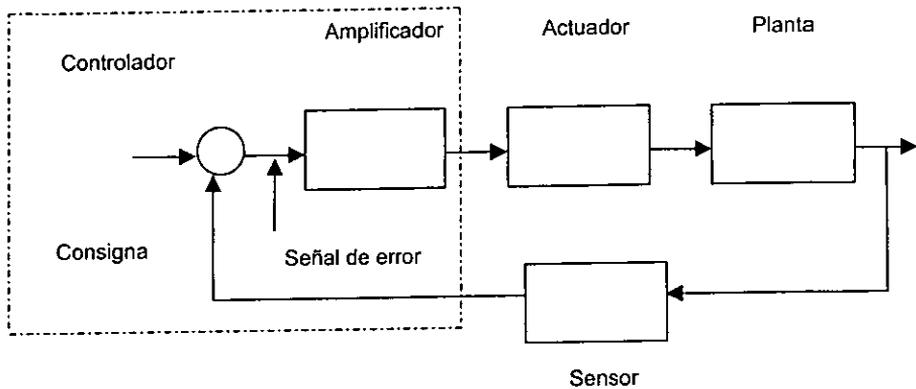


Figura 1-7. Elementos básicos de control.

1.5.1 RESISTENCIA ELÉCTRICA.

La resistencia es una propiedad de los materiales que ocasiona que al circular una corriente a través de ella se genere un aumento en la temperatura del dispositivo que es la potencia que disipa el mismo. A este se le conoce como efecto Joule. Este efecto es aprovechado para cambiar las condiciones de operación que existen dentro de la botella, de acuerdo a las condiciones que se requieran.

Existen diversos tipos de resistencia eléctrica de acuerdo a la aplicación, entre las cuales se encuentran:

- Fijas.
- Variables.

Otra forma de clasificar las resistencias eléctricas es:

- Lineales.
- No lineales.

Las resistencias fijas son aquellas que tienen un valor determinado, y tienen un rango de tolerancia estimado por el fabricante.

Las resistencias variables se pueden ajustar entre un límite inferior y otro superior de acuerdo a los requerimientos del usuario, es decir, puede ajustarse de un valor mínimo a un máximo.

En las resistencias lineales el potencial aplicado y la corriente que circula es lineal, es decir, la resistencia es una constante y su representación gráfica es una línea recta, este tipo de resistencias obedece a la relación planteada por

Ohm ($V = RI$)[V], donde el voltaje es directamente proporcional al producto de la resistencia por la corriente. En la figura 1-8 se muestran las características de una resistencia lineal, considerando su valor constante, por lo tanto la relación entre el voltaje y la corriente es lineal.

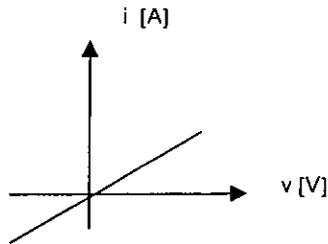


Figura 1-8. Características de la resistencia lineal.

Las resistencias no lineales incrementan o decrecientan su valor de acuerdo al aumento de la temperatura, y la ley de Ohm se puede aplicar pero esta depende de la temperatura [$V = R(T)I$][V], donde T: es la temperatura. En la figura 1-9, se observan las características de este tipo de resistencias.

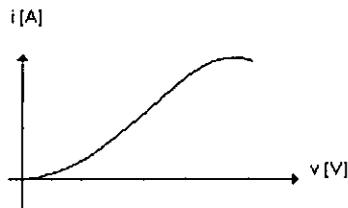


Figura 1-9. Comportamiento de una resistencia no lineal.

2

SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.

El calorímetro. Es un instrumento que se utiliza para medir cantidades de calor o para determinar calores específicos. Mediante éste se logra medir la eficiencia de los compresores, para esto se realizan diversas pruebas en las cuales es muy importante llevar a cabo las lecturas correspondientes, para posteriormente realizar los cálculos y así comprobar que los compresores cumplen con las normas establecidas por Kelvinator (Electrolux). El calorímetro se forma por cuatro componentes básicos que son: Evaporador, Compresor, Condensador y el Aparato de medición (válvulas), como se muestra en la figura 2-1.

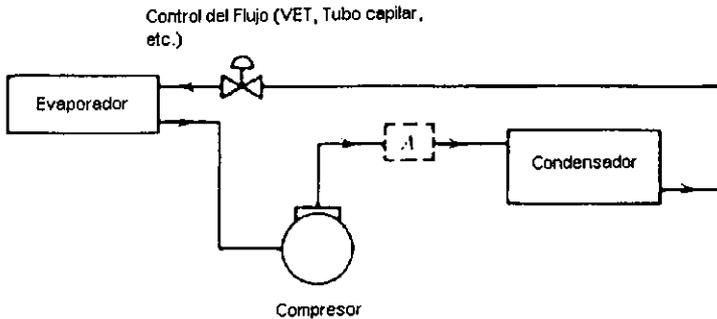


Figura 2-1. Sistema que conforma el calorímetro.

Las aplicaciones de la refrigeración se pueden clasificar en diferentes categorías: doméstica, comercial, industrial y de aire acondicionado.

La refrigeración doméstica se utiliza en la preparación y conservación de los alimentos y fabricación de hielo, entre otras. La refrigeración comercial se utiliza en las tiendas de venta al menudeo, restaurantes e instituciones, con los mismos fines que en el hogar. La refrigeración industrial es necesaria en la industria alimentaria para el procesamiento, preparación y preservación en gran escala. Aquí se incluye su uso en las plantas de enfriamiento y congelación de alimentos, cámaras frigoríficas, cervecerías y lecherías, para indicar algunas de las aplicaciones. La refrigeración también se usa extensamente tanto en el aire acondicionado para el confort de las personas, como para el uso industrial. En el diagrama esquemático de la figura 2-2 se muestra un sistema de refrigeración industrial.

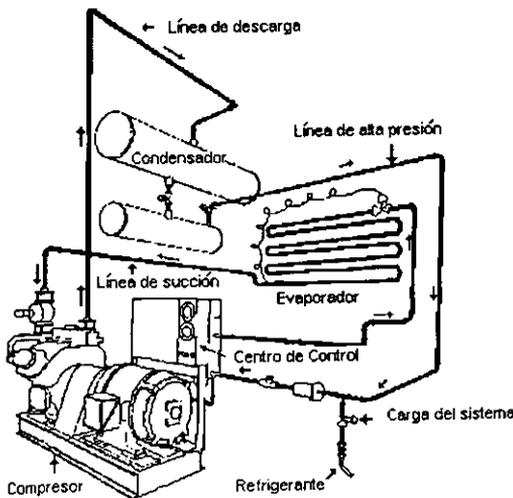


Figura 2-2. Sistema de refrigeración industrial.

2.1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.

Existen dos diferentes presiones en el ciclo: la de evaporación o baja presión en el lado de baja, y la de condensación o alta presión en el lado de alta. Estas áreas de presión se separan por dos puntos de división; uno es el aparato de medición donde el flujo del refrigerante se controla y el otro es el compresor donde el vapor se comprime.

El aparato de medida es un lugar para iniciar el viaje alrededor del ciclo. Este puede ser una válvula de expansión, un tubo capilar o cualquier otro aparato que controle el flujo de refrigerante dentro del evaporador o serpentín de enfriamiento a baja temperatura y a baja presión. El refrigerante que se expande se evapora (cambia de estado) cuando va a través del serpentín de enfriamiento, donde retira el calor del espacio en el cual el evaporador está localizado. El calor viajará al serpentín enfriado por la evaporación del refrigerante dentro del sistema causando que el refrigerante aumente su temperatura y se evapore. Este vapor a baja presión y temperatura es llevado al compresor donde se comprime a un vapor con alta temperatura y alta presión. El compresor lo descarga al condensador de tal manera que cede el calor que ha tomado en el serpentín de enfriamiento o evaporador. El vapor refrigerante está a una temperatura más alta que la del medio que pasa a través del condensador; por consiguiente el calor se transfiere, del vapor del refrigerante más caliente al medio más frío.

En este proceso cuando el calor se retira del vapor tiene lugar un cambio de estado y el vapor se condensa a líquido, a una presión y temperatura alta.

El refrigerante líquido ahora viaja al aparato de medida en donde pasa a través de una pequeña abertura u orificio donde se presenta una caída de presión y temperatura y luego entra al serpentín de enfriamiento o evaporador.

Cuando el refrigerante hace su camino a las mayores aperturas de la tubería o del serpentín, se vaporiza listo para iniciar otro ciclo a través del sistema. El sistema de refrigeración requiere algunos medios para conectar los componentes: evaporador, compresor, condensador y aparato de medición. Las tuberías o líneas, completan el sistema de tal manera que el refrigerante no se pierda a la atmósfera. La línea de succión conecta el evaporador o serpentín de enfriamiento al compresor, la línea de gas caliente o descarga, conecta el compresor al condensador y la línea de líquido es la tubería de conexión entre el condensador y el aparato de medición.

2.2. MÉTODOS DE REFRIGERACIÓN.

La refrigeración, conocida comúnmente como un proceso de enfriamiento, se define como la remoción de calor de una sustancia para llevarla o mantenerla a una temperatura baja, inferior a la temperatura del ambiente. El método más extensamente usado para producir la refrigeración mecánica es el sistema de compresión de vapor, otro método ampliamente utilizado, es el sistema de refrigeración por absorción.

2.2.1. REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN.

En este proceso el refrigerante se evapora (como en el sistema por compresión de vapor), pero la evaporación se mantiene absorbiendo el refrigerante en otro fluido.

En el sistema por absorción se utiliza la energía calorífica, para elevar la presión del refrigerante. La baja presión del evaporador se mantiene, mediante

el uso de otra sustancia llamada absorbente. Dos componentes, el absorbedor y el generador, los cuales hacen la función semejante a la del compresor. En el sistema de absorción se utilizan a menudo componentes auxiliares como las bombas. Una razón por la cual el sistema de absorción es versátil, estriba en que opera directamente con la energía calorífica. En cualquier lugar en donde se disponga de vapor residual, agua caliente o gases de combustión, se considera con especial interés a la refrigeración por absorción.

En la figura 2-3, se muestra la comparación de los sistemas de refrigeración.

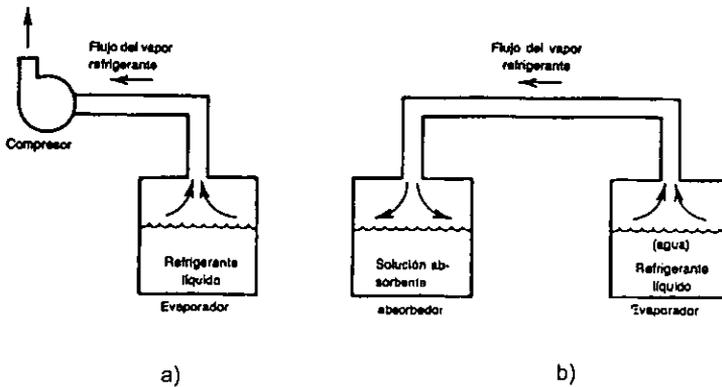


Figura 2-3. Comparación de los sistemas.

- a) Sistema de compresión.
- b) Sistema de absorción.

2.2.2. REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR.

Es el método más extensamente usado para producir la refrigeración mecánica. En este sistema, un refrigerante líquido volátil se evapora; este proceso da por resultado una remoción de calor (enfriamiento) de la sustancia que se debe enfriar.

Se requiere un compresor y un condensador a fin de mantener el proceso de refrigeración y recuperar el refrigerante para su reutilización, como se muestra en la siguiente figura 2-4.

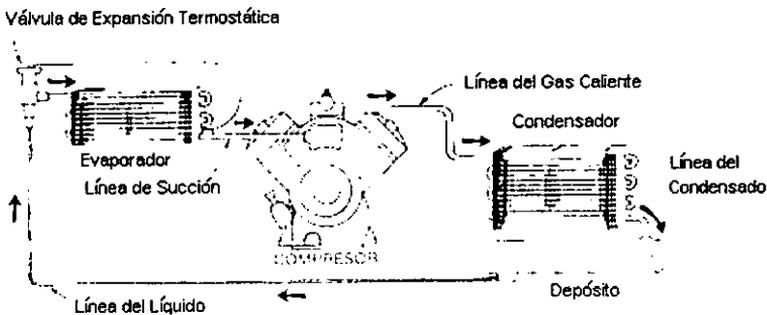


Figura 2-4. Sistema de refrigeración por compresión de vapor.

A continuación se describe el funcionamiento de este sistema, considerando cada una de sus partes.

- ♦ **Movimiento de fluidos.** Para que un fluido pueda circular de un punto a otro, debe existir una diferencia de presión entre ambos puntos. Si no existe diferencia de presiones no habrá flujo. Los fluidos pueden ser tanto líquidos como gases, y el flujo de ambos es importante en la refrigeración. El flujo en tuberías está regido

por la presión creada sobre dicho fluido, el efecto de la gravedad debido a las tuberías ascendentes y descendentes, las restricciones en la tubería resistiendo el flujo, y la resistencia del fluido mismo a circular. La diferencia de presión entre dos puntos dados está determinada por la velocidad, la viscosidad y la densidad del fluido. Si el flujo aumenta, la diferencia de presión también aumenta puesto que habrá más fricción por la mayor velocidad del fluido. Esta diferencia de presión se llama pérdida de presión. Puesto que el control de las temperaturas de evaporación y condensación es crítico en el trabajo de refrigeración mecánica, las pérdidas de presión a través de las líneas conductoras pueden afectar grandemente el rendimiento del sistema.

- ◆ Efectos del movimiento de fluidos en la transmisión de calor. La transmisión de calor de un fluido a través de aletas de metal, resulta grandemente afectada por la acción del fluido en contacto con estas superficies metálicas. Como regla general, cuanto mayor sea la velocidad del flujo o cuanto más turbulento sea, mayor será su capacidad de transmisión de calor. La rápida ebullición de un líquido al evaporarse también aumentará el coeficiente de transmisión de calor.
- ◆ El proceso de expansión. Tan pronto como el refrigerante líquido fluye desde el tanque a través de la abertura pequeña y restringida de la válvula, la presión disminuye inmediata y bruscamente en la salida. Esta presión es mucho más baja que la presión de saturación del refrigerante, por consiguiente, el refrigerante empezará a hervir y se convertirá súbitamente en un gas, esto ocurre debido a que la nueva presión no es lo suficientemente elevada para impedir el rápido escape de las

moléculas desde la superficie del líquido. Cuando el líquido empieza a hervir, absorbe calor (calor latente de vaporización). Este calor se obtiene del propio refrigerante, que está a una temperatura relativamente elevada al entrar a la válvula. Esto da por resultado que el refrigerante se enfríe a la temperatura de saturación correspondiente a la presión inferior, al salir de la válvula. La porción del refrigerante que se vaporiza al fluir a través de la válvula, se llama gas de vaporización súbita. La proporción que se vaporiza súbitamente representa la cantidad requerida para enfriar la mezcla total del líquido y vapor hasta la temperatura de evaporación. Así es como se obtiene la baja temperatura necesaria para la refrigeración. Debido a que el refrigerante fluye a través de la válvula con gran rapidez ya que ésta tiene un área superficial muy pequeña expuesta al medio ambiente, no existe prácticamente transferencia alguna de calor al refrigerante desde el exterior, al fluir a través de la válvula. Esto es un proceso adiabático debido a que no hay transferencia de calor hacia o desde el refrigerante, la entalpía del mismo no cambia cuando fluye por la válvula.

- ◆ El proceso de evaporación. El fluido circundante que pasa por el exterior del tubo está a una temperatura más elevada que la del refrigerante. Por consiguiente el calor pasa del fluido al refrigerante a través de las paredes del tubo, enfriándose así el fluido, de esta manera se obtiene la refrigeración deseada. El calor que adquiere el refrigerante líquido hace que éste se evapore al pasar por la tubería. Esta tubería, u otro equipo similar, se conoce con el nombre de evaporador. En un sistema real por lo general el refrigerante sale del evaporador como vapor, ya sea saturado o sobrecalentado.

- ◆ Recuperación del refrigerante. La temperatura de evaporación está limitada a la temperatura de saturación del refrigerante a la presión atmosférica, esta condición determina las temperaturas a las que se desea usar la sustancia refrigerada. Es preciso hallar un medio de recuperar el refrigerante para su uso continuo, se hace mediante la condensación del gas, es preciso remover el calor del mismo, el gas que sale del evaporador tiene una temperatura de condensación o evaporización, por consiguiente a fin de remover calor del refrigerante, se debe disponer de alguna sustancia cuya temperatura sea inferior hacia la cual fluya el calor.

- ◆ El compresor y el condensador. Ante la imposibilidad de aplicar el método que se describió anteriormente, se sugiere una solución práctica de este problema, la temperatura de saturación (condensación) de los fluidos aumenta con el incremento de la presión, por consiguiente dicha solución consiste en elevar la presión y temperatura del gas hasta un nivel elevado, para remover calor del mismo, utilizando un medio de enfriamiento como el aire o el agua, a una temperatura disponible en el medio ambiente natural. Se utiliza el compresor para elevar la presión del refrigerante en estado gaseoso. El gas a alta presión pasa entonces al condensador. El condensador se utiliza para remover calor del refrigerante, lo cual hace que se condense. El refrigerante se halla entonces en su condición original, listo para su reutilización.

El sistema de refrigeración por compresión de vapor, contiene cuatro componentes básicos que son:

1. El dispositivo de expansión o control de flujo.
2. Evaporador.
3. Compresor.
4. Condensador.

➤ **El proceso a través del dispositivo de control de flujo.** El refrigerante líquido entra al dispositivo de expansión con una presión manométrica. Existen diversos dispositivos de expansión; los más comunes son la válvula de expansión y el tubo capilar. En cualquier caso, el dispositivo de control de flujo tiene una abertura estrecha, lo que da por resultado una gran pérdida de presión al fluir el refrigerante a través del mismo. Debido a que esta presión es inferior a la presión de saturación correspondiente al refrigerante, una parte del refrigerante líquido se vaporiza inmediata y súbitamente a gas. La porción del líquido que se evapora toma el calor latente necesario para su evaporación de la mezcla que fluye, enfriándola de esta manera. El refrigerante sale de la válvula como una mezcla de líquido y vapor en estado saturado.

➤ **El proceso a través del evaporador.** El refrigerante fluye a través de la tubería del evaporador. La sustancia que se debe enfriar, generalmente aire o un líquido, fluye por el exterior de los tubos y se halla a una temperatura más elevada que la del refrigerante dentro del evaporador. Por consiguiente el calor fluye de la sustancia al refrigerante a través de la pared del tubo.

Debido a que el refrigerante líquido dentro del evaporador ya se encuentra a su temperatura de saturación (su punto de ebullición), el calor que gana hace que se evapore. Por lo general, el refrigerante sale del evaporador ya sea como un vapor saturado o un vapor sobrecalentado.

- **El proceso a través del compresor.** El compresor hace entrar al vapor por el lado de la succión, para luego comprimirlo a una presión elevada, adecuada para efectuar la condensación. Esta presión es aproximadamente igual a la cual entró al dispositivo de control de flujo (en realidad la presión es ligeramente mayor). Se requiere trabajo para comprimir el gas; este trabajo procede de un motor o una máquina que mueve el compresor. Este trabajo contribuye para aumentar la energía almacenada del vapor comprimido, resultando en un aumento de su temperatura.

- **El proceso a través del condensador.** El gas a alta presión que descarga el compresor fluye a través de la tubería del condensador. Un fluido, tal como el aire o el agua, viaja por el exterior de la tubería. El calor llega a través de las paredes del tubo, desde el refrigerante a mayor temperatura hasta el fluido de enfriamiento. Como el refrigerante está sobrecalentado cuando entra al condensador, primero se enfría hasta que alcanza su temperatura de saturación. La remoción adicional de calor resulta en la condensación gradual del refrigerante, hasta que se licúa en su totalidad. El refrigerante puede salir del condensador como un líquido saturado o subenfriado.

- **El lado de alta y el lado de baja.** La presión existente entre la descarga del compresor y la entrada del dispositivo de control de

flujo se conoce como la presión del lado de alta, o presión de condensación. La presión entre la salida del dispositivo de control de flujo y la entrada de succión del compresor, se conoce como la presión del lado de baja o presión de evaporación. A menudo se utilizan los términos lado de baja y lado de alta para referirse a estas dos partes del sistema. En realidad, la presión no es precisamente constante tanto en el lado de alta como en el lado de baja; por ejemplo, es inevitable una ligera caída de presión como resultado de la fricción en la tubería.

La figura 2-5 muestra el comportamiento del refrigerante en el sistema por compresión de vapor.

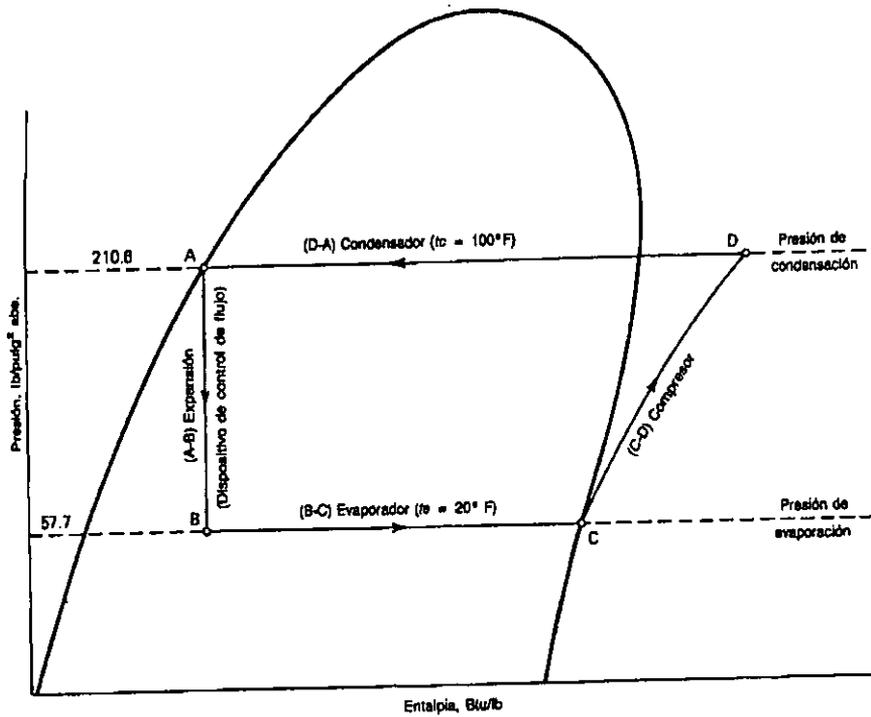


Figura 2-5. Comportamiento del refrigerante dentro del sistema.

COMPRESORES.

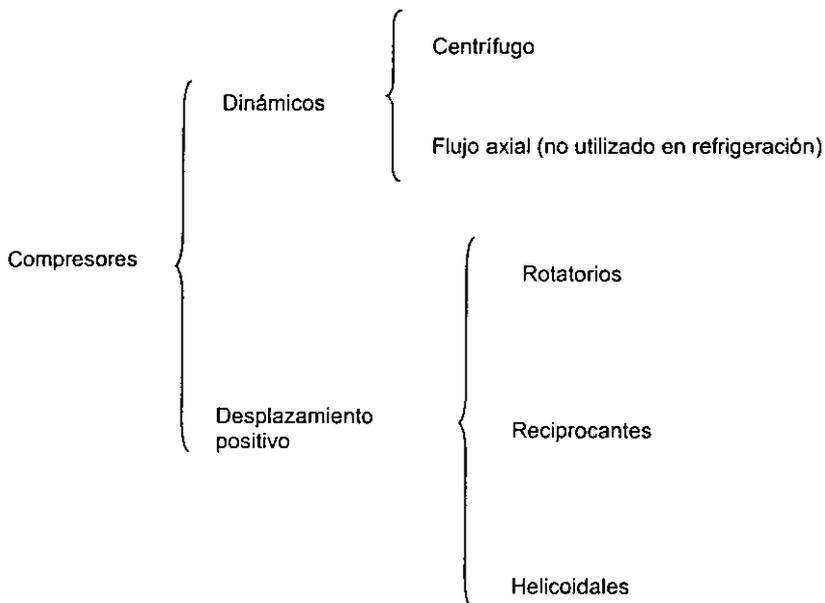
El compresor crea la diferencia de presión requerida, esta es la primera de las tres funciones desarrolladas por los compresores, el refrigerante evaporado a presión reducida debe ser recomprimido para poderlo condensar. El sistema de refrigeración debe operar con la parte correspondiente a evaporación a baja presión, y la parte de condensación a alta presión. El refrigerante afecta el diseño del compresor en detalles tales como: el tamaño de las válvulas, la tensión de los resortes de las válvulas y el diseño del sistema de enfriamiento. Y la última función, bombear el volumen suficiente de refrigerante.

Un compresor no es lo bastante versátil para cubrir todos los requerimientos de operación. Los fabricantes han clasificado la gran variedad de modelos y tamaños según el refrigerante, la capacidad y el rango de temperatura o presión.

3.1 TIPOS DE COMPRESORES.

Los compresores de refrigeración pueden clasificarse en dos grupos principales dependiendo de cómo se logre el aumento de presión del gas. A los compresores del primer grupo se les llama de desplazamiento positivo y a los del segundo se les llama compresores dinámicos. Existen tres tipos de compresores de desplazamiento positivo: reciprocantes, rotatorios y helicoidales (de tornillo). Solamente hay un tipo de compresor dinámico que se usa en los sistemas de refrigeración, llamado compresor centrífugo. Existen otros tipos de compresores dinámicos, como el compresor de flujo axial, el cual no se utiliza en los sistemas de refrigeración.

Todos los compresores de desplazamiento positivo, para aumentar la presión del gas, admiten una determinada cantidad de éste en un volumen limitado, y enseguida reducen este volumen. La disminución del volumen del gas hace que la presión del mismo aumente (a menos que se enfríe).



3.1.1. COMPRESORES CENTRÍFUGOS.

El compresor centrífugo aumenta la presión del gas no por opresión, como en los otros tipos de compresores, sino debido al movimiento acelerado producido por la acción de un impelente a alta velocidad. Es apropiado para refrigerantes que operan a baja presión y gran volumen, pero presentan limitaciones para operar a presiones altas, en la figura 3-1 se muestra un compresor centrífugo de una etapa. Algunas veces los compresores centrífugos son de varias etapas, o sea que usan impelentes en serie.

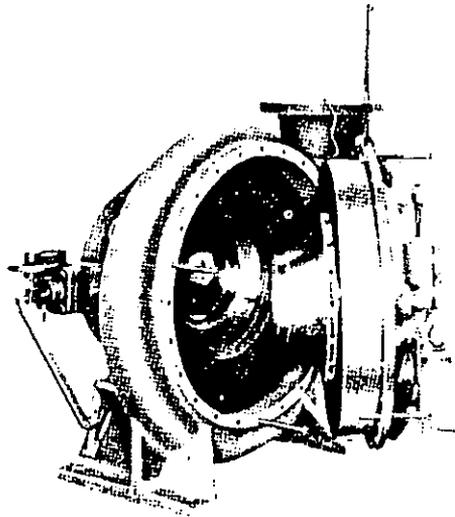


Figura 3-1. Compresor centrífugo de una etapa.

3.1.2. COMPRESORES ROTATORIOS.

Este compresor es conocido por su larga vida, funcionamiento suave y mínimos problemas. En lugar de un pistón central con movimiento ascendente y descendente, tiene un rotor excéntrico que gira dentro de una cámara de compresión, la cual tiene a su vez válvulas de entrada y salida y una aleta sostenida contra el rotor por medio de un resorte.

La acción de compresión se efectúa debido al entrampamiento del gas entre el rotor excéntrico y las paredes de la cámara. Otros diseños de compresores rotatorios tienen una o más unidades acopladas directamente al rotor. Hay un tipo que usa dos tornillos entrelazados, los cuales sirven para comprimir el gas. Se clasifican como compresores rotatorios debido a que sus partes componentes giran. Los compresores rotatorios son usados en algunas aplicaciones domésticas e industriales, la figura 3-2 muestra un compresor de este tipo.

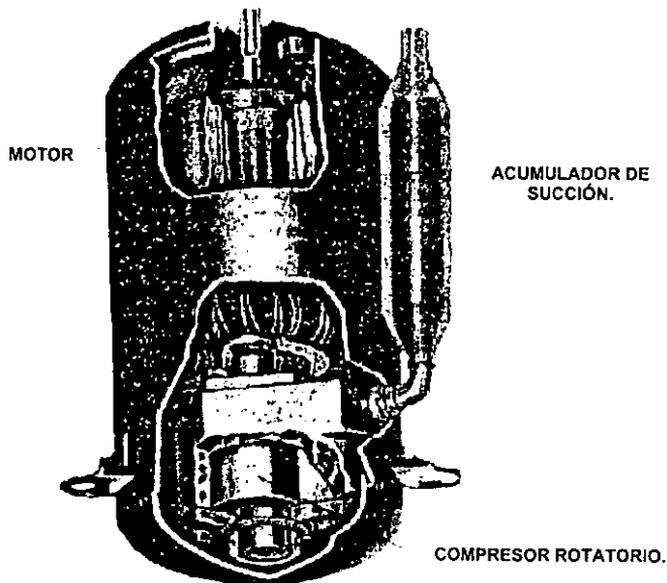


Figura 3-2. Compresor rotatorio.

3.1.3 COMPRESORES RECIPROCANTES.

La construcción de los compresores reciprocantes es semejante a la de los motores de tipo automotor, los cuales se componen de cilindros, pistones, un eje de transmisión y válvulas de succión y descarga. El compresor puede tener uno o más cilindros.

Una máquina o motor eléctrico, acciona el pistón del compresor mediante un sistema de transmisión. Cuando el pistón se mueve hacia abajo en su carrera de succión, el volumen creciente del cilindro da por resultado una disminución de la presión por debajo de la que existe en la línea de succión. La diferencia de presión provoca que se abra la válvula de succión y el gas refrigerante fluye al cilindro. La válvula de descarga permanece cerrada debido a que la presión en la línea de descarga es mayor.

Cuando el pistón se mueve hacia arriba en su carrera de compresión, la disminución del volumen hace que aumente la presión del gas. Esto obliga a la válvula de succión a permanecer cerrada. Cerca del final de la carrera, la presión del gas aumenta hasta alcanzar un valor por encima de la presión existente en la línea de descarga, obligando a la válvula de descarga a abrirse, y entonces, el gas comprimido fluye a la línea de descarga y hacia el condensador. Se observará que el compresor efectúa la succión y compresión del gas en cada revolución del cigüeñal, como se muestra en la figura 3-3(a) y 3-3(b).

A esta operación del compresor se le llama de simple acción, debido a que la compresión tiene lugar sólo en un extremo del cilindro. En los compresores antiguos de baja velocidad se utilizaba otra construcción de los mismos, en la cual, el gas se comprimía en cambios extremos del cilindro (doble acción).

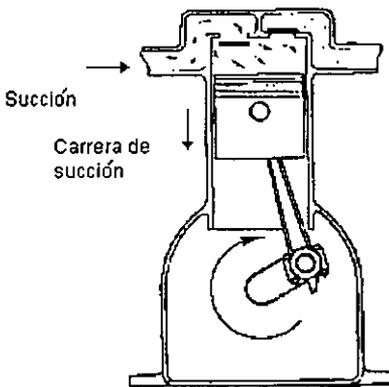


Figura 3-3(a). Carrera de succión.

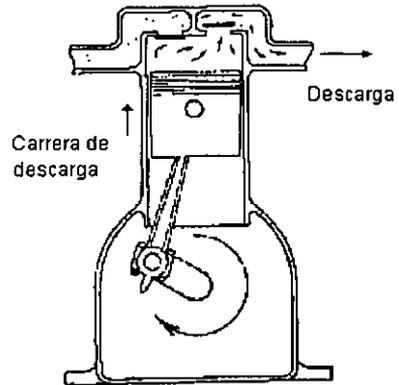


Figura 3-3(b). Carrera de descarga.

Dentro de los compresores reciprocantes existen tres tipos llamados: herméticos, reciprocantes herméticos y abiertos.

3.1.3.1 COMPRESORES HERMÉTICOS.

El compresor del tipo hermético es aquel en el cual el compresor y el motor están integrados en un eje y contenidos ambos en una caja sellada. Los compresores de tipo hermético se fabrican ya sea completamente herméticos o semiherméticos (también se les llama herméticos desarmables). El compresor hermético tiene una caja soldada y sellada y no puede ser reparado en el campo de trabajo. Es compacto, silencioso y de bajo costo. Estas características han propiciado su uso generalizado en los refrigeradores domésticos, y en otros equipos integrales pequeños.

El compresor semihermético tiene una cubierta desmontable con tornillos, de manera que se le puede dar servicio en el mismo lugar de trabajo. La ventaja principal de un compresor semihermético estriba en que no tiene un eje que sobresalga del cárter y no presenta problema alguno en cuanto a fugas del gas refrigerante. En el compresor abierto se requiere de un sello en el eje para evitar o hacer mínima la fuga del refrigerante entre el eje y el cárter.

El gas refrigerante de succión enfría el motor del compresor de tipo hermético, debido a que la potencia (nominal) admisible de salida de un motor disminuye a medida que aumenta la temperatura de los embobinados del mismo, y con esto se evita el sobrecalentamiento. El gas frío de succión, que fluye rápidamente sobre los embobinados, permite al motor tomar más corriente y transmitir más fuerza de la que podría transmitir si fuera enfriado sólo por el aire ambiente estático, como sucede con un motor abierto. El resultado es que se puede utilizar un motor de menor capacidad con los compresores herméticos. Sin embargo, al agregar el calor del motor al gas de succión, se tiene como resultado que la potencia requerida por este compresor será un poco mayor que la requerida por una máquina abierta. Debido al ensamble

sellado del compresor con el motor, las unidades herméticas tienen por lo común un nivel de ruido inferior al que tiene las unidades de capacidad similar, en la figura 3-4 se muestra una unidad condensante que consta de compresor hermético y motoventilador.

A bajas temperaturas, la densidad del gas de succión puede no ser apropiada para enfriar unidades herméticas, y puede ser necesario utilizar un ventilador. Los compresores no se fabrican con un diseño hermético cuando se les va a utilizar con amoníaco, debido a que este refrigerante reacciona con los materiales del motor.

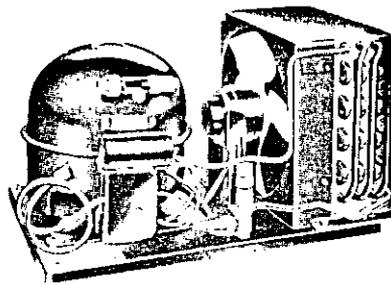


Figura 3-4 Compresor hermético.

3.1.3.2. COMPRESORES RECIPROCANTES HERMÉTICOS.

La principal función de un compresor de refrigeración es aumentar la presión de evaporación hasta la presión a la cual el gas puede ser condensado. La presión debe aumentarse hasta alcanzar la presión de saturación correspondiente a la temperatura de condensación.

La función del compresor (el aumento de presión) produce algunas funciones secundarias, la elevada presión de descarga proporciona la energía necesaria para hacer que el refrigerante circule a través de la tubería y el equipo, venciendo la resistencia de fricción.

Además el gran diferencial de presión creado motiva la expansión súbita en el dispositivo de control de flujo, causando una caída de temperatura. El esquema de un compresor hermético recíprocante se encuentra en la figura 3-5.

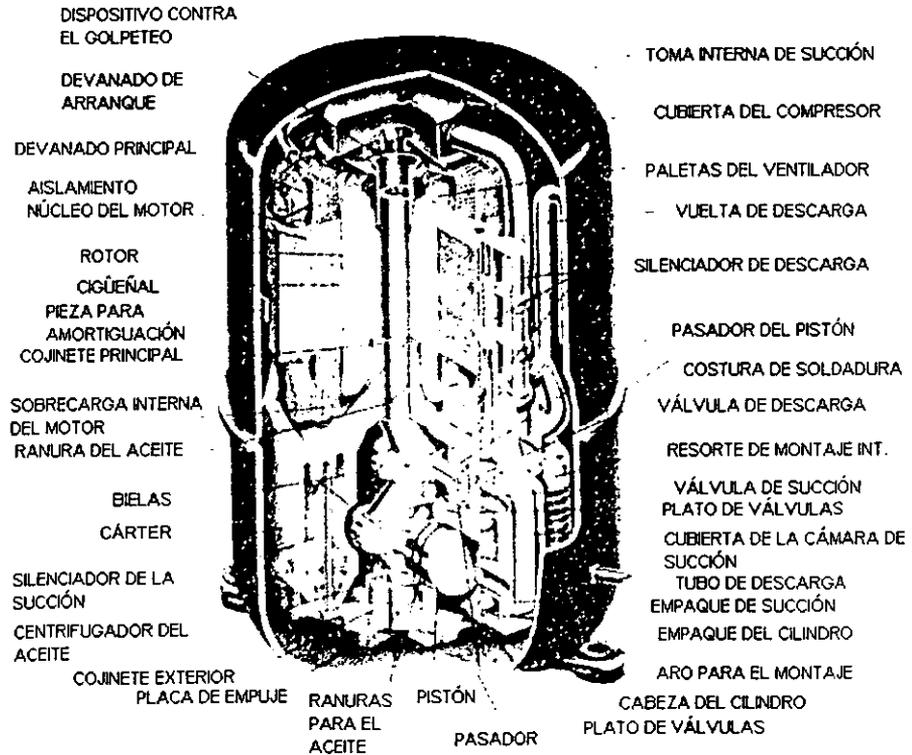


Figura 3-5. Compresor hermético recíprocante.

3.1.3.3 COMPRESORES ABIERTOS.

En un compresor abierto el eje se prolonga a través del cárter. La transmisión al compresor puede ser directa o por medio de bandas. Si se trata de un compresor accionado directamente, el eje de este generalmente se conecta al eje motriz mediante un acoplamiento flexible. Este acoplamiento sirve para absorber el exceso de vibraciones y los impactos, y proporciona un método sencillo de alinear los dos ejes. Los compresores accionados por bandas utilizan una polea en cada eje, los cuales se conectan por medio de las bandas. La velocidad del compresor puede cambiarse utilizando poleas de diferentes diámetros. En la figura 3-6 se muestra un compresor de tipo abierto.

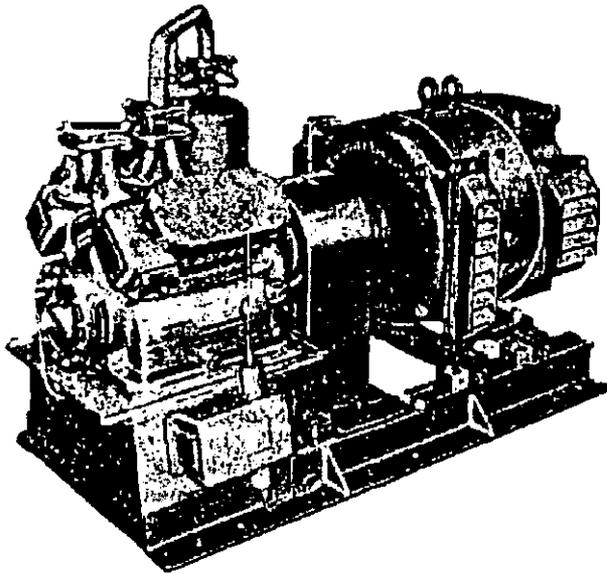


Figura 3-6. Compresor recíprocante del tipo abierto.

3.1.4. COMPRESORES HELICOIDALES.

Este compresor también es del tipo de desplazamiento positivo, que aumenta la presión disminuyendo el volumen del gas. Se compone de dos rotores engranados, cuya forma es semejante a la de los tornillos. Un motor acciona el rotor macho, el cual tiene lóbulos prominentes. El rotor hembra tiene ranuras en las que se engranan los lóbulos machos, impidiéndoles su movimiento.

El gas refrigerante se aspira axialmente hacia los rotores desde la abertura de succión situada en el extremo de la caja. Cuando los rotores giran, el gas queda alojado en la cavidad existente entre los dos rotores. El lóbulo macho disminuye gradualmente el espacio entre él mismo y la cavidad hembra, aumentando así la presión del gas. Al mismo tiempo, el gas se traslada hacia el extremo de descarga, para salir a través de la boca de descarga.

La eficiencia volumétrica es elevada, debido a que el espacio libre entre los rotores y las paredes de la caja es mínimo, y no existe espacio alguno para válvulas.

Se inyecta aceite en el cilindro de los compresores de tornillo, para lubricar los rotores, y para crear una película de sello hermético entre el lado de alta y lado de baja presión. Dicha inyección da como resultado los siguientes beneficios:

- ◆ Disminución del efecto de penetración del líquido debido a una dilución con el aceite.
- ◆ Cierta efecto de enfriamiento que disminuye las temperaturas de descarga del gas caliente y el trabajo de compresión.

- ◆ Mantiene relaciones elevadas de compresión, debido a la película de aceite.
- ◆ La utilización de una neblina de aceite para enfriar el motor en los compresores herméticos de tornillo.
- ◆ Se provee una absorción de ruido.

Se dispone de compresores de tornillo, tanto del tipo hermético como del abierto, cuyas capacidades son de hasta 1500 Hp. En cuanto al servicio, tiene un número reducido de partes móviles, es mínimo su mantenimiento y baja vibración. En la figura 3-7 se muestra el compresor de tipo Helicoidal o de Tornillo.

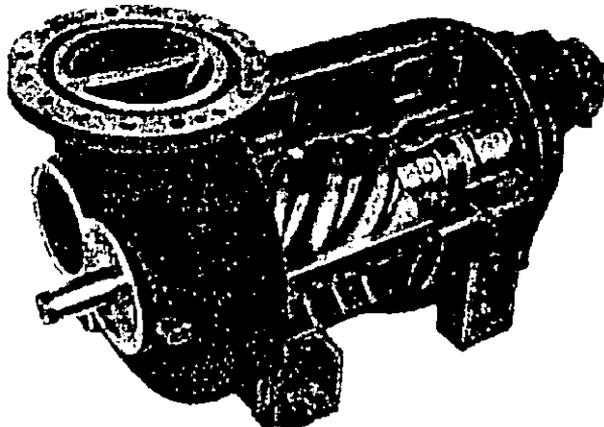


Figura 3-7. Compresor Helicoidal o de Tornillo.

CALORÍMETRO.

Como ya se mencionó, el calorímetro nos permite medir la capacidad específica de una sustancia y en forma general la eficiencia de los compresores. Este está constituido por cuatro elementos que son: el evaporador, el compresor, el condensador y los aparatos de medición y control (válvulas). Para mantener en óptimas condiciones su funcionamiento y poder realizar las pruebas requeridas a los compresores, se deben controlar varios parámetros como son: presión de succión, presión de descarga y la temperatura de succión, los cuales se consideran importantes porque influyen directamente en la eficiencia del sistema.

Cabe mencionar que existen otras características que afectan el funcionamiento del compresor, entre ellas está el tipo y la cantidad de refrigerante que se usa de acuerdo a la capacidad del compresor que se somete a prueba.

La parte importante del análisis del calorímetro se centrará en los factores que afectan el funcionamiento del compresor, unos se reflejan en forma directa y otros en forma secundaria.

4.1. FACTORES QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO DEL COMPRESOR.

Los factores directos que influyen en el funcionamiento de un compresor (capacidad y potencia), son los siguientes:

- ◆ Velocidad del compresor.
- ◆ Presión de succión.
- ◆ Presión de descarga.
- ◆ Tipo de refrigerante.
- ◆ Temperatura de la botella.

Hay otros factores secundarios que influyen en el funcionamiento del sistema, y por consiguiente en el funcionamiento del compresor. El cambio de estos factores puede tener dos efectos importantes: puede verse afectada la capacidad de un compresor de un tamaño dado, así como el consumo de energía.

- **Velocidad del compresor.** La capacidad de un compresor se incrementa al aumentar su velocidad. Ésta es la razón por la cual los compresores modernos se diseñan para trabajar a altas velocidades, de manera que se pueden utilizar compresores más pequeños. La potencia requerida aumenta con la velocidad en una proporción ligeramente mayor que la capacidad. Esto ocasiona una ligera pérdida en la eficiencia de la energía a altas velocidades.

- **El regulador de la presión de succión** ó también llamado regulador de la presión de cárter, limita la presión de succión a un valor máximo preestablecido. Se utiliza con el fin de someter a varias pruebas a los compresores, evitando una elevada presión de succión durante el descenso de temperatura o la descongelación. Como la demanda de la potencia al compresor aumenta con la presión de succión, puede ocurrir una sobrecarga del motor si se permite que la presión de succión aumente libremente. La válvula se instala en la línea de succión, entre el evaporador y el compresor. La presión del resorte tiende a abrir la válvula, mientras que la presión de salida tiende a cerrarla. Cuando la presión de succión aumenta más allá de un valor preestablecido de la presión del resorte, se mueve la válvula a una posición más cerrada, disminuyendo así la presión de succión.

- **La presión de descarga.** Esta presión se ve afectada directamente cuando la presión de succión varía y la capacidad del compresor disminuye a medida que la presión de descarga aumenta, debido principalmente a dos factores. Primero, el efecto de la refrigeración disminuye con un aumento de la presión de condensación. Segundo, la eficiencia volumétrica se reduce debido a la mayor expansión del gas a más alta presión que permanece en el cilindro. Debido a la mayor relación de compresión, la potencia del compresor como la potencia por unidad de capacidad se incrementan al aumentar la presión de descarga. Puesto que la presión de descarga cambia directamente con la temperatura de condensación.

- **Tipo de refrigerante.** Los refrigerantes difieren en las propiedades físicas que afectan al funcionamiento del compresor, por ejemplo, difieren en su calor latente y volumen específico.

- **Temperatura de la botella.** Un aumento en el sobrecalentamiento del gas de succión da por resultado un aumento en la capacidad del compresor. Este efecto no es igual al cambio de capacidad que acompaña a un cambio en la temperatura de evaporación y se toma en cuenta en las correcciones de la capacidad del compresor. Un aumento en la temperatura del gas de succión, reduce la cantidad del refrigerante absorbido en el aceite. Este refrigerante ocupa un espacio que de otra manera, estaría disponible para volver al ciclo.

4.2. CONTROL DE PARÁMETROS.

Como ya se vio, existen diversos factores que alteran y afectan el funcionamiento del sistema, por lo cual se deben controlar varios parámetros, entre ellos se encuentran: la presión de succión y la presión de descarga, temperatura de la botella, flujo del refrigerante, tipo de refrigerante, flujo de agua en el evaporador, además de parámetros secundarios. Los parámetros de control para automatizar el sistema son tres:

- Presión de succión.
- Presión de descarga.
- Temperatura de la botella.

Estos tres parámetros afectan directamente las condiciones del calorímetro, y con el manejo de ellos se logra realizar diferentes pruebas a los compresores y tener una mejor adquisición de datos, lo cual permitirá determinar si el compresor está dentro de los límites de especificación.

Para el control de la presión de succión y la presión de descarga, es factible utilizar válvulas de acuerdo a las características y condiciones del sistema, estas pueden ser de diferentes tipos, entre las cuales se encuentran:

- ◆ Válvula de cierre manual.
 - ◆ Válvula de expansión termostática.
 - ◆ Válvula de flotador.
 - ◆ Válvula de expansión automática.
 - ◆ Válvula limitadora de presión.
 - ◆ Válvula de carga limitada.
-

- ◆ Válvula mecánica limitadora de presión.
- ◆ Válvula de aire.

El funcionamiento de estas válvulas es importante para poder determinar cual es la más apropiada para el sistema de automatización.

- Válvula de cierre manual. Esta es una válvula que se ajusta manualmente a fin de aumentar o disminuir el flujo, según sea necesario. Normalmente es de aguja, debido a que con este tipo de válvula es posible lograr incrementos precisos. La válvula de cierre manual sólo es satisfactoria cuando se dispone de un operador para manipularla y si la carga no cambia bruscamente. Por las desventajas que presenta no es factible utilizarla en la automatización, ya que requeriría personal para el uso adecuado. La figura 4-1 muestra una válvula de cierre manual.

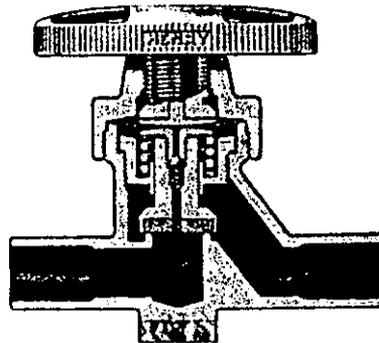


Figura 4-1. Válvula de cierre manual del tipo de diafragma sin empaque.

- Válvula de expansión termostática. El propósito básico de la válvula de expansión termostática, es mantener un suministro correcto de refrigerante en el evaporador, sin permitir que el líquido refrigerante pase a la línea de succión y al compresor. Cuando el aparato de medición es una válvula de expansión termostática, su operación dependerá de la temperatura del vapor sobrecalentado al salir del evaporador, ya que una porción del evaporador se usa para sobrecalentar el vapor de -15° a -12.22°C , sobre la temperatura correspondiente a la presión de evaporación. Esta es la más empleada, se puede utilizar con sistemas de cualquier capacidad, ya sea con serpentín de expansión directa o con enfriadores de líquidos, de expansión seca. Realiza un excelente control automático del flujo del refrigerante al evaporador, en la proporción requerida, sobre una amplia gama de cargas, mientras mantiene en operación la mayor parte de la superficie de transferencia de calor del evaporador a fin de evaporar el refrigerante a pesar de las variadas condiciones. En la figura 4-2 muestra una válvula de expansión termostática del tipo de igualador interno.

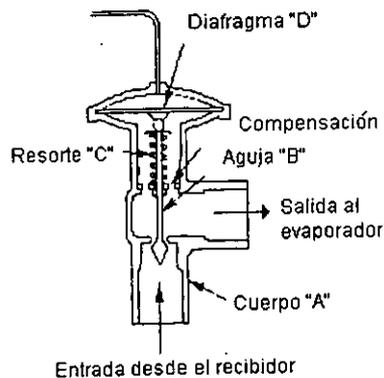


Figura 4-2. Válvula de expansión termostática.

- Válvula de flotador. Estas se utilizan en algunas aplicaciones como dispositivos de control de flujo del refrigerante, además de tener otros usos. Se pueden agrupar en válvulas de flotador del lado de alta y del lado de baja. Un vástago y un orificio de la válvula separan los lados de alta y baja presión del sistema. Un flotador conectado al vástago descansa sobre la superficie del refrigerante líquido. La válvula se abre a medida que el flotador se eleva, y se cierra cuando éste baja.

La válvula de flotador del lado de baja se localiza en el lado de alta del sistema, entre el condensador y el evaporador. El nivel del líquido es el mismo en la válvula y en el condensador puesto que ambos están conectados libremente. Cuando se eleva el nivel del refrigerante en el condensador, sube el flotador y abre la válvula, alimentando más refrigerante al evaporador. Si el flujo del refrigerante al condensador se reduce, baja el nivel en el condensador, y la válvula restringe el flujo al evaporador.

La válvula de flotador del lado de alta regula el flujo mediante la alimentación del refrigerante al evaporador a la misma proporción con que sale del condensador. Este tipo de válvulas se utiliza generalmente en sistemas centrífugos de refrigeración equipados con condensadores de casco, tubos y evaporadores inundados. Las figuras 4-3(a) y 4-3(b) muestran las válvulas de flotador del lado de alta y lado de baja presión respectivamente.

La válvula de flotador del lado de baja regula el flujo del refrigerante controlando el nivel del refrigerante líquido en el evaporador.

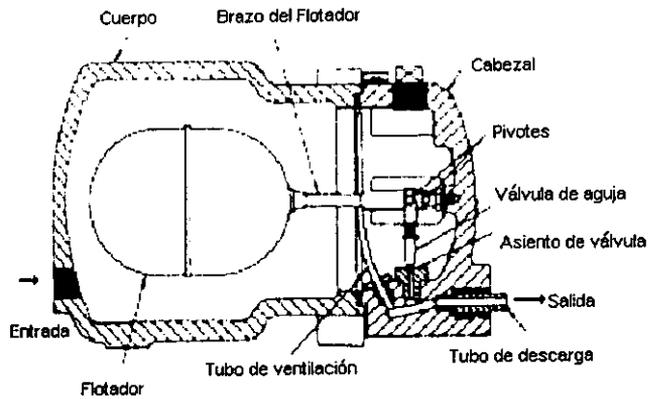


Figura 4-3(a). Válvula de flotador de lado de alta.

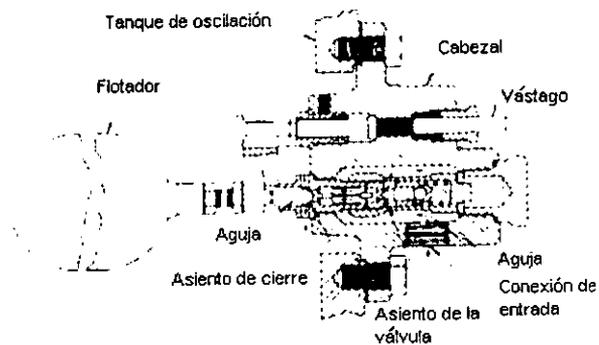


Figura 4-3(b). Válvula de flotador de lado de baja.

- Válvula de expansión automática. Se utiliza como un dispositivo de expansión del refrigerante en algunas aplicaciones limitadas. Son dos las presiones que operan sobre la válvula. La presión constante del resorte actúa sobre la superficie superior del diafragma con el fin de abrir la válvula, y la presión del evaporador actúa sobre la superficie inferior del diafragma tendiendo a cerrar la válvula. Cuando aumenta la presión del evaporador, la válvula se mueve a una posición más cerrada. Esto reduce el flujo del refrigerante que entra al evaporador y baja la presión del mismo. Si disminuye la presión del evaporador tiene lugar el efecto opuesto. La válvula de expansión automática tiene un uso limitado cuando es deseable mantener condiciones constantes en el evaporador. En la figura 4-4 se muestra una válvula de expansión automática.

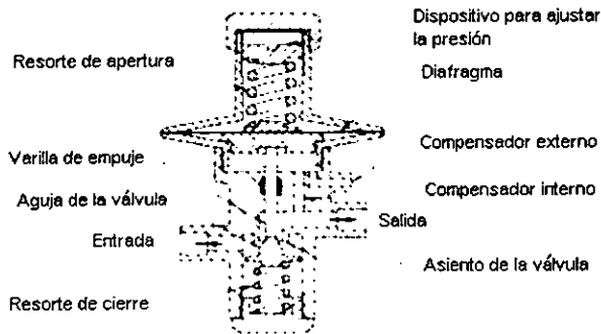


Figura 4-4. Válvula de expansión automática.

- Válvulas limitadoras de presión. Cuando aumenta la presión de succión en un compresor de refrigeración, aumentan así mismo tanto la capacidad como la corriente que toma el motor. Las presiones excesivas de succión pueden dar por resultado una sobrecarga o daños en el motor. Estas válvulas limitan el valor máximo de la presión de succión. Esta característica se llama en ocasiones presión máxima de operación. La válvula limitadora de presión ayuda también a impedir el escurrimiento del líquido al compresor durante el arranque.

Existen dos tipos de válvulas limitadoras de presión:

1. Carga limitada.
2. Tipo mecánico.

- Válvula de carga limitada. Esta válvula funciona con carga líquida, la cantidad de fluido debe ser lo suficientemente grande para que siempre se halle presente algo de líquido en el bulbo, no importa cual sea la temperatura. Esta válvula también se le conoce como válvula de carga de gas, la cantidad es menor, lo suficiente para que por encima de una cierta temperatura del evaporador, se evapore totalmente. Se utiliza a menudo en donde es posible que ocurran elevadas presiones de succión.
- Válvula mecánica limitadora de presión. Este tipo de válvula tiene una carga líquida convencional de manera que el control que ejerce el bulbo funciona de la manera usual, por debajo de la máxima presión de operación. La válvula posee dos diafragmas en lugar de uno, el diafragma superior se mantiene hacia abajo mediante un resorte, y no funciona durante la operación normal. El diafragma inferior funciona

de la manera normal, actuando sobre éste la presión del bulbo, desde una conexión ubicada entre los dos diafragmas. Sin embargo, cuando esta presión aumenta por encima de un cierto valor, los diafragmas se traban de un modo efectivo como una unidad rígida, y un cambio en la presión del bulbo no tiene ningún efecto adicional. Bajo estas condiciones, la válvula funciona como una válvula de expansión a presión constante. En la figura 4-5 se muestra una válvula mecánica limitadora de presión.

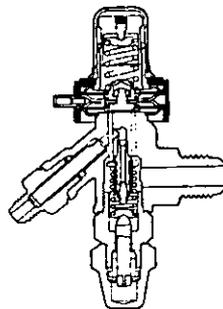


Figura 4-5. Válvula mecánica limitadora de presión.

- Válvulas de aire o de mantenimiento del sistema de refrigeración. El flotador contiene una pequeña cantidad de fluido volátil que se expande o se contrae respondiendo a cambios de temperatura moviendo el fondo flexible del flotador hacia adentro o hacia fuera. Cuando la presión de vapor aumenta a un valor mayor que la atmosférica, el aire que se encuentra en las tuberías será forzado a salir a través de las puertas de escape. Después que el aire relativamente frío ha escapado y el vapor entra a la válvula, el fluido

confinado que se encuentra dentro de la cámara del flotador se expande obligando al fondo flexible a ir hacia abajo. A la acción de levantar al flotador forzando al perno de la válvula a introducirse en la parte superior, constituye el cerrado de la válvula. La cámara del flotador se elevará si por cualquier razón se llena la válvula con agua. Por lo tanto, no podrá salir agua a través de la válvula. Con la válvula de aire éste pasará a través de la puerta de escape cuando baje la presión del vapor hasta la presión atmosférica, y el sistema estará eventualmente con aire cuando el vapor se condense. El aire de nuevo deberá ser forzado a salir hacia el exterior cuando se requiera de calor y su eyección traerá consigo una considerable tardanza en la distribución del calor. Es mejor emplear válvulas de aire que retarden por varias horas el regreso del mismo dentro del sistema y que permitan la circulación de vapor a una temperatura menor que la correspondiente al punto de ebullición del refrigerante.

Para realizar el control de la presión de succión y la presión de descarga, las válvulas se han modificado para lograr tenerlas en forma automatizada, adaptando en cada una de ellas un motor de corriente directa (CD), para lograr la abertura de las mismas de acuerdo a las condiciones que se requieran en cada prueba, por esta razón se les denomina servoválvulas o servomecanismos.

5

AUTOMATIZACIÓN DEL CALORÍMETRO.

En general, el control automático desempeña un avance en la ingeniería, por tener una gran relevancia dentro de los sistemas como pueden ser: de robots, de piloto automático en aeronaves, máquinas y herramienta de la industria manufacturera y en general en procesos industriales. Resulta esencial en operaciones industriales como el control de presiones, temperatura, humedad, viscosidad y flujo de sustancias en las industrias de transformación.

Por control podemos entender, la manipulación de ciertas variables para corregir los valores de la variable controlada del sistema, para mantenerla dentro de ciertos límites respecto al valor consigna (valor deseado), en la gráfica 5-1 se muestra el valor consigna y los límites que se presentan para el control.

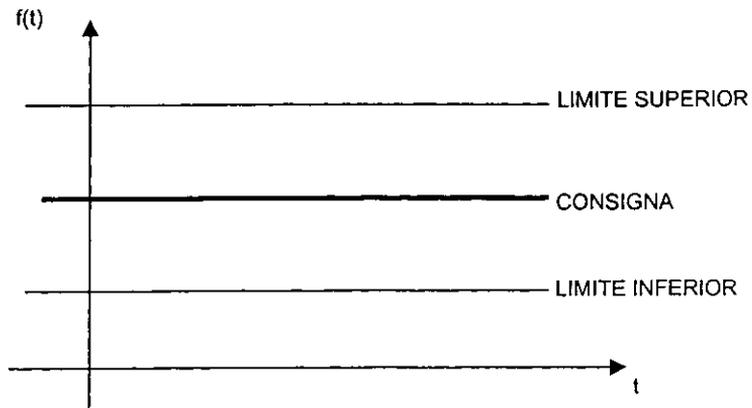


Figura 5-1. Valor consigna y límites de control.

5.1. MÉTODOS DE IMPLEMENTACIÓN.

En controladores industriales es muy común encontrar los métodos antes mencionados dependiendo de las características: tipo de respuesta, tiempo de estabilización, tipo de actuadores, sensores, entre otros. Estos parámetros nos sirven para determinar el tipo de controlador que se utilizará en el sistema.

Para realizar el control del calorímetro, se diseñó un sistema basado en una computadora personal y una tarjeta multifunción, que realiza las funciones de conversión de señales analógicas a digitales y viceversa y que permite la entrada y salida de señales digitales, con sus respectivos acondicionamientos para producir señales de acuerdo a las necesidades del sistema de control. Esto se aglutina o conjunta mediante un tercer elemento que es un programa de aplicación.

Como ya se menciona en el capítulo 1, el control fue realizado con el tipo proporcional – integral – derivativo (PID) por las ventajas que éste presenta, ya que se logra una estabilización de la respuesta en un menor tiempo y con un margen de variación menor. Este sistema de control está adaptado en forma híbrida, es decir, utilizando electrónica digital y analógica para manipular los actuadores que son las válvulas reguladoras de flujo y las resistencias eléctricas (calefactores).

Con estos elementos se automatizó el sistema requerido por la empresa Kelvinator (Electrolux), los cuales lograron reducir el tiempo requerido de cada prueba y aumentar el número de compresores que se analizan en la misma.

Dentro del control que se empleará, la respuesta transitoria del sistema presenta oscilaciones amortiguadas antes de alcanzar el valor consigna. Al especificar las características de respuesta transitoria de un sistema de control a una entrada, es común especificar lo siguiente:

1. Tiempo de retardo, t_r
2. Tiempo de crecimiento, t_c
3. Tiempo de pico, t_p
4. Sobreimpulso máximo (máximo pico), M_p
5. Tiempo de establecimiento, t_e

1.- Tiempo de retardo, t_r : es el tiempo que tarda la respuesta de la señal real en alcanzar la mitad del valor consigna por primera vez.

2.- Tiempo de crecimiento, t_c : es el tiempo requerido para que la respuesta aumente del 10 al 90% del valor consigna.

3.- Tiempo de pico, t_p : es el tiempo requerido para que la respuesta alcance el primer pico de sobreimpulso (máximo pico).

4.- Sobreimpulso máximo (máximo pico), M_p : es el valor pico máximo de la curva de respuesta medido desde el valor consigna. La magnitud del máximo pico indica la estabilidad relativa del sistema. Es decir, que tan pronto se puede alcanzar el valor consigna.

5.- Tiempo de establecimiento, t_e : es el tiempo que la curva de la señal real requiere para alcanzar y mantenerse en un rango alrededor del valor consigna con una magnitud especificada por el porcentaje absoluto del valor consigna (habitualmente 2 ó 5%).

El tiempo de establecimiento está relacionado con la constante de tiempo mayor del sistema de control. En la figura 5-2, se muestra la curva de respuesta con las características.

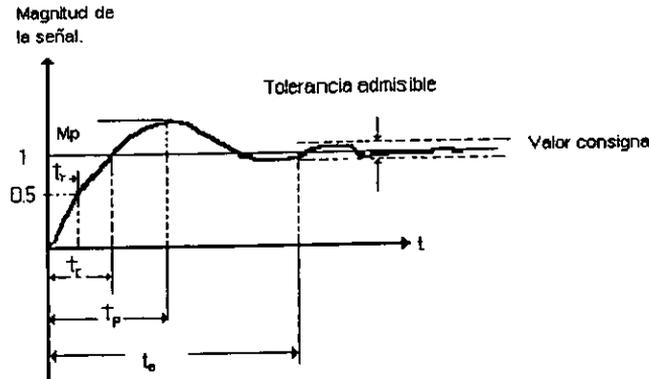


Figura 5-2. Curva mostrando las características de respuesta de la señal real t_r , t_s , t_p , M_p , t_s .

Las especificaciones anteriores son muy importantes, puesto que los sistemas de control deben presentar respuestas temporales aceptables. Es deseable que la respuesta transitoria sea suficientemente rápida y amortiguada para evitar oscilaciones que no permitan que el sistema tenga una respuesta satisfactoria a las condiciones requeridas.

5.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.

Para la implementación del sistema, se utilizaron dos tipos diferentes de válvulas, que son: válvula reguladora de presión de aguja y válvula de expansión termostática (VET). Esto se hizo con el fin de satisfacer las diferentes condiciones que se presentan tanto en la presión de succión como en la de descarga.

En cuanto al control de la temperatura en la botella, fue necesario emplear un arreglo de triacs, con el fin de manipular en forma adecuada los calefactores.

5.2.1. CONTROL DE PRESIÓN DE SUCCIÓN.

Generalmente, los sistemas de refrigeración de capacidades pequeñas requieren tubos capilares para la restricción de flujo del refrigerante, esto es debido a que su costo es relativamente bajo y no necesitan mantenimiento, además de controlar el flujo con eficiencia bajo condiciones variadas a pesar de que no tienen ajustes.

Para el control de la presión de succión, dentro del sistema de refrigeración se deben tener diversas adaptaciones para las diferentes pruebas que se realizan. Cada compresor requiere cierta cantidad de refrigerante expandido, que a su vez proviene del dispositivo de control de flujo. La restricción que existe es que a cada cambio de compresor se le debe acondicionar un tubo capilar de cierta longitud y diámetro, lo cual ocasiona que dicho sistema se haga demasiado grande por requerir diferentes tubos capilares para los diferentes tipos de compresores.

Este problema se solucionó colocando una válvula de expansión termostática que viene a sustituir al conjunto de tubos capilares, logrando un uso eficiente del evaporador sobre una amplia gama de cargas. Para evitar que existan pérdidas o mala dosificación de refrigerante, es necesario colocar la válvula de expansión termostática dentro de la botella.

Si la válvula de expansión termostática se colocara fuera de la botella, se ocasiona el siguiente problema:

La válvula funcionaría como intercambiador de calor, debido a la variación de la temperatura que existe en la expansión de refrigerante. Y por consiguiente, no se puede cuantificar el calor cedido por la válvula al medio ambiente.

Una vez analizadas las ventajas y desventajas de colocar una válvula de expansión termostática en el sistema; se consideró un arreglo o conexión de dos válvulas para solventar las desventajas antes mencionadas. En la figura 5-3 se observa la conexión de válvulas que se realizó.

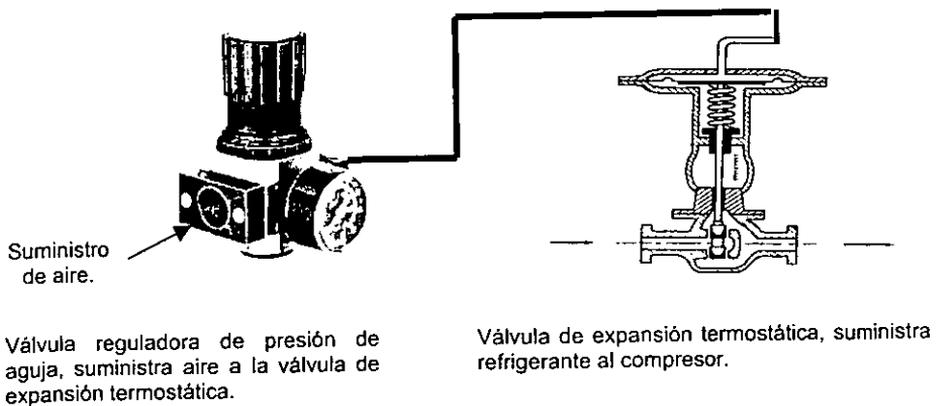


Figura 5-3. Conexión de válvulas para el suministro de refrigerante en la presión de succión.

El arreglo de válvulas se realizó con una válvula reguladora de presión de aguja, la cual suministra aire comprimido o nitrógeno, y una válvula de expansión termostática que regula el flujo de refrigerante.

La válvula que suministra aire es controlada por un servomecanismo, el cual se forma por un motor de corriente directa (CD) acondicionado de tal manera, que permite que los desplazamientos angulares abran o cierren la válvula en el sistema de refrigeración, estos desplazamientos son controlados por medio de un circuito que permite registrar en forma constante la posición en que se encuentra dicha válvula (el circuito se explicará más adelante), la posición de la válvula que suministra aire es la retroalimentación para el sistema de control, siendo enviada posteriormente a la computadora como una señal eléctrica analógica, para tomar la acción de control correspondiente. Esto permite que la válvula de expansión termostática, tenga una regulación constante y adecuada de refrigerante.

5.2.2. CONTROL DE PRESIÓN DE DESCARGA.

Para el control de la presión de descarga no fue necesario emplear un arreglo de válvulas porque las características son diferentes, permitiendo un dispositivo de control sencillo. El dispositivo de control únicamente consistió en un servomecanismo, que es una válvula de aguja accionada por un motor de corriente directa (CD), acondicionado de tal forma que permite que los desplazamientos angulares del motor abran o cierren dicha válvula. En la figura 5-4 se observa la válvula que fue empleada.

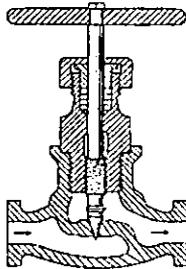


Figura 5-4. Válvula de aguja que controla el flujo del fluido, en la presión de descarga.

5.2.3. CONTROL DE TEMPERATURA DE LA BOTELLA.

Para el control de la temperatura de la botella del calorímetro se utilizaron resistencias eléctricas.

Dentro de la botella existen resistencias eléctricas que son fijas las cuales no permitirían el control adecuado de la temperatura de la botella por lo cual se requiere un circuito que sea capaz de manipular la temperatura. El circuito mostrado en la figura 5-5 será empleado para controlar la potencia suministrada a las resistencias, la cual modifica la temperatura.

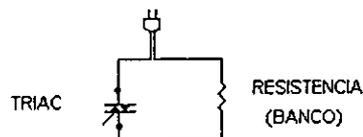


Figura 5-5. Circuito que controla las resistencias.

El dispositivo de control es un TRIAC el cual consta de dos tiristores (SCR) montados en antiparalelo. Un tiristor es un interruptor unidireccional de potencia, este es un semiconductor de conmutación rápida y su función consiste en modular la potencia en los sistemas de alterna. La modulación de potencia puede variar conmutando los estados de conducción y corte en una sucesión o secuencia particular. Para la activación de los tiristores, se pueden inyectar portadores minoritarios (electrones) adicionales, a través de la terminal de compuerta para que el tiristor conduzca. Si la corriente de compuerta es suficientemente intensa, este conducirá tan pronto como la terminal dos se

haga positiva con respecto a la terminal uno y viceversa. La figura 5-6 muestra las partes que conforman el TRIAC.

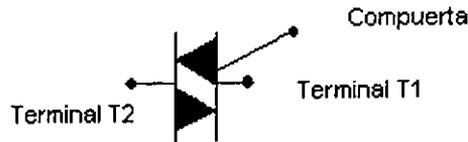


Figura 5-6. Partes que conforman el TRIAC.

Se puede emplear el TRIAC como contactor de alterna o, por control de fase de la tensión alterna, se le puede utilizar para ajustar la potencia transferida desde la fuente hasta la carga. Esta característica del TRIAC se representa en la figura 5-7. Cuando el TRIAC es activado, la caída de tensión en él es aproximadamente de un Volt y permanece casi independiente de la corriente.

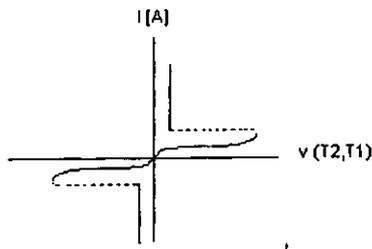


Figura 5-7. Características del TRIAC, se muestra la relación del voltaje y la corriente.

En el TRIAC la señal de puerta puede ser de cualquier polaridad. Esto constituye una ventaja. En los circuitos, la tensión de entrada es fija y la tensión de salida se ajusta variando el periodo de conducción del TRIAC. El disparo tiene lugar en un punto ajustable del ciclo de tensión. El ángulo de fase o excitación, (α) disminuye desde aproximadamente 180° para proporcionar una tensión de acuerdo a las necesidades de las pruebas. En la figura 5-8(a) se presenta el circuito que se requiere analizar.

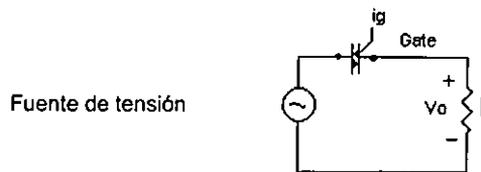


Figura 5-8(a). Circuito con TRIAC (dispositivo de control).

La figura 5-8(b) representa el comportamiento de la señal de salida medida en la resistencia con respecto al ángulo de excitación.

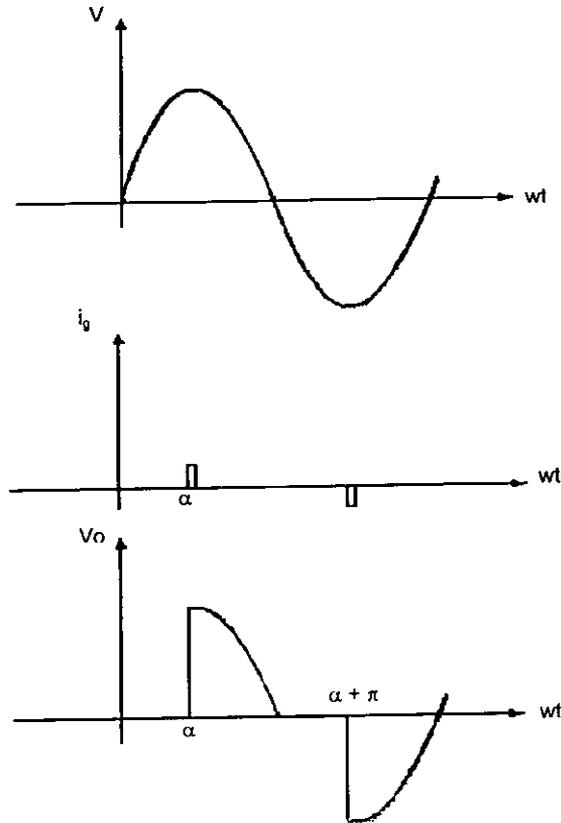


Figura 5-8(b). Relación que existe entre el voltaje de la fuente, la corriente que permite el disparo del TRIAC y el voltaje medido en la resistencia.

La potencia de la resistencia (P_0) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_0 = (V_0)(I_0) \text{ [W]}$$

Donde: V_0 es el voltaje de la resistencia y este es igual al voltaje de la fuente, la corriente I_0 tiene relación con el ángulo de excitación (α) del TRIAC, y esta dada por la expresión:

$$I_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{\sqrt{2}}{R} V_0 \text{sen } \omega t d(\omega t) \text{ [A]}$$

La expresión final queda:

$$P_0 = \frac{(V_0)^2}{\sqrt{2\pi R}} [1 + \cos \alpha] \text{ [W].} \dots\dots\dots(1)$$

Otra forma de calcular la potencia de la resistencia es mediante la expresión:

$$P_0 = R(I_R)^2 \text{ [W]}$$

Donde: R es el valor de la resistencia, y el valor de I_R se calcula mediante la siguiente expresión:

$$I_0 = I_R = \frac{V_0}{R} \text{ [A]}$$

la expresión final queda:

$$P_0 = \frac{(V_0)^2}{R} \text{ [W].} \dots\dots\dots(2)$$

La diferencia que existe entre las expresiones (1) y (2), es que la expresión (1) permite evaluar la potencia de la resistencia en cualquier momento, y la expresión (2) nos permite calcular la potencia de la resistencia en forma instantánea.

Este cálculo es importante, debido a que el calor que disipan las resistencias, permite la regulación de la temperatura dentro de la botella y se encuentra en función de la potencia que se le suministra. Es decir, dependiendo del momento en que el dispositivo de control se activa, regula el flujo de la corriente, permitiendo el aumento o la disminución de la temperatura.

5.2.4. ETAPA DE ACOPLAMIENTO EN EL CONTROL DE LOS TRIACS.

Para manipular el ángulo de disparo de los triacs, es necesario adecuar la señal que envía la computadora al sistema de control, es decir, la señal tiene que ser modificada en fase, logrando con esto un funcionamiento adecuado de las resistencias (calefactores). Para la implementación de esta etapa existen diversos métodos entre los cuales se encuentran:

- Modulación por ancho de pulso.
- Acoplamiento (directo) de la computadora con el dispositivo a controlar.

Por la relativa sencillez y bajo costo, se empleará la modulación por ancho de pulso con una etapa de comparación, la cual permitirá tener un nivel de referencia y con esto lograr que el banco de resistencias tenga una respuesta de acuerdo a las condiciones requeridas.

La computadora genera una señal con una frecuencia de 4kHz, con un cierto valor de voltaje y un ciclo de trabajo, dado por la siguiente expresión:

$$V = V_p(\delta) [V]$$

donde:

V_p voltaje pico.

δ es el ciclo de trabajo.

El fin de utilizar la modulación de ancho de pulso, es para obtener un valor de corriente directa (CD).

La señal que envía la computadora se acopla ópticamente y se introduce a un filtro paso bajas, el cual permite, de acuerdo a sus características, obtener un componente de la señal original de la computadora. La señal que se obtiene en la salida queda expresada mediante la siguiente relación:

$$V_o = 12(\delta) \text{ [V]}$$

donde:

V_o es el voltaje en la salida.

δ es el ciclo de trabajo de la señal.

En la figura 5-9 se muestra el diagrama de la señal de entrada y la señal de salida.

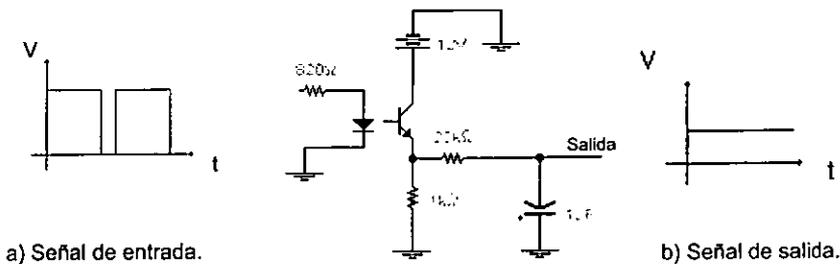


Figura 5-9. a) Señal de entrada de la computadora.

b) Señal de salida del filtro.

Para sincronizar la señal de disparo con la señal de la línea de voltaje se generó un circuito con los siguientes elementos:

- Rectificador de voltaje.
- Comparador.
- Fuente de corriente.

Este circuito permitirá generar una señal de tipo rampa la cual, al ser comparada con la señal que se obtiene del filtro paso bajas, determina el ángulo de disparo de los TRIACS.

La figura 5-10 muestra el circuito con los tres elementos:

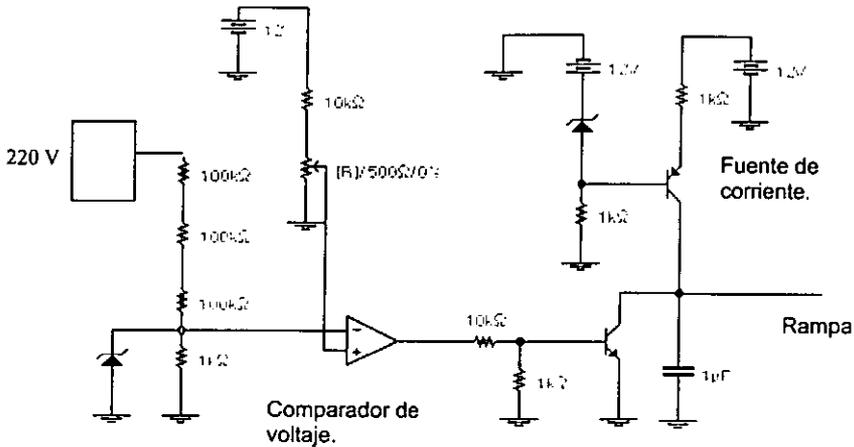


Figura 5-10. Generador de la señal de referencia.

Finalmente, la señal que se tiene de la computadora y la señal de referencia se comparan, con el fin de activar el triac y éste a su vez manipule las resistencias en forma correcta, su representación está en la figura 5-11.

- Señal de salida del filtro.
- + Señal de referencia.

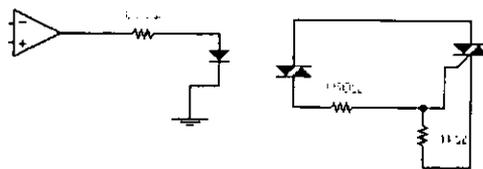


Figura 5-11. Etapa de comparación.

En la figura 5-12 queda conformada la etapa de acoplamiento que permite controlar la temperatura en las resistencias.

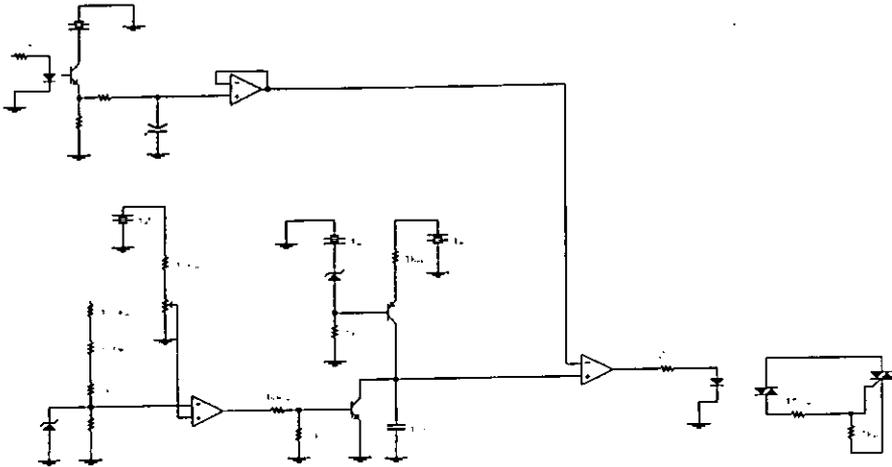


Figura 5-12. Etapa de acoplamiento de las resistencias (calefactores).

5.2.5. CONTROL DE LAS SERVOVÁLVULAS.

Para el control de las servoválvulas se empleará un circuito que está formado por amplificadores operacionales, que se identifican con el número TL084. Dado que estos circuitos integrados cumplen con las características que se requieren para el control, como son: tiempo de respuesta, frecuencia de operación y rango de voltaje. Las configuraciones que se realizaron con estos dispositivos para el sistema son: seguidor de voltaje y comparador.

El seguidor de voltaje, permite que la señal de voltaje que se tiene en la entrada sea el mismo que se presenta en la salida, como lo muestra la figura 5-13.

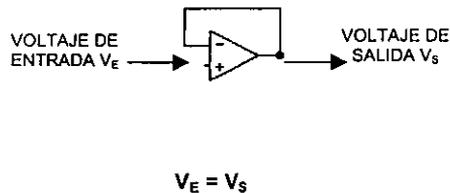


Figura 5-13. Amplificador operacional, configuración seguidor de voltaje.

La configuración del comparador de voltaje permite, como su nombre lo indica, comparar la señal de entrada con una señal de referencia. Para determinar cuál es la acción correspondiente a realizar, esto es, abrir o cerrar la válvula, como lo indica la figura 5-14.

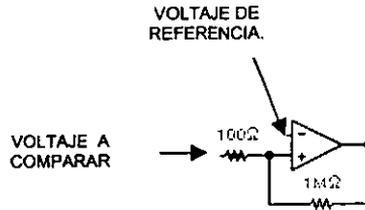


Figura 5-14. Amplificador operacional, configuración comparador.

Por otra parte, se emplearán transistores de tipo NPN en dos regiones de operación que son: región de corte y región de saturación. Cuando un transistor trabaja en la región de corte, se presentan las siguientes características, la corriente de base es máxima y el voltaje entre colector y emisor es aproximadamente cero, en cuanto a la región de saturación, el voltaje es máximo entre colector y emisor y la corriente de base es aproximadamente cero. La figura 5-15 muestra la configuración del transistor que permite la activación de la válvula solenoide.

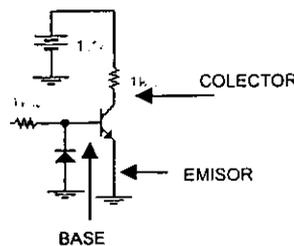


Figura 5-15. Transistor NPN.

El circuito de la figura 5-16 muestra el control de las servoválvulas.

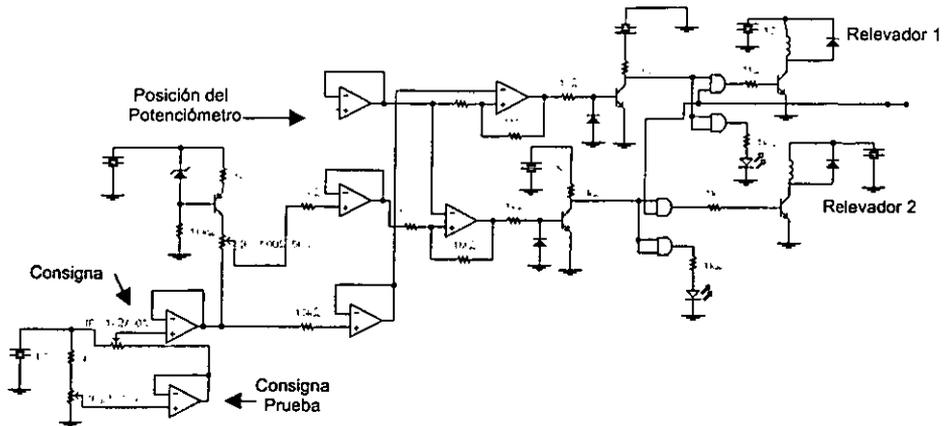


Figura 5-16. Circuito de control de las servoválvulas.

Una vez que se estableció el valor consigna, la señal pasa a través de un seguidor de voltaje, con el fin de mantener el voltaje constante, éste a su vez entra a un comparador como la señal de referencia para poder ser comparada con la señal real, que es tomada de un potenciómetro que de acuerdo a la posición en que se encuentra, nos permite determinar, que si la señal consigna es mayor, ésta activará la válvula solenoide que se encarga de subir la presión; en el caso de que los valores sean iguales, no se activará dicha válvula y permanecerá en la misma posición. Cuando el valor consigna es menor, ocasionará que se active la válvula solenoide que se encarga de bajar la presión.

El circuito de la figura 5-17, muestra el diagrama general del control de las válvulas.

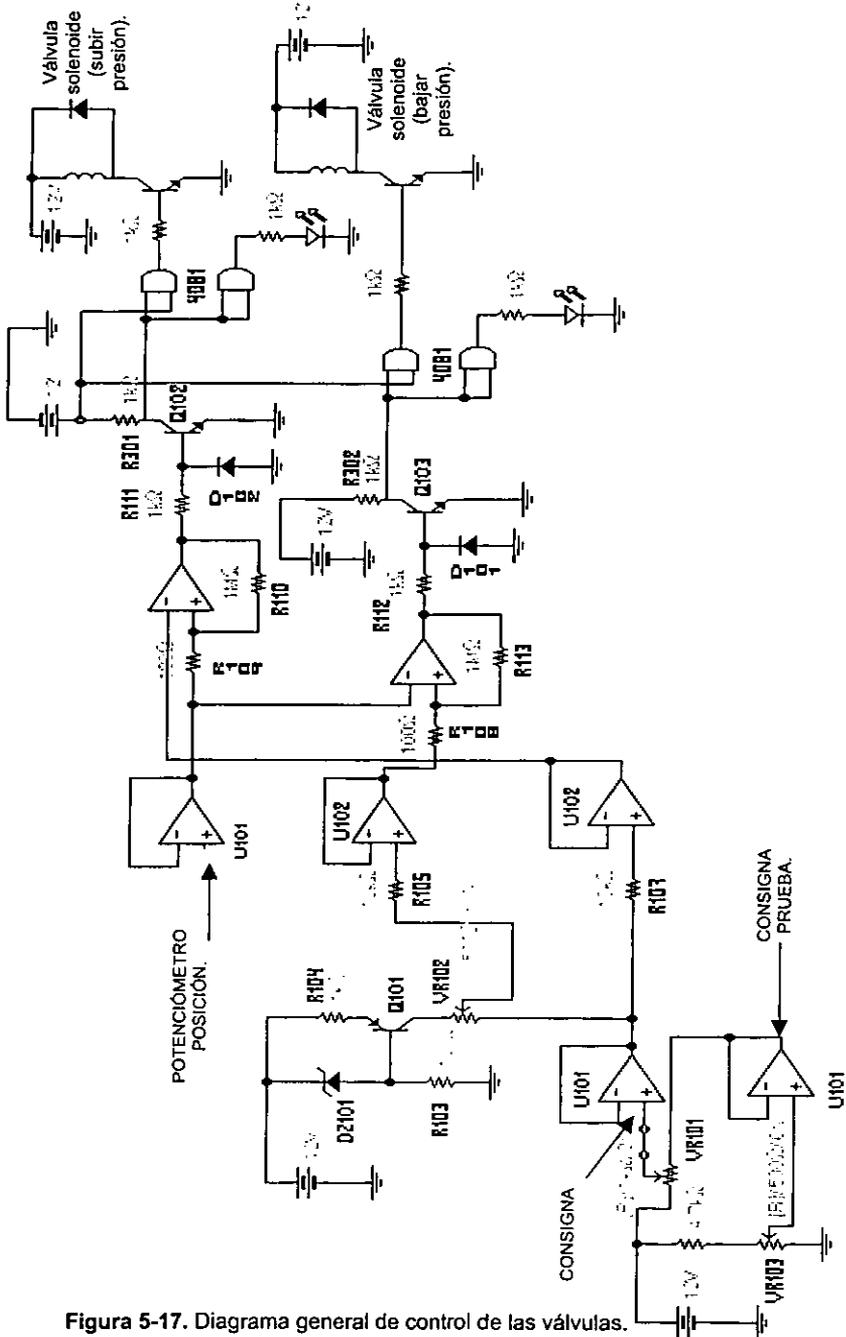


Figura 5-17. Diagrama general de control de las válvulas.

PROGRAMA DE OPERACIÓN.

Sabiendo que el objetivo principal es automatizar el calorímetro y no diseñar propiamente el control proporcional – integral – derivativo (PID) que se encargará de ajustar los parámetros requeridos en las pruebas a realizar, el programa de operación se puede implementar con diferentes dispositivos de control, como pueden ser:

- Electrónica analógica.
- Electrónica digital.
- Controladores PID ya implementados.
- Controladores lógicos programables (PLC).
- Computadora personal.

Todos los sistemas antes mencionados tienen ventajas y desventajas, las cuales se analizaron para elegir la opción que cumpliera con los requerimientos, en la tabla 6-1 se muestra la comparación entre los diferentes métodos de implementación.

Electrónica analógica.	Desventajas: <ol style="list-style-type: none">1. Se requiere conocer el funcionamiento del sistema en forma detallada.2. El tiempo en el desarrollo del control es grande.3. Se puede perder el objetivo principal.4. Una vez diseñado el sistema es difícil de modificar.
------------------------	---

	Ventajas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Utiliza electrónica dedicada. 2. Es económico para la producción masiva.
Electrónica digital.	Desventajas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Se necesita conocer el algoritmo para su implementación. 2. Una vez diseñado el control es difícil de modificar. Ventajas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Utiliza electrónica dedicada. 2. Es económico para la producción masiva.
Control PID implementado. (ya diseñados en el mercado)	Desventajas: <ol style="list-style-type: none"> 1. No se conoce el funcionamiento real del controlador. 2. El costo es comparativamente alto. 3. Se debe buscar que el controlador tenga todo lo que se necesita. Ventajas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Reduce el tiempo en la implementación. 2. Se deben introducir los valores de las constantes del controlador (K_p, T_i, T_d).
Controladores lógicos programables. (PLC)	Desventajas: <ol style="list-style-type: none"> 1. En algunos casos se requiere agregar electrónica adicional, para acoplar las señales. 2. No permite almacenar grandes cantidades de información. 3. Permite pocas variables de control y su costo es elevado. Ventajas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Para tareas específicas, son prácticos y de gran relevancia, disminuyen el tiempo de implementación. 2. Para sacarlo de operación no es sencillo, ya que no tiene una interfaz directa con el usuario. 3. La programación es relativamente sencilla, y generalmente se programa en su propio lenguaje.
Computadora personal.	Desventajas: <ol style="list-style-type: none"> 1. Debido a que existe una interfaz directa con el usuario, es sencillo sacarla de operación.

	<p>Ventajas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Costo comparativamente bajo. 2. Se implementa con tarjetas de tipo analógico – digital y digital – analógico. 3. La programación puede hacerse en cualquier lenguaje de alto nivel. 4. No requiere demasiadas piezas adicionales. 5. Puede almacenar información en grandes escalas. 6. Es más versátil. 7. Tiene mayor número de aplicaciones. 8. Se puede escalar, es decir, ampliar las aplicaciones.
--	--

Tabla 6-1. Comparación entre los métodos de implementación.

En conclusión se puede decir que la opción más conveniente por presentar un mayor número de ventajas es la computadora personal en conjunto con una tarjeta de adquisición de datos, circuitos de control externo y un programa de aplicación.

Al conjunto de los siguientes elementos se les llama instrumentación virtual y son:

1. Una computadora personal.
2. Una tarjeta multifunción de adquisición de datos. (Señales analógico - digital, digital – analógico y digital – digital).
3. Un programa de operación.

La Instrumentación Virtual se beneficia de la arquitectura de la computadora personal y aprovecha su alto poder y bajo costo, ya que proporciona la capacidad de procesamiento, la memoria y el despliegue de la información; en tanto, las tarjetas multifunción proveen las herramientas de instrumentación y el programa es el que aglutina tanto a la computadora como a

la tarjeta multifunción. Por lo tanto es necesario un lenguaje de programación potente y versátil que permita optimizar los recursos haciendo más eficiente el sistema de control.

Por otra parte, para la implementación del programa de control de las variables ya mencionadas, existen diferentes lenguajes de programación, entre los cuales se encuentran: Basic, Pascal, turbo C, Fortran, LabView, entre otros.

Para el caso particular del calorímetro, el lenguaje más conveniente es LabView, ya que trabaja en el ambiente de Windows, además porque ofrece otras ventajas como son: la programación es gráfica, el manejo del programa es por bloques y proporciona un tiempo más corto para desarrollar e implementar el programa.

LabView permite la adquisición, el control, el análisis y la representación de datos, ofrece un método innovador de programación que permite relacionar las variables de control. Otras ventajas que proporciona son las siguientes:

- ◆ Dispone de numerosas opciones para el manejo de datos
- ◆ Permite almacenar datos en disco
- ◆ Sirve para preparar informes
- ◆ Tiene una velocidad de ejecución alta.

Una desventaja que presenta este lenguaje es que requiere una gran capacidad de memoria y espacio libre en el disco duro para su ejecución.

Hoy en día esto ya no es muy problemático debido a los avances que se tienen en el área de computación como son: la velocidad de procesamiento, la capacidad de memoria y de almacenamiento de información, entre otras. Estas características permiten solventar la desventaja antes mencionada.

6.1. REQUERIMIENTOS PARA EL SISTEMA DE CONTROL.

El sistema de control se desarrollará por medio de una computadora personal con las siguientes características mínimas:

- Procesador Pentium MMX de 166 MHz.
- 16 MB en RAM.
- Disco duro de 2.1 GB.
- Floppy de 3.5".
- Dos puertos seriales.
- Un puerto paralelo.
- Tarjeta de video PCI con 1 MB de RAM.
- Monitor a color SVGA.

A la computadora se le instalará una tarjeta multifunción PCI-MIO-16E4. En la figura 6-2 se muestra un diagrama a bloques de la estructura del sistema de control empleado.

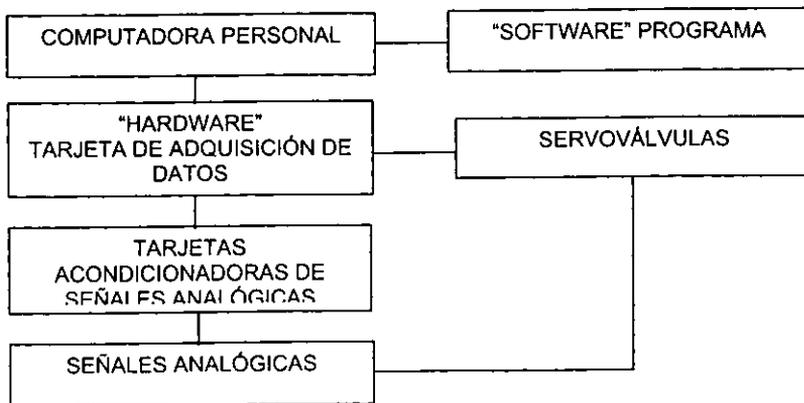


Figura 6-2. Diagrama a bloques del sistema.

6.2. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA.

El programa se desarrolló en LabView y puede operar sobre Windows 3.11, Windows 95, Windows 98 o Windows NT. Para el caso particular del calorímetro se eligió Windows NT ya que ofrece una mayor estabilidad que las otras versiones de Windows.

Por la estructura física del lenguaje de programación, se reduce el tiempo de desarrollo del sistema de control, ofreciendo ventajas sobre otros lenguajes de programación, entre las que destacan:

- Sencillez en la modificación del programa.
- El mantenimiento del sistema es relativamente sencillo.
- Crea programas con mayor calidad.

El programa desarrollado sobre LabView esta dividido en módulos, estos permiten configurar el sistema en varias etapas. Para este caso se requieren solo dos etapas.

La primera consiste en inicializar las variables a utilizar y configurar la tarjeta, considerando los siguientes parámetros:

- Velocidad de muestreo.
- Canales a utilizar.
- Intervalo de adquisición de datos.

Para que el sistema comience a operar, se requiere introducir el valor consigna. Este valor permite inicializar los ciclos de comparación para que el sistema tienda a ser estable y se comporte como tal, considerando el porcentaje de error ya establecido para la señal real.

Esta etapa sirve para calcular la potencia real que se le suministra al sistema de refrigeración con el fin de obtener la eficiencia del mismo.

En la segunda etapa, donde se adquieren los datos, estos se leen o traen de la tarjeta multifunción con el fin de obtener las constantes del sistema de control. Con los datos obtenidos se procede a sacar el valor medio, posteriormente ese valor se multiplica por la pendiente y, a su vez, se le suma la ordenada (establecida en el programa) con el fin de obtener el valor real del sistema.

Esta etapa se realiza varias veces para cada canal que se utiliza de la tarjeta. Los canales ya establecidos son:

- Canal cero analógico. Se utiliza para mover la válvula de agua.
- Canal uno analógico. Se utiliza para mover la válvula de aire.

6.3. ESPECIFICACIONES DE LA PANTALLA DE CONTROL.

Existen dos pantallas o paneles. Ambas permitirán manipular en forma adecuada cada uno de los parámetros a controlar. Cuando el sistema se arranca, la primera pantalla que aparece es la que se muestra en la figura 6-3.

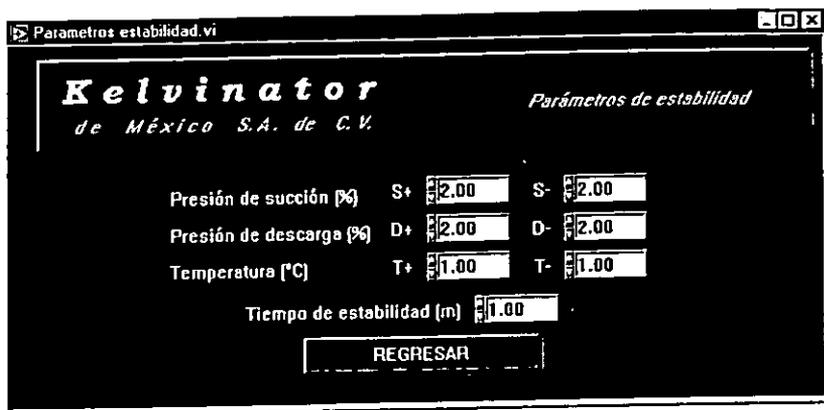


Figura 6-3. Pantalla o panel que permite introducir los parámetros de estabilidad.

Esta pantalla o panel define los parámetros de estabilidad que va a indicar al usuario el rango en el cual se encontrará la señal real, es decir, un valor máximo y un valor mínimo, que se podría considerar como señal de error o valor permitido para que el sistema se encuentre estable. Cada uno de los valores que se especifican es independiente y pueden darse valores simétricos para la presión de succión y descarga o valores distintos, especificando que debe estar en porcentaje. En cuanto a la temperatura, el rango de la misma en el cual se debe de encontrar el valor real se especifica en grados centígrados.

Es de gran importancia considerar el tiempo de estabilidad ya que éste permite determinar cuanto tarda la señal real en alcanzar el valor consigna (valor deseado). Una vez definidos los parámetros de estabilidad, aparece la segunda imagen, que es la pantalla de operación del sistema de control, y que se muestra en la figura 6-4.

Los dos primeros parámetros que se observan nos indican: uno el tiempo en que ha estado estable el sistema, y este tiempo se contabiliza a partir de que han transcurrido de 10 a 15 minutos, con el objetivo de asegurar que el sistema se encuentra estable, y el otro; la energía que se le ha suministrado a las resistencias, para así poder calcular la eficiencia del sistema de refrigeración.

Esta pantalla esta estructurada en módulos independientes, donde se muestran gráficas que permiten monitorear en forma constante las señales que se generan a través del tiempo como respuesta al control de las variables. La primer gráfica es para la presión de succión, la segunda gráfica permite observar la presión de descarga y en la tercer gráfica la temperatura de la botella. Estas gráficas tienen escala ajustable, es decir, de acuerdo al valor consigna que se le asigne, se gradúa en forma automática la escala. Existe una etiqueta que indica con un color la señal real y con otro color el valor consigna, esto es con el fin de identificar en forma sencilla cada señal. Posteriormente se encuentran los indicadores que permiten observar en forma numérica las señales reales, así como las consignas de cada variable, además de poder cambiar el valor de dicha consigna las veces que se requiera.

Para que el sistema de control opere en forma adecuada, es necesario establecer los parámetros que se definen como PID, que son las constantes K_c constante de proporcionalidad, T_i tiempo de integración y T_d tiempo de derivación. Estas constantes se establecen de acuerdo al tipo de respuesta que

se requiera, es decir, es deseable que la respuesta llamada transitoria sea suficientemente rápida y amortiguada, con el propósito de que alcance el valor consigna sin que existan excesivas oscilaciones, logrando que el sistema sea estable en un menor tiempo.

La ventaja que presenta el sistema de control es que puede ser operado en dos modos o maneras que son:

- Manual.
- Automático.

Cuando se esta operando en modo manual, los indicadores de cierre de las servoválvulas pueden manipularse de acuerdo a la cantidad de fluido que se requiera hasta ajustar las características deseadas. De igual manera se puede manipular el circuito de control de la temperatura de la botella, todo esto se hace con ayuda del mouse (que es el dispositivo de control de entrada gráfico de la computadora).

Cuando el sistema funciona en el modo automático, como su nombre lo indica, todo opera según las condiciones dadas hasta lograr estabilizar la señal real de acuerdo a la señal consigna.

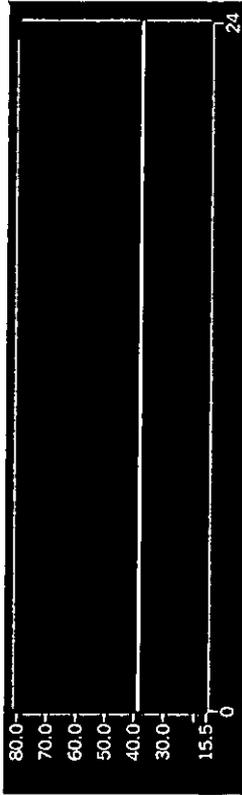
Kelvinator

de México S.A. de C.V.

AJUSTANDO SISTEMA

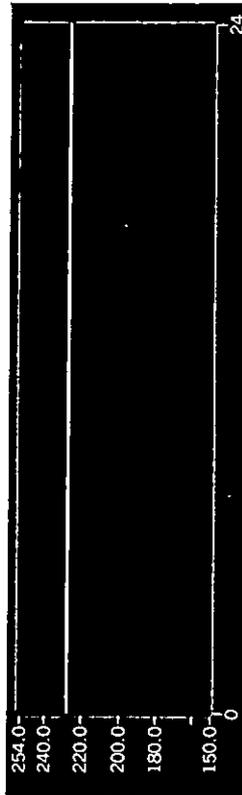
Control calorímetro 10

T. estable
Energía



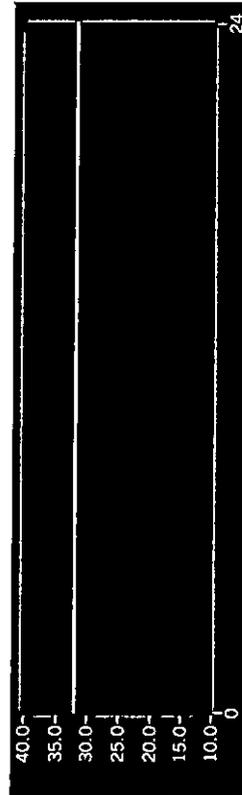
Real
Consigna
MANUAL

Kc
Ti
Td



Real
Consigna
MANUAL

Kc
Ti
Td



Real
Consigna
MANUAL

Kc
Ti
Td

OFF

CONCLUSIONES

El desarrollo de esta tesis se basa en un problema que existió en la empresa Electrolux, ya que en dicha empresa se requiere controlar ciertas variables del sistema de refrigeración (presión de descarga, presión de succión y temperatura de la botella), con el fin de hacer pruebas a un mayor número de compresores en un menor tiempo, para comprobar la eficiencia de los mismos, con esto se obtiene un proceso con mayor control en las variables consideradas y en consecuencia un sistema eficiente.

Para este problema se tuvieron que conjuntar el conocimiento de varias ramas de la ingeniería, como son: mecánica, eléctrica, control, etc. Además de la experiencia del personal encargado en el desarrollo de este proyecto.

Antes de que se automatizara el sistema, las pruebas a los compresores se llevaban a cabo mediante la toma de lecturas en intervalos de tiempo relativamente grandes debido, principalmente, a que el sistema tardaba mucho tiempo en estabilizarse en los valores deseados y el tipo de control no era flexible ni fácil de usar. En consecuencia de esto se podría decir que el sistema no era eficiente ni estable, por requerir personal dedicado en ciertas actividades, como son: toma de lecturas, manejo de válvulas, control de la temperatura, etcétera.

De acuerdo al análisis que se realizó, el sistema debió de implementarse mediante la instrumentación virtual, que se conforma de una computadora personal, una tarjeta multifunción y un programa para la operación, esta decisión fue tomada principalmente por tener un mayor número de ventajas sobre los otros sistemas, entre las cuales se pueden mencionar:

1. No requiere personal dedicado por ser un sistema retroalimentado, ya que considera la señal de error.
2. Las lecturas pueden ser almacenadas en una base de datos.
3. Las lecturas tienen mayor precisión.
4. El tiempo para la estabilización de los valores requeridos es menor.
5. Se tiene un mayor dominio de las variables en el sistema.
6. Se puede escalar el sistema.
7. La implementación es relativamente sencilla.
8. Se conoce el funcionamiento del sistema de control.
9. La programación se puede hacer en cualquier lenguaje.
10. No requiere demasiadas piezas adicionales.
11. El número de pruebas a los compresores aumenta en gran cantidad.

Cabe señalar que durante el desarrollo se encontraron diferentes problemas de tipo secundario, ya que las limitaciones que existieron para implementar este tipo de controlador fueron en su mayoría de tipo ambiental, entre las cuales podemos citar: el medio donde se encuentran los dispositivos, como la computadora, ya que no es factible colocarla en un lugar con temperatura alta. Las servoválvulas que deberán contar con un mantenimiento periódico para evitar el problema de corrosión ya que este disminuiría el flujo de refrigerante y por consiguiente, la eficiencia del compresor se verá afectada, por otro lado, causas externas al mecanismo de control, como son: corrosión en las tuberías, el control del flujo del agua en el condensador, etc., este tipo de problemas causarán una baja en la eficiencia del controlador, debido principalmente a la retroalimentación del refrigerante y estos podrán ser resueltos con un mantenimiento preventivo y correctivo en el tiempo recomendado.

Hoy en día las industrias deben de crecer al ritmo que demanden las sociedades por lo cual requieren sistemas más rápidos y eficientes en cuanto a la producción y pruebas de liberación de los productos, garantizando con esto productos de calidad. Esto pondrá a la automatización como el objetivo común debido, principalmente, al crecimiento de las industrias. Esto se lleva a cabo mediante varios procesos los cuales, de acuerdo a la situación geográfica en que se encuentran y las influencias de los países desarrollados, se podrá contar con la tecnología necesaria para ello.

Es primordial saber que el presupuesto con que cuenta cada una de las industrias dará pauta al tipo de controladores que se empleen en los procesos de producción.

GLOSARIO.

Calor específico. El calor específico de una sustancia es su capacidad relativa de absorber calor tomando como base la unidad de agua pura, y se define como la cantidad de kilo - calorías (BTU) necesarias para aumentar la temperatura de un kilogramo (libra) de cualquier sustancia 1°C (1°F).

Calor latente de evaporación. Para cambiar una sustancia de líquido a vapor y de vapor a líquido se requiere calor latente de evaporación. Puesto que la ebullición es sólo un proceso acelerado de evaporación, este calor también puede llamarse calor latente de ebullición, calor latente de evaporación, o, para el proceso contrario, calor latente de condensación.

Calor latente de fusión. El cambio de una sustancia de sólida a líquida o de líquida a sólida requiere calor latente de fusión. Este también puede llamarse calor latente de licuefacción o calor latente de congelación.

Calor latente de sublimación. El proceso de sublimación es el cambio directo de un sólido a un vapor sin pasar por el estado líquido, que puede ocurrir en algunas sustancias. El calor latente de sublimación es igual a la suma del calor latente de fusión y el calor latente de evaporación.

Calor latente. El calor latente es el que se necesita para cambiar un sólido en líquido, o un líquido en gas sin variar la temperatura de la sustancia. La palabra latente significa "oculto", o sea que este calor requerido para cambiar el estado de una sustancia, no es percibido por los sentidos.

Calor sensible. El calor sensible se define como el calor que provoca un cambio de temperatura en una sustancia. En otras palabras, es el calor que puede percibirse por medio de los sentidos.

Cambio de estado. La mayoría de las sustancias pueden existir en estado sólido, líquido o gaseoso, dependiendo de su temperatura y a la presión a la que se encuentran expuestas. El calor puede cambiar la temperatura y el

estado de las sustancias y también puede ser absorbido aún cuando no exista cambio de temperatura, como cuando un sólido cambia a líquido o cuando un líquido se transforma en vapor. Cuando el vapor se vuelve líquido, o cuando el líquido vuelve a transformarse en sólido, se disipa la misma cantidad de calor.

Debido a la gran cantidad de calor latente que interviene en la evaporación y en la condensación, la transmisión de calor puede ser muy eficiente mediante este proceso. Los mismos cambios de estado que afectan al agua se aplican también a cualquier líquido aunque a diferentes presiones y temperaturas.

La absorción de calor para cambiar un líquido a vapor y la substracción de este calor para condensar nuevamente el vapor, es la clave para todo el proceso de la refrigeración mecánica y la transmisión del calor latente requerido, es el instrumento básico de la refrigeración.

Control. Es medir, comparar y/o corregir el valor de la variable controlada del sistema.

Entalpía. Es la energía almacenada por la temperatura y la presión.

Líquidos subenfriados. Cualquier líquido que tenga una temperatura inferior a la temperatura de saturación correspondiente a la presión existente, se dice que se encuentra subenfriado.

Refrigeración mecánica es la utilización de componentes mecánicos arreglados en un sistema de refrigeración, con el propósito de transferir calor. El ciclo de refrigeración se basa en el ciclo de que un líquido al expandirse a gas extrae calor del área a su alrededor.

Refrigeración o enfriamiento. Es la remoción de calor no deseado desde espacios u objetos seleccionados y su transferencia a otros espacios y objetos. La remoción del calor baja la temperatura y puede ser llevada a cabo mediante el uso de hielo, nieve, agua fría o refrigeración mecánica.

Refrigerantes. Son compuestos químicos que son alternativamente comprimidos y condensados a la fase líquida y luego se les permite expandir a vapor o gas; cuando son bombeados a través del sistema o ciclo de

refrigeración mecánica. Los refrigerantes se evaporan o "hierven" a mucha más baja temperatura que el agua.

Servosistema o servomecanismo. Se le llama así a un sistema de control retroalimentado en el que la salida es algún elemento mecánico, sea posición, velocidad o aceleración.

Sistemas. Es una combinación de componentes que actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo. Un sistema no está limitado a objetivos físicos. Puede aplicarse a fenómenos dinámicos abstractos, físicos, biológicos, económicos y otros.

Temperatura de saturación. Saturación es la condición de temperatura y presión en la cual el líquido y el vapor pueden existir simultáneamente. Un líquido o vapor está saturado cuando está en su punto de ebullición. A presiones más altas la temperatura de saturación aumenta, y disminuye a temperaturas más bajas.

Vapor sobrecalentado. Cuando un líquido cambia a vapor, cualquier cantidad adicional de calor aumentará su temperatura (calor sensible), siempre y cuando la presión a la que se encuentre expuesto se mantenga constante. El término vapor sobrecalentado se emplea para denominar un gas cuya temperatura se encuentre arriba de su punto de ebullición o saturación.

APÉNDICE



JFET Input Operational Amplifiers

These low-cost JFET input operational amplifiers combine two state-of-the-art linear technologies on a single monolithic integrated circuit. Each internally compensated operational amplifier has well matched high voltage JFET input devices for low input offset voltage. The BIFET technology provides wide bandwidths and fast slew rates with low input bias currents, input offset currents, and supply currents.

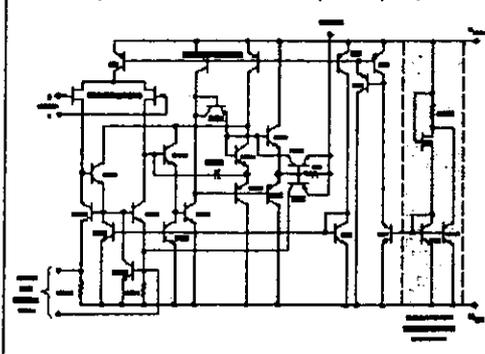
These devices are available in single, dual and quad operational amplifiers which are pin-compatible with the industry standard MC1741, MC1458, and the MC3403/LM324 bipolar products.

- Input Offset Voltage Options of 6.0 mV and 15 mV Max
- Low Input Bias Current: 30 pA
- Low Input Offset Current: 5.0 pA
- Wide Gain Bandwidth: 4.0 MHz
- High Slew Rate: 13 V/μs
- Low Supply Current: 1.4 mA per Amplifier
- High Input Impedance: $10^{12} \Omega$

ORDERING INFORMATION

Op Amp Function	Device	Operating Temperature Range	Package
Single	TL081CD	$T_A = 0^\circ \text{ to } +70^\circ \text{C}$	SO-8
	TL081ACP		Plastic DIP
Dual	TL082CD	$T_A = 0^\circ \text{ to } +70^\circ \text{C}$	SO-8
	TL082ACP		Plastic DIP
Quad	TL084CN, ACN	$T_A = 0^\circ \text{ to } +70^\circ \text{C}$	Plastic DIP

Representative Circuit Schematic (Each Amplifier)



Order this document by TL081CD

TL081C,AC
TL082C,AC
TL084C,AC

JFET INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

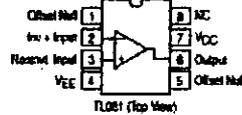


P SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 676



D SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 751 (SO-8)

PIN CONNECTIONS



TL081 (Top View)

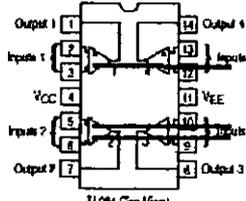


TL082 (Top View)



N SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 646

PIN CONNECTIONS



TL084 (Top View)

TL081C,AC TL082C,AC TL084C,AC

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V _{CC} V _{EE}	18 -18	V
Differential Input Voltage	V _{IO}	±30	V
Input Voltage Range (Note 1)	V _{IQR}	±15	V
Output Short Circuit Duration (Note 2)	t _{SC}	Continuous	
Power Dissipation	P _D θ _{JQA}	680 10	mW mW/°C
Operating Ambient Temperature Range	T _A	0 to +70	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150	°C

NOTES: 1. The magnitude of the input voltage must not exceed the magnitude of the supply voltage or 18 V, whichever is less.
 2. The output may be shorted to ground or other supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that power dissipation ratings are not exceeded.
 3. PSD data available upon request.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 15 V, V_{EE} = -15 V, T_A = T_{typ} to T_{high} (Note 1))

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Input Offset Voltage (R _g ≤ 10 k, V _{CM} = 0) TL081C, TL082C TL084C TL084C,AC	V _{IO}	-	-	20 20 7.5	mV
Input Offset Current (V _{CM} = 0) (Note 2) TL081C TL084C,AC	I _{IO}	-	-	5.0 3.0	nA
Input Bias Current (V _{CM} = 0) (Note 2) TL081C TL084C,AC	I _{IB}	-	-	10 7.0	nA
Large-Signal Voltage Gain (V _O = ±10 V, R _L ≥ 2.0 k) TL081C TL084C,AC	A _{VOL}	15 25	-	-	V/mV
Output Voltage Swing (Peak-to-Peak) (R _L ≥ 10 k) (R _L ≥ 2.0 k)	V _O	24 20	-	-	V

NOTES: 1. T_{low} = 0°C for TL081C,AC T_{high} = 70°C for TL081AC, TL082AC,AC, TL084AC,AC, TL084C,AC, TL084C,AC.
 2. Input bias currents of JFET input op amp approximately double for every 10°C rise in Junction Temperature as shown in Figure 3. To maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible, pulse techniques must be used during testing.

Figure 1. Unity Gain Voltage Follower

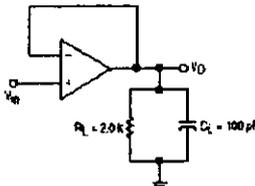
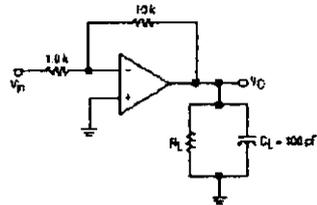


Figure 2. Inverting Gain of 10 Amplifier



TL081C,AC TL082C,AC TL084C,AC

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{EE} = -15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted)

Characterization	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Input Offset Voltage ($R_S \leq 10\text{ k}$, $V_{CM} = 0$) TL081C, TL082C TL084C TL084AC	V_{IO}	-	5.0 5.0 3.0	15 15 6.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $R_S = 50\ \Omega$, $T_A = T_{low}$ to T_{high} (Note 1)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	10	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current ($V_{CM} = 0$) (Note 2) TL081C TL084AC	I_{IO}	-	5.0 5.0	200 100	μA
Input Bias Current ($V_{CM} = 0$) (Note 2) TL081C TL084AC	I_B	-	30 30	400 200	μA
Input Resistance	r_i	-	10^{12}	-	Ω
Common Mode Input Voltage Range TL081C TL084AC	V_{ICR}	± 10 ± 11	15, -12 15, -12	-	V
Large Signal Voltage Gain ($V_O = \pm 10\text{ V}$, $R_L \geq 2.0\text{ k}$) TL081C TL084AC	A_{VOL}	25 50	160 150	-	V/mV
Output Voltage Swing (Peak-to-Peak) ($R_L = 10\text{ k}$)	V_O	24	28	-	V
Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 10\text{ k}$) TL081C TL084AC	CMRR	70 80	100 100	-	dB
Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S \leq 10\text{ k}$) TL081C TL084AC	PSRR	70 80	100 100	-	dB
Supply Current (Each Amplifier)	I_D	-	1.4	2.8	mA
Unity Gain Bandwidth	BRV	-	4.0	-	MHz
Slew Rate (See Figure 1) $V_{in} = 10\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}$, $C_L = 100\text{ pF}$	SR	-	13	-	V/ μs
Rise Time (See Figure 1)	t_r	-	0.1	-	μs
Overshoot ($V_{in} = 20\text{ mV}$, $R_L = 2.0\text{ k}$, $C_L = 100\text{ pF}$)	OS	-	10	-	%
Equivalent Input Noise Voltage $R_S = 100\ \Omega$, $f = 1000\text{ Hz}$	e_n	-	25	-	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
Channel Separation $A_v = 100$	CS	-	120	-	dB

NOTE: 1. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ for TL081AC, TL082AC, TL084AC, TL084AC; $T_{high} = 70^\circ\text{C}$ for TL081AC, TL082AC, TL084AC, TL084AC.

2. Input Bias currents of JFET input of amps approximately double for every 10°C rise in Junction Temperature as shown in Figure 3. To maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible, pulse techniques must be used during testing.

TL081C, AC TL082C, AC TL084C, AC

Figure 2. Input Bias Current versus Temperature

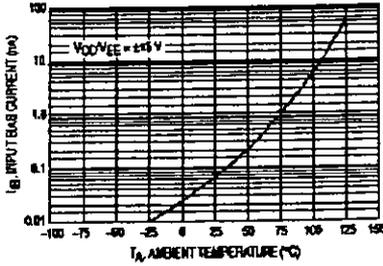


Figure 4. Output Voltage Swing versus Frequency

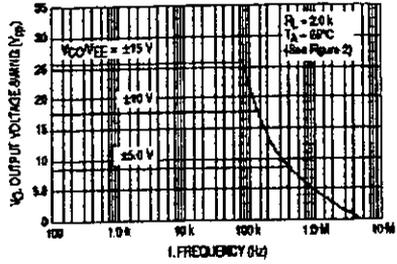


Figure 5. Output Voltage Swing versus Load Resistance

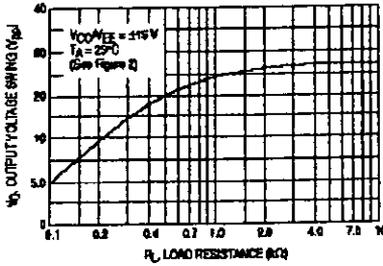


Figure 6. Output Voltage Swing versus Supply Voltage

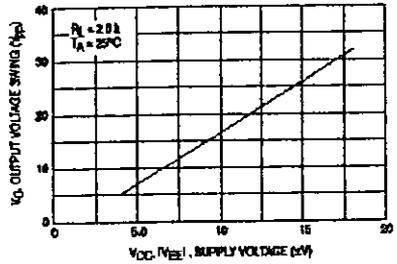


Figure 7. Output Voltage Swing versus Temperature

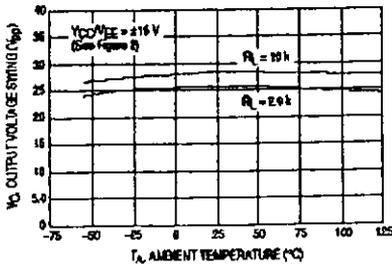
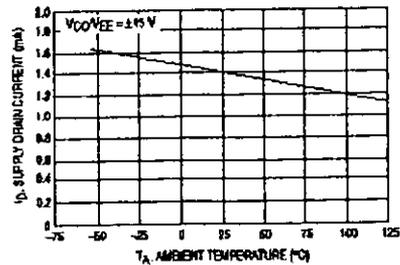


Figure 8. Supply Current per Amplifier versus Temperature



TL081C,AC TL082C,AC TL084C,AC

Figure 9. Large Signal Voltage Gain and Phase Shift versus Frequency

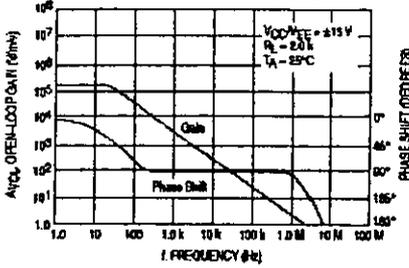


Figure 10. Large Signal Voltage Gain versus Temperature

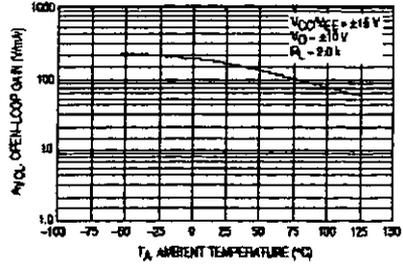


Figure 11. Normalized Slew Rate versus Temperature

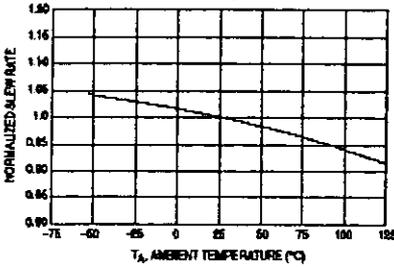


Figure 12. Equivalent Input Noise Voltage versus Frequency

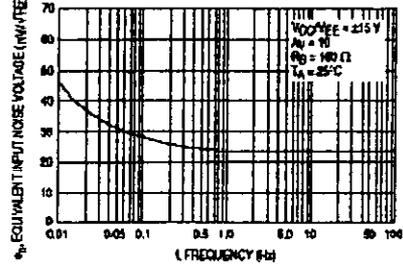
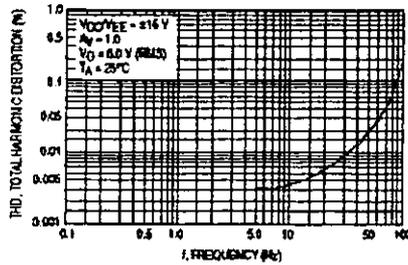
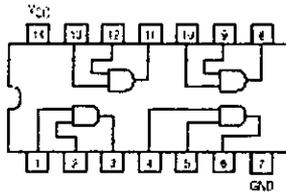


Figure 13. Total Harmonic Distortion versus Frequency





QUAD 2-INPUT AND GATE



SN54/74LS08

**QUAD 2-INPUT AND GATE
LOW POWER SCHOTTKY**



**J SUFFIX
CERAMIC
CASE 607-01**



**N SUFFIX
PLASTIC
CASE 646-01**



**D SUFFIX
SOIC
CASE 751A-02**

ORDERING INFORMATION

SN54LS08J Ceramic
SN74LS08N Plastic
SN74LS08D SOIC

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	5.4 7.4	4.5 1.75	5.0 9.0	V
T _a	Operating Ambient Temperature Range	54 74	-55 0	25 75	°C
I _{OL}	Output Current — High	54, 74		-0.4	mA
I _{OH}	Output Current — Low	54 74		1.0 8.0	mA

FAST AND L.S. TTL DATA

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

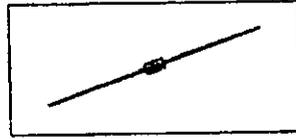
1N4001
thru
1N4007

GENERAL-PURPOSE RECTIFIERS

... subminiature size, axial lead mounted rectifiers for general-purpose low-power applications

LEAD MOUNTED
SILICON RECTIFIERS

50-1000 VOLTS
DIFFUSED JUNCTION



3

***MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage (Half-Wave Rect. Reverse Voltage)	V_{RRM}	50	100	200	400	400	800	1000	Volts
DC Blocking Voltage	V_R	—	—	—	—	—	—	—	—
Non-Repetitive Peak Reverse Voltage (Maximum surge phase @ 100 Hz)	V_{RRM}	100	200	400	720	1000	1700	2000	Volts
Peak Reverse Voltage	V_{RM}	75	150	300	600	600	1200	1500	Volts
Average Rectified Forward Current (single phase, 100% duty cycle @ $T_J = 75^\circ\text{C}$)	I_O	1.0							Amps
Non-Repetitive Peak Surge Current (single phase, 100% duty cycle @ $T_J = 75^\circ\text{C}$)	I_{FSM}	30 (for 1 cycle)							Amps
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{STG}	-65 to +175							$^\circ\text{C}$

***ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

Characteristic and Conditions	Symbol	Typ	Max	Unit
Maximum Instantaneous Forward Voltage Drop ($I_F = 1.0$ Amp, $T_J = 75^\circ\text{C}$) Figure 1	V_F	0.93	1.1	Volts
Maximum Full-Cycle Average Forward Voltage Drop ($I_O = 1.0$ Amp, $T_J = 75^\circ\text{C}$, 1 cycle surge)	V_{FAV}	—	0.8	Volts
Maximum Reverse Current (single phase, 100% duty cycle @ $T_J = 75^\circ\text{C}$)	I_R	1.0	2.0	μA
Maximum Full-Cycle Average Reverse Current ($I_R = 1.0$ amp, $T_J = 75^\circ\text{C}$, 1 cycle surge)	I_{RAV}	—	30	μA

MECHANICAL CHARACTERISTICS

CASE: Translucent Plastic

MAXIMUM LEAD TEMPERATURE FOR SOLDERING PURPOSES: 350 C, 3.0" from case for 10 seconds at 5 lbs. tension

FINISH: All external surfaces are corrosion-resistant; leads are readily solderable

POLARITY: Cathode indicated by color band

WEIGHT: 0.00 Grams (approximate)

NOTES

- ALL DIMENSIONS AND NOTES ASSOCIATED WITH JEDEC CASE 01-41 OUTLINE SHALL APPLY
- POLARITY DENOTED BY CATHODE BAND
- LEAD 2 AMP (TA) NOT CONTROLLED WITH A DIMENSION

DIM		MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	1.97	5.73	0.390	2.25	
B	2.04	2.11	0.390	0.390	
C	2.11	0.86	0.083	0.034	
D	—	1.27	—	0.250	
E	2.73	—	1.00	—	

CASE 58-43
01-41
PLASTIC

AN780A
Applications of the MOC3011 Triac Driver

 Prepared by:
 Pat O'Neil

DESCRIPTIONS OF THE MOC3011
Construction

The MOC3011 consists of a gallium arsenide infrared LED optically exciting a silicon detector chip, which is specially designed to drive triac controlling loads on the 115 Vac power line. The detector chip is a complex device which functions in much the same manner as a small triac, generating the signals necessary to drive the gate of a larger triac. The MOC3011 allows a low power exciting signal to drive a high power load with a very small number of components, and at the same time provides practically complete isolation of the driving circuitry from the power line.

Basic Electrical Description

The GaAs LED has nominal 1.3 V forward drop at 10 mA and a reverse breakdown voltage greater than 3 V. The maximum current to be passed through the LED is 50 mA.

The detector has a minimum blocking voltage of 250 Vdc in either direction in the off state. In the on state, the detector will pass 100 mA in either direction with less than 3 V drop across the device. Once triggered into the on (conducting) state, the device will remain there until the current drops below the holding current (typically 100 μ A) at which time the detector returns to the off (non-conducting) state. The detector may be triggered into the on state by exceeding the forward blocking

voltage by voltage ramps across the detector at rates exceeding the static dv/dt rating, or by photons from the LED. The LED is guaranteed by the specifications to trigger the detector into the on state when 10 mA or more is passed through the LED. A similar device, the MOC3010, has exactly the same characteristics except it requires 15 mA to trigger.

Since the MOC3011 looks essentially like a small optically triggered triac, we have chosen to represent it as shown on Figure 1.

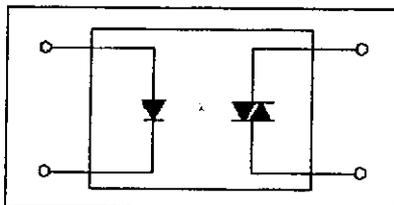


Figure 1. Schematic Representation
of MOC3011 and MOC3010

AN780A
Applications of the MOC3011 Triac Driver

 Prepared by:
 Pat O'Neil

DESCRIPTIONS OF THE MOC3011
Construction

The MOC3011 consists of a gallium arsenide infrared LED optically exciting a silicon detector chip, which is especially designed to drive triacs controlling loads on the 115 Vac power line. The detector chip is a complex device which functions in much the same manner as a small triac, generating the signals necessary to drive the gate of a larger triac. The MOC3011 allows a low power exciting signal to drive a high power load with a very small number of components, and at the same time provides practically complete isolation of the driving circuitry from the power line.

Basic Electrical Description

The GaAs LED has nominal 1.3 V forward drop at 10 mA and a reverse breakdown voltage greater than 3 V. The maximum current to be passed through the LED is 50 mA.

The detector has a minimum blocking voltage of 250 Vdc in either direction in the off state. In the on state, the detector will pass 100 mA in either direction with less than 3 V drop across the device. Once triggered into the on (conducting) state, the detector will remain there until the current drops below the holding current (typically 100 μ A) at which time the detector reverts to the off (non-conducting) state. The detector may be triggered into the on state by exceeding the forward blocking

voltage by voltage ramps across the detector at rates exceeding the static dv/dt rating, or by photons from the LED. The LED is guaranteed by the specifications to trigger the detector into the on state when 10 mA or more is passed through the LED. A similar device, the MOC3010, has exactly the same characteristics except it requires 15 mA to trigger.

Since the MOC3011 looks essentially like a small optically triggered triac, we have chosen to represent it as shown on Figure 1.

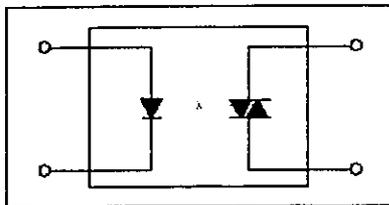


Figure 1. Schematic Representation
 of MOC3011 and MOC3010

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

1N821, A 1N823, A
1N825, A 1N827, A
1N829, A

Designer's Data Sheet

TEMPERATURE-COMPENSATED ZENER REFERENCE DIODES

Temperature-compensated zener reference diodes utilizing a novel patented junction for long-term voltage stability. Arranged, glass-encased, hermetically sealed structure.

Designer's Data for "Short-Cost" Conditions

The Designer's Data Sheet permits the design of most circuits directly from the information presented. Limit data — representing design characteristic boundaries — are given to facilitate "worst-case" design.

4

MAXIMUM RATINGS

Junction Temperature: 65 to +175°C
Storage Temperature: -55 to +125°C
DC Power Dissipation: 400 mW @ T_A = 25°C

MECHANICAL CHARACTERISTICS

CASE: Hermetically sealed, 40-pin
DIMENSIONS: See outline drawing.
FINISH: All external surfaces are corrosion resistant and meet the quality standards listed elsewhere.
POLARITY: Cathode indicated by square spot.
HEIGHT: 0.2 Grows tapered.
MOUNTING POSITION: Any.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted.
V_Z = 6.2 V ± 0.05% @ I_{ZT} = 7.5 mA)**

JEDC Type No.	Maximum Voltage Change ΔV _Z (V/yr) (Note 1)	Ambient Temp. Temperature 25°C	Temperature Coefficient %/°C (Note 1)	Maximum Dynamic Impedance Z ₀ (Note 2)
1N821	0.008	65, 75, +75, +100	0.01	10
1N823	0.008		0.005	
1N825	0.010	75, +75, +100	0.005	10
1N827	0.008		0.001	
1N829	0.008		0.005	
1N821A	0.005		0.01	
1N823A	0.005		0.005	
1N827A	0.005		0.001	
1N829A	0.005		0.005	

*Typical reference errors available on special request.

TEMPERATURE-COMPENSATED SILICON ZENER REFERENCE DIODES
6.2 V, 400 mW



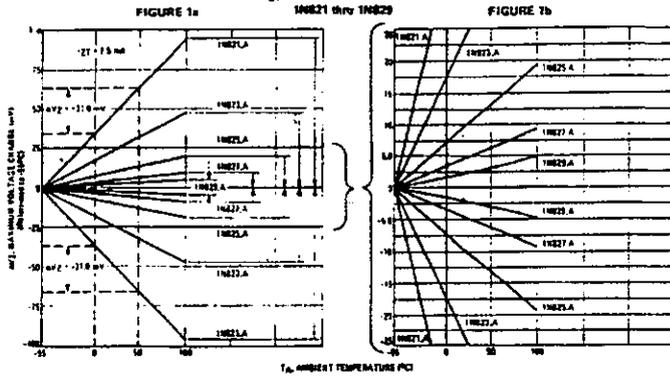
DIMENSIONS		MATERIALS	
SYMBOL	UNIT	SYMBOL	UNIT
1	IN	1	IN
2	IN	2	IN
3	IN	3	IN
4	IN	4	IN
5	IN	5	IN
6	IN	6	IN
7	IN	7	IN
8	IN	8	IN
9	IN	9	IN
10	IN	10	IN

SEE JEDEC DRAWINGS FOR OTHER TYPES
CASE 359-02
DO-35/AN
CLASS

1N821, A, 1N823, A, 1N825, A, 1N827, A, 1N829, A

MAXIMUM VOLTAGE CHANGE versus AMBIENT TEMPERATURE

with $I_Z = 7.5 \text{ mA} \pm 0.01 \text{ mA}$ (See Note 3)
1N821 thru 1N829



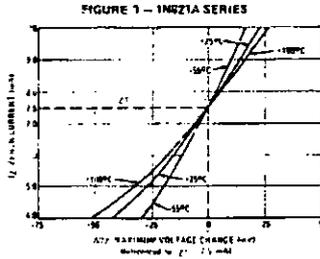
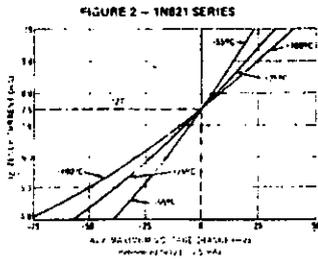
4

ZENER CURRENT versus MAXIMUM VOLTAGE CHANGE

(At Specified Temperature)

(See Note 4)

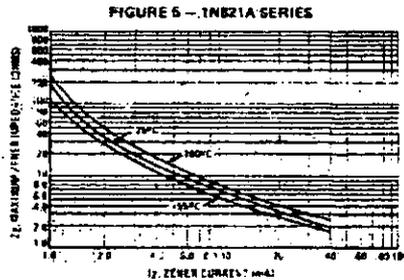
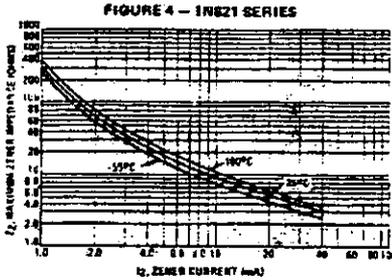
MORE THAN 95% OF THE UNITS ARE IN THE RANGES INDICATED BY THE CURVES



1N821, A, 1N823, A, 1N825, A, 1N827, A, 1N829, A

MAXIMUM ZENER IMPEDANCE versus ZENER CURRENT

MORE THAN 95% OF THE UNITS ARE IN THE RANGE AS INDICATED BY THE CURVES



NOTE 1:

Voltage Variation (ΔV_Z) and Temperature Coefficient.
 All reference diodes are characterized by the "box method". This guarantees a maximum voltage variation (ΔV_Z) over the specified temperature range, at the specified test current (I_Z), verified by tests at indicated temperature values within the range. V_Z is measured and recorded at each temperature specified. The ΔV_Z between the highest and lowest values must not exceed the maximum ΔV_Z given. This method of indicating voltage stability is now used for JEDEC registration as well as for military qualification. The former method of indicating voltage stability — by means of temperature coefficient — accurately reflects the voltage deviation at the temperature extremes, but is not necessarily adequate within the temperature range because reference diodes have a nonlinear temperature relationship. The temperature coefficient, therefore, is given only as a reference.

NOTE 2:

The dynamic zener impedance, Z_{ZT} , is derived from the 50-Hz ac voltage drop which results when an ac current with an rms value equal to 10% of the dc zener current, I_Z , is superimposed on I_Z . Curves showing the variation of zener impedance with zener current for each series are given in Figures 4 and 5.

NOTE 3:

These graphs can be used to determine the maximum voltage change of any device in the series over any specific temperature range. For example, a temperature change from 0 to +50°C will cause a voltage change no greater than -31 mV for 1N821 or 1N821A, as illustrated by the dashed lines in Figure 1. The boundaries given are minimum values. For greater resolution, an expanded view of the shaded area in Figure 1 is shown in Figure 1b.

NOTE 4:

The maximum voltage change, ΔV_Z , Figures 2 and 3 is due, or due solely to the impedance of the device, if both temperature and I_Z are varied, then the total voltage change may be obtained by graphically adding ΔV_Z in Figure 2 or 3 to the ΔV_Z in Figure 1 for the diode under consideration. If the diode is to be compared to other similar diodes other than the specified test current, a new set of characteristics may be plotted by superimposing the data in Figure 2 or 3 on Figure 1. For a more detailed explanation see AN-437 (Application Note).

4

RF LOW-POWER SILICON NPN

Item Number	Part Number	Manufacturer	V(BR)CEO (V)	f _T (Hz)	f _{max}	I _C Max (A)	P _{CEM} Max (W)	I _{CEO} Max (A)	V _{CE} Max (V)	V _{CE} Max (V)	P _O Max (W)	Package Style	Pinout See Appendix B
V(BR)CEO >= 30 V. (Cont'd)													
	BC248	Harv Sem	30	300M	75	100m	2.5p	15n			300m	TO-236	3-14
	BC348	Shaw	30	100M	125	100m	2.5p	15n			300m	TO-236	3-14
	CL331	Com'l Dev	30	300M	104	200m	2.8p	25n			300m	TO-18	3-12
	CL332	Com'l Dev	30	350M	790	200m	2.0p	25n			300m	TO-18	3-12
	25C1283	Com'l Dev	30	250M	450	200m	3.0p	25n			300m	TO-18	3-12
	25C1284	Com'l Dev	30	200M	80	20m	350f	100n			250m	TO-92	3-14
	25C1619	Room Corp	32	100M	82	2.0	50p				600m	SIP	3-13
	25C4040	Room Corp	32	50M	82	1.0	75p				600m	SIP	3-13
	25C4012	Room Corp	32	250M	54	100m	1.0p				300m	SOT-23	3-12
	25C4134	Room Corp	32	250M	54	100m	1.0p				300m	TO-236	3-12
	25C4128	Room Corp	32	250M	64	100m	1.0p				300m	TO-236	3-12
	25C4018	Room Corp	32	250M	67	500m	6.2p				400m	SIP	3-13
	25C4017	Room Corp	32	250M	82	300m	6.2p				400m	SIP	3-13
	25C1612M	Room Corp	32	250M	390	300m	6.2p				300m	TO-106	3-12
	CL101	Com'l Dev	32	200M	40	200m	6.0p	100n			200m	TO-106	3-12
	CL707	Com'l Dev	32	300M	100	200m	8.0p	100n			200m	TO-106	3-12
	BCW51	Harv Sem	32	300M	110	100m	4.0p	100n			200m	SOT-23	3-12
	BCW52	Harv Sem	32	300M	200	200m	4.0p	100n			200m	SOT-23	3-12
	CL703	Com'l Dev	32	300M	250	200m	8.0p	100n			200m	SOT-23	3-12
	BCW53	Harv Sem	32	300M	250	100m	4.0p	100n			200m	TO-105	3-12
	CL711	Com'l Dev	40	80M	80	800m	8.0p	500n			400m	TO-105	3-12
	CL712	Com'l Dev	40	80M	80	800m	8.0p	500n			400m	TO-105	3-12
	CL772A	Com'l Dev	40	100M	100	600m	8.0p	500n			300m	SOT-40	N/A
	W54420	Harv Sem	40	100M	42	500m	8.0p	30n	25n	60n	300m	TO-236	3-12
	M4812003	Harv Sem	40	200M	32	200m	4.0p	80n	35n	50n	275m	SOT-23	3-14
	794400	Harv Sem	40	200M	32	600m	6.0p	80n	25n	50n	250m	TO-18	3-12
	W4812006	Harv Sem	40	250M	20	600m	4.0p				250m	TO-236	3-14
	UC3121A	Harv Sem	40	250M	20	600m		10n			500m	TO-23	3-12
	UC3121B	Harv Sem	40	250M	20	600m		10n			500m	TO-23	3-12
	W481210A	Harv Sem	40	250M	25	200m	8.0p	10n			350m	TO-236	3-14
	B55198	Harv Sem	40	250M	40	100m	8.0p	10n	10n	60n	300m	TO-18	3-12
	24221A	Space Power	40	250M	63	600m	8.0p	10n	25n	60n	300m	TO-23	3-12
	243803	Harv Sem	40	250M	53	230m	4.0p	90n	35n	50n	260m	TO-23	3-12
	W481211A	Harv Sem	40	250M	60	600m	4.0p	50n			425m	TO-236	3-12
	AS570C	Harv Sem	40	250M	130	100m	8.0p	10n	10n	50n	235m	SOT-23	3-14
	244401	Harv Sem	40	250M	100	600m	6.5p	100n	20n	20n	250m	TO-23	3-12
	UC3221A	Harv Sem	40	275M	40	100m	7.3p	10n	25n	245n	400m	TO-105	3-12
	CL741	Com'l Dev	40	300M	70	500m	8.0p	100n			400m	TO-236	3-12
	M481221A	Harv Sem	40	300M	40	600m	8.0p	10n			350m	TO-236	3-12
	M481221B	Harv Sem	40	300M	40	600m	8.0p	10n			350m	TO-236	3-12
	CL742	Com'l Dev	40	300M	40	500m	8.0p	500n			400m	TO-105	3-12
	B5514	Harv Sem	40	300M	40	600m					310m	SOT-23	3-12
	W481222A	Harv Sem	40	300M	50	600m	8.0p	10n	25n	60n	605m	TO-23	3-12
	M481221	Harv Sem	40	300M	80	1.5	1.0p	1.5n	15n	20n	600m	TO-236	3-12
	M481221	Harv Sem	40	300M	60	1.5	1.0p	1.5n	15n	20n	600m	TO-236	3-12
	M481221	Harv Sem	40	300M	60	1.5	1.0p	1.5n	15n	20n	600m	TO-236	3-12
	P47100A	Space Power	40	300M	100	200m	4.0p	50n	35n	50n	300m	SOT-23	3-12
	243804	Harv Sem	40	300M	100	200m	1.0p	80n	35n	50n	300m	TO-23	3-12
	CL743	Com'l Dev	40	300M	100	500m	8.0p	10n			400m	TO-236	3-12
	M481222A	Harv Sem	40	300M	100	600m	8.0p	10n	25n	60n	625m	TO-236	3-12
	ATE7400	NTE Spec	40	300M	100	600m	3.0p	10n	25n	285n	340m	TO-23	3-12
	UC3222A	Harv Sem	40	350M	15	100m	5.0p	300m			300m	TO-236	3-12
	M4813013	Harv Sem	40	350M	25	100m	5.0p	300m			300m	TO-236	3-12
	243814	Harv Sem	40	350M	25	100m	5.0p	300m			300m	TO-236	3-12
	M4813014	Harv Sem	40	350M	25	100m	5.0p	300m			300m	TO-236	3-12
	BF641	Harv Sem	40	380M	65	25m	0.30	100n			280m	SOT-23	3-12
	BF640	Harv Sem	40	380M	65	25m	0.30	100n			280m	SOT-23	3-12
	BF641	Harv Sem	40	400M	75	25m	100n	20n			300m	TO-23	3-12
	BF640	Harv Sem	40	400M	65	25m	100n	20n			300m	TO-23	3-12
	M4813063	Harv Sem	45	200M	40	25m	100n	100n			150m	TO-436	3-17
	244454	Space Power	45	200M	40	200m	3.8p	100n			100m	TO-23	3-12
	M4813064	Harv Sem	45	200M	100	600m	6.0p	30n			350m	TO-236	3-12
	244435	Space Power	45	200M	100	200m	7.5p	100n			300m	TO-23	3-12
	BCX19	Harv Sem	45	250M	100	500m	5.5p	100n			425m	SOT-23	3-12
	BC1171B	Com'l Dev	45	200M	100	500m	6.0p	100n			300m	SOT-23	3-12
	CL147	Com'l Dev	45	200M	110	200m	6.0p	50n			200m	TO-106	3-12
	CL147A	Com'l Dev	45	200M	110	200m	6.0p	50n			200m	TO-106	3-12
	BC187-25	Harv Sem	45	200M	160	500m	5p	100n			300m	SOT-23	3-12
	CL147B	Com'l Dev	45	200M	200	500m	10p	100n			300m	SOT-23	3-12
	BC187-43	Harv Sem	45	250M	75	4.5p	50n				180m	TO-236	3-12
	M481101	Harv Sem	45	250M	100	100m	4.5p	50n			150m	TO-236	3-12
	M481100	Harv Sem	45	250M	100	100m	4.5p	50n			150m	TO-236	3-12
	M481100A	Harv Sem	45	250M	300	4.5p	50n				150m	TO-236	3-12
	BCW50	Harv Sem	45	300M	75	100m	2.5p	15n			300m	TO-236	3-14
	BCW47	Harv Sem	45	300M	110	100m	2.5p	15n			300m	TO-236	3-14
	BCW51	Harv Sem	45	300M	125	100m	2.5p	15n			300m	TO-236	3-14
	BCW47	Harv Sem	45	300M	200	100m	4.0p	50n			350m	SOT-23	3-12
	BCW47	Harv Sem	45	300M	250	100m	4.0p	50n			350m	SOT-23	3-12
	BCW47C	Space Power	45	300M	400	100m	7.5p	5n			100m	TO-23	3-12
	SK3132	Harv Sem	45	500M	50	50m					450m	TO-236	3-12
	40244	Opt Trans	45	700M	20						200m	TO-106	3-12
	40246	Opt Trans	45	700M	20						200m	TO-106	3-12
	40247	Opt Trans	45	700M	40						200m	TO-106	3-12
	40248	Opt Trans	45	700M	40						200m	TO-106	3-12
	40249	Opt Trans	45	700M	70						200m	TO-106	3-12
	40245	Opt Trans	45	700M	70						200m	TO-106	3-12
V(BR)CEO >= 50 V													
	SK3122	Harv Sem	50	200M	150	500m					400m	TO-236	3-12
	SK3127	Harv Sem	50	300M	150	500m	1.0				600m	TO-236	3-12
	NTE2353	NTE Spec	50	250M	20	100m					300m	TO-92	3-15
	NTE2414	NTE Spec	50	250M	30	100m					300m	SOT-23	3-15
	NTE2355	NTE Spec	50	250M	50	100m					400m	TO-236	3-15
	NTE2415	NTE Spec	50	250M	50	100m					400m	SOT-23	3-15
	NTE2356	NTE Spec	50	250M	55	100m					400m	TO-236	3-15
	NTE2417	NTE Spec	50	250M	65	100m					400m	SOT-23	3-15
	25D106C	Room Corp	50	250M	82								

BIBLIOGRAFÍA.

PITA, Edward G.

Principios y sistemas de refrigeración.

Edit. LIMUSA S.A. de C.V.

Ed. Segunda. 497 pp.

DOOSAT, Roy J.

Principios de refrigeración.

Edit. CEC. S.A de C.V.

Ed. Segunda. 594 pp.

Manual de refrigeración y aire acondicionado.

Edit. Prentice Hall

Ed. Primera. 213 pp. Vol. 1.

Manual de refrigeración y aire acondicionado.

Edit. Prentice Hall

Ed. Primera. 323 pp. Vol. 2.

ALARCÓN, Creus José

Tratado práctico de refrigeración automática.

Edit. Alfaomega

Ed. 11ª. 422 pp.

OGATA, Katsuhiko.

Ingeniería de control moderna.

Edit. PRENTICE HALL.

Ed. Segunda. 1020 pp.

RAMSHAW, Raymond.

Electrónica de potencia.

Edit. Boixareu Editores.

Ed. Primera en español. 251 pp.

JARAMILLO Morales Gabriel.

Electricidad y Magnetismo.

Edit. TRILLAS.

Ed. Segunda preedición. 588 pp.

Manual National Semiconductor

Hong Kong, 1995

Manual Motorola

Prentice – Hall

E.E.U.U., 1995