

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

Registro de la Propiedad Industrial



ESPAÑA

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

ES

11

21

22

NUMERO

473382

15. SET. 1978

AI

PATENTE DE INVENCION

<p>60 PRIORIDADES:</p> <p>61 NUMERO</p> <p>816.428</p>	<p>62 FECHA</p> <p>18-7-77</p>	<p>63 PAIS</p> <p>EE.UU.</p>
--	--------------------------------	------------------------------

<p>64 FECHA DE PUBLICIDAD</p>	<p>65 CLASIFICACION INTERNACIONAL</p> <p>G05D; F25B</p>	<p>66 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA</p> <p>Nº 469.558</p>
-------------------------------	---	---

67 TITULO DE LA INVENCION

"UN METODO DE CONTROLAR UN SISTEMA DE REFRIGERACION"

68 SOLICITANTE (S)

BORG-WARNER CORPORATION

(Case 076176-A-BWL- Div.)

DOMICILIO DEL SOLICITANTE

200 S. Michigan Avenue, Chicago, Illinois 60606, Estados Unidos de América.

69 INVENTOR (ES)

Kenneth John Kountz, Richard Alan Erth y Bruce Kenvin Bauman

70 TITULAR (ES)

71 REPRESENTANTE

DON OSCAR DE ELZABURU FERNANDEZ

(P.- 69.717)

lfg

POOR QUALITY

Los sistemas de acondicionamiento de aire de gran capacidad han utilizado compresores centrífugos con álabes o paletas de guía a la entrada del compresor, cuyos álabes se pueden ajustar para regular tanto la dirección (o el "remolino") del gas entrante como también para producir una caída de presión que es una función de la posición de los álabes. Estos álabes, algunas veces denominados álabes de pre-rotación (APR), se ajustan así para variar la capacidad del compresor. En el estado de álabes abiertos del todo (WOV) un pequeño cambio en la posición del álabes no tiene efecto sustancial sobre la capacidad del compresor. Cuando los APR están casi cerrados un ligero cambio tiene un efecto muy sensible sobre la capacidad del compresor y podría incluso llevar el compresor al embalamiento si no se tuviera cuidado de ajustar la posición de las paletas o álabes. Debido a que el control de capacidad cambiando solamente la posición de los APR es un método ineficaz de control de capacidad, se han hecho intentos de regular la capacidad del sistema gobernando sólo la velocidad del motor eléctrico que acciona el compresor. Si se utiliza control de velocidad como único medio de regular la capacidad, el compresor sólo puede ser operado hasta aproximadamente el 70% de su plena carga. Esto es económicamente poco práctico para grandes instalaciones, ya que para períodos sustanciales de tiempo la carga está por debajo del 70% del valor de plena carga.

Por lo tanto, se han hecho varios intentos para combinar el ajuste de los APR con la regulación de la velocidad del motor, que pueden reducir con éxito la carga hasta aproximadamente el 10% de plena carga. Un es-

5 fuerzo anterior importante en este sentido se enseña en la patente norteamericana número 3.335.906, titulada "Sistema de refrigeración que incluye control para variar la velocidad del compresor", la cual ha sido concedida el 5 de diciembre de 1967 y cedida al cesionario del presente invento. En esa disposición, la velocidad del motor fue ajustada como una función de la relación entre la presión de aspiración del compresor y la presión de descarga, y los APR fueron ajustados en relación a una señal obtenida de la temperatura del medio de intercambio de calor en la 10 descarga del evaporador. La mayoría de los esfuerzos similares desde ese tiempo han utilizado la relación de presión del compresor para regular la velocidad del motor, y la obtención de esta información de presión ha demostrado ser difícil y cara en la práctica. Además, se ha visto 15 que la regulación de los álabes de pre-rotación es una función compleja, que no ha sido eficazmente controlada para evitar el embalamiento y proporcionar el funcionamiento más eficiente detectando sólo una única condición variable. 20

25 Por lo tanto, es un objeto primordial del presente invento proporcionar un método de control para regular un sistema de refrigeración, tal como uno que incluye un compresor centrífugo, en el cual no sólo se controla la velocidad del motor y se ajusta la posición de los APR, sino que este control de velocidad y este ajuste de álabes se consiguen en una trayectoria óptima de control con un gasto mínimo de energía.

30 Un aspecto relacionado importante del invento es la provisión de un sistema de control de este tipo

que consigue dicho funcionamiento del sistema efectivo en energía y, al mismo tiempo, evita el embalamiento.

De importancia primordial es la provisión de tal sistema de control, que no sólo es capaz de instalación con nuevo equipo, sino que es también fácilmente instalado en sistemas existentes para conseguir la trayectoria de control óptima mientras evita el embalamiento en estos sistemas.

Todavía otro objeto importante del invento es la linealización de la acción de los APR, mediante un controlador con un ciclo de servicio no lineal para producir un control del sistema más uniforme.

Otro objeto importante del invento es conseguir tal funcionamiento preciso del sistema en un amplio intervalo de cargas sin la necesidad de detectar las presiones del compresor para obtener el valor de la capacidad del compresor.

El método de control del invento es útil para regular un sistema de refrigeración que incluye un compresor, un condensador y un evaporador, todos conectados en un circuito de refrigeración cerrado. Los álabes de guía de entrada están posicionados entre el evaporador y el compresor para regular la capacidad del compresor, y algunos medios, tales como un motor eléctrico, están conectados para ajustar la posición de los álabes de guía de entrada. Unos medios tales como otro motor eléctrico, accionan al compresor. El sistema de control del invento está conectado para regular tanto los medios para ajustar la posición de los álabes de guía como los medios para el accionamiento del compresor. Unos primeros medios de de-

tección de temperatura están situados junto al condensador para proporcionar una primera señal relacionada con la temperatura de condensación del refrigerante y unos segundos medios de detección están situados en el evaporador para proporcionar una segunda señal relacionada con la temperatura de evaporación del refrigerante. Unos medios de sumar están conectados para recibir las señales primera y segunda y para proporcionar una señal resultante que connota la altura o carga hidrostática del compresor. El sistema de control usa la señal resultante para regular el sistema de refrigeración. Unos terceros medios de detección de temperatura están situados junto a la descarga de agua enfriada del evaporador para proporcionar una tercera señal. Unos medios ajustables están previstos en el sistema de control para establecer una señal de punto ajustado de temperatura. También están previstos medios para combinar la tercera señal y la señal del punto ajustado de temperatura para producir otra señal de regulación, para utilizar en el control del sistema de refrigeración.

Según otro aspecto del invento, unos medios adicionales están acoplados a los álabes de guía de entrada para proporcionar una señal eléctrica que indica la posición física de las paletas o álabes de guía de entrada. Están previstos medios para combinar la señal de posición de álabes de guía de entrada con la señal resultante para producir una señal de regulación para usar en la regulación del sistema.

En los dibujos que se acompañan:

La figura 1 es un esquema de bloques que ilustra la incorporación del sistema de control de este invento.

to a un sistema de refrigeración que incluye un compresor centrífugo;

Las figuras 2, 3 y 4 son ilustraciones gráficas útiles para entender el funcionamiento del invento; .:

5 / La figura 5 es un diagrama que muestra las trayectorias de señales principales en el sistema de control del invento;

Las figuras 6A, 6B y 6C son diagramas esquemáticos que, tomados conjuntamente, ilustran los detalles de circuito del sistema de control de este invento;

10 La figura 7 es un gráfico que representa la relación de la capacidad del compresor con la apertura de los APR para diferentes valores de la capacidad;

Las figuras 8A-8F son ilustraciones gráficas útiles en la explicación de un aspecto del invento; y

15 La figura 9 es un gráfico de la dependencia de la velocidad del compresor sobre la posición de los APR, para un valor fijo de la capacidad.

Descripción detallada del invento.

20 La figura 1 representa ciertos componentes convencionales de un sistema de refrigeración, tal como un compresor centrífugo 20 para hacer pasar refrigerante (tal como R-11 u otro medio apropiado) a través de la tubería 21 hasta un condensador 22. En el condensador, el agua  
25 procedente de la torre de enfriamiento pasa desde la tubería 23 al condensador y es devuelta por la tubería 24 a la torre de enfriamiento o a los otros medios de expulsión de calor cuando se usan sistemas diferentes. El refrigerante del lado de descarga del condensador 22 es hecho pa  
30 sar por la tubería 25, a través de un orificio fijo 26, y

la tubería 27 hasta la conexión de entrada de refrigerante del evaporador. El refrigerante pasa a través del evaporador y sale por el conducto 30, que incluye una pluralidad de paletas o álabes 31 de guía de entrada posicionados como se muestra. En esta descripción los álabes de guía de entrada se denominan APR, o álabes de pre-rotación, y la posición de los APR es regulada por un pequeño motor 32 que recibe una señal de control en una pluralidad de conductores, aquí representados por una sola línea 33.

Los expertos en la técnica apreciarán fácilmente que una pluralidad de conductores están representados por las líneas individuales de la figura 1. El agua de temperatura más elevada procedente del edificio (u otra carga de refrigeración) es hecha regresar por la tubería 34, enfriada en el evaporador 28, y el agua enfriada es devuelta al edificio por la tubería 35.

Un motor de inducción 36 está acoplado mediante el árbol 39 al compresor centrífugo 20, y este motor 36 es él mismo activado por un inversor 37. El inversor recibe una tensión de entrada de c.c. por la línea 38, determinando así la amplitud de la tensión de entrada del inversor. Un circuito 40 de control de tensión está dispuesto entre una línea 41 de suministro de tensión y la línea 38 que deja pasar la tensión al inversor. Este puede ser un circuito usual, tal como un circuito rectificador de fase controlada, el cual recibe una tensión de entrada de c.a. por la línea 41 y proporciona una tensión de c.c. por la línea 38 que es regulada de acuerdo con la señal recibida por la línea 42. Si no es necesaria regulación, se puede suministrar una tensión de c.c. por la

línea 38 al inversor desde baterías, un transformador-rec  
tificador o cualquier manantial apropiado. La frecuencia  
de la tensión de salida del inversor es regulada por la  
periodicidad de las señales de temporización, o señales de  
paso discriminado, suministradas por la línea 43 desde un  
circuito lógico 44. Este es un circuito bien conocido que  
recibe una señal de regulación por la línea 45 y utiliza  
esta señal de regulación para gobernar la frecuencia de  
los impulsos suministrados por la línea 43. Una disposi-  
ción bien reconocida recibe una tensión de c.c. como una  
señal de control por la línea 45, y un oscilador controla-  
do por tensión en el circuito lógico 44 proporciona impul-  
sos a una frecuencia determinada por la amplitud de la se-  
ñal en la línea 45. El circuito lógico incluye generalmen-  
te un circuito del tipo de contador de anillo para distri-  
buir los impulsos a tantos tiristores u otros conmutado-  
res como se usen en el circuito inversor.

Según el presente invento, el sistema de con-  
trol 50 es utilizado para regular no sólo la velocidad del  
motor de inducción 36 sino también la posición física de  
los álabes de pre-rotación 31, mediante una señal de con-  
trol de velocidad suministrada por la línea 51 y una señal  
de posición de álabes (que activa la apertura l el cierre)  
suministrada por la línea 33. La disposición de circuito  
del invento asegura que se evite el embalamiento y que el  
compresor sea regulado de la manera más eficiente en cuan-  
to a la energía. En esta realización, la señal de control  
de velocidad es una tensión de c.c. suministrada desde un  
circuito integrador 52 y la señal de control de álabes pue-  
de ser o bien una señal de "álabes abiertos" por la línea

53 o una señal de "alabes cerrados" por la línea 54, o ausencia de señal ("álabes retenidos"). Estas señales de control de salida se derivan de diferentes señales de entrada, incluyendo una primera señal en la línea 55 que es proporcionada por un termistor u otra unidad 56 de detección de temperatura posicionada para establecer contacto con el refrigerante en la tubería de descarga del condensador, según se muestra. Una segunda señal es proporcionada en la línea 57, obtenida de unos segundos medios de detección o termistor 58 que está expuesto al vapor de refrigerante saturado que abandona el evaporador. Las señales primera y segunda se combinan en unos medios de suma 59, que pueden ser un circuito amplificador diferencial, para proporcionar una señal resultante en la línea 60 que connota la carga hidrostática del compresor. Los medios de circuito en el sistema de control que utiliza esta señal, y las otras señales de entrada, se describirán a continuación en relación con las figuras 6A a 6C. Por el momento es importante señalar que la existencia de la información de la capacidad del compresor a partir de esta simple determinación de la diferencia de temperaturas en un aspecto importante del presente invento. Sin apreciar que la altura hidrostática o piezométrica del compresor es virtualmente una función lineal de esta diferencia de temperaturas, transductores de presión más caros tendrían que ponerse en o junto al propio compresor para proporcionar alguna señal relacionada con la altura hidrostática del compresor. Por lo tanto, la realización en la que la capacidad del compresor puede deducirse de esta manera es una parte importante de la contribución inventiva.

Un potenciómetro 61 está mostrado con su brazo o toma movable acoplado mecánicamente a los APR, o al árbol de salida del motor 32 que acciona los APR. Así, la señal eléctrica de la línea 62 indica la posición física (completamente abiertos, 3/4 abiertos, etc.) de los álabes de guía de entrada de una manera continua. A continuación se describirá el circuito que combina esta señal de la posición de los álabes de guía de entrada con la señal de indicación de altura o carga hidrostática del compresor para ayudar en la regulación del funcionamiento del compresor.

Unos terceros medios de detección de temperatura, que pueden consistir en otro termistor 63, están posicionados para detectar la temperatura del agua enfriada descargada del evaporador 28. El termistor 63 proporciona así una tercera señal que se aplica, por la línea 64, a otra etapa amplificadora diferencial 65, que recibe también una señal de punto ajustado de temperatura de un potenciómetro 66 u otra unidad apropiada, tal como un termostato, en el espacio del edificio. Así, la señal de salida en la línea 67 representa la diferencia, si existe, entre la condición requerida (indicada por la señal derivada del componente 66) y la condición de carga instantánea (representada por la señal en la línea 64).

Una etapa 68 de control sin carga está mostrada acoplada al brazo movable del potenciómetro 66. Para la finalidad de este invento, la etapa 68 representa cualesquiera medios para limitar el consumo de energía eléctrica cambiando el punto ajustado de temperatura o efectuando un ajuste de circuito diferente, para cambiar la carga sobre el compresor y reducir el régimen de consumo de energía.

Los expertos en la técnica apreciarán que esto es similar a cambiar físicamente el ajuste del termostato, pero, en grandes instalaciones, esto se puede hacer automáticamente mediante un sistema de control que vigila el régimen de consumo de potencia en sucesivos períodos de tiempo (tales como a intervalos de media hora), e impide que el equipo consuma más que una cantidad previamente ajustada de potencia en cada período de tiempo dado.

De las trayectorias de señal adicionales mostradas en la figura 1; la línea 70 representa medios para suministrar una señal de detención al circuito lógico 44 cuando es detectada por el sistema de control un estado de sobrecarga. Para determinar esto, y otras señales de operación, se hace pasar al sistema de control, por la línea 70, una señal relacionada con la amplitud de la corriente que fluye a través de los arrollamientos del motor 36, y otra señal relacionada con la velocidad del motor se hace pasar al sistema de control por la línea 72. La señal de corriente del motor se deriva de un transformador de corriente de una manera bien conocida y no ilustrada. La señal de velocidad del motor puede derivarse de un tacómetro usual (no mostrado), para proporcionar una señal de tensión de c.c. por la línea 72, que indica la velocidad del motor. No es necesario disponer de un ajuste externo de conductores, como se representa por la línea 72, para hacer regresar una señal relacionada con la velocidad del motor. En lugar del sistema de control, se puede usar una línea interna, vinculada a la salida de la etapa 52, la cual proporciona la señal de regulación de control de la velocidad del mo-

tor, y usar una parte de esta señal de velocidad de c.c. para señalar la velocidad del motor. Con esta perspectiva general de la disposición de refrigeración completa y el sistema de control, se puede dar ahora una explicación más detallada.

La figura 2 es una ilustración gráfica de características de funcionamiento de un compresor usual, tomadas de datos de bloques de ensayo. La carga hidrostática o piezométrica del compresor está representada en función del flujo (o capacidad), características que se describirán con más detalle en relación con la figura 3. Las tres superficies representadas en el gráfico de la figura 2 muestran regiones de operación del sistema a un número de Mach o velocidad del compresor constante. Por ejemplo, la superficie más alta representa las posibles variaciones de altura hidrostática y de la capacidad mientras está en funcionamiento a un número de Mach de 1,5. Si cambian los parámetros de funcionamiento y van más allá de la más larga de las líneas de límite superior para la superficie de 1,5, se entra en la región de embalamiento, que indica que el sistema será inestable y el compresor se embalará. La terminación de la línea derecha superior de esta superficie de 1,5 representa el funcionamiento con los álabes abiertos del todo, y las tres líneas de trazos y puntos se usan para indicar las regiones de funcionamiento a  $3/4$  de apertura de álabes,  $1/2$  de apertura de álabes y  $1/4$  de apertura de álabes. Estas regiones se representan como líneas discretas, pero el sistema puede ser ajustado continuamente en todo el intervalo de apertura de álabes, permitiendo el funcionamiento a cualquier apertura de álabes.

Para funcionamiento a velocidad o número de Mach inferior a 1,4, el sistema "cae" a la superficie intermedia representada en la figura 2. Análogamente, con una reducción adicional de funcionamiento hasta un número de Mach de 1,3, el sistema cae hasta la superficie más baja de las tres ilustradas. Se ha de entender también que en un sistema en el que la velocidad del compresor es continuamente ajustable, los cambios del número de Mach no son hechos en incrementos grandes, como se muestra, sino que el ajuste es continuo en el "espacio" entre las superficies representadas en la figura 2 cuando se reduce la velocidad del compresor. Con esta perspectiva de carga hidrostática-flujo del compresor para regiones de velocidad constante, se puede dar ahora una descripción de las características del compresor en otro formato.

La figura 3 es un gráfico que ilustra el "número de Mach mínimo"  $M_0$  a lo largo de la ordenada izquierda, el grado de apertura de los APR a lo largo de la abscisa y la capacidad  $r$  del compresor, especificada en puntos elegidos, todos relacionados con la carga o altura hidrostática  $\Delta$  del compresor, que está representada por la serie de curvas mostrada en el gráfico. El "número de Mach mínimo"  $M_0$  se puede considerar que representa la velocidad del motor. Más exactamente, es la relación de la velocidad en las puntas del rodete a la velocidad acústica de remanso de aspiración (esta velocidad se denominará en lo que sigue "A"). Debido a que el motor de inducción está acoplado al compresor, la velocidad del motor se puede considerar directamente relacionada con la velocidad de las puntas o extremos del rodete. Para este análisis se supo-

ne que  $A$ , para un refrigerante dado, no cambia significati-  
vamente en el intervalo de funcionamiento típico del evapo-  
rador y, por lo tanto,  $M_o$  se puede considerar una función  
de la velocidad del motor solamente. La apertura de APR  
5 está representada en aumentos que van desde el estado com-  
pletamente cerrado al estado de álabes abiertos del todo  
(WOV). La capacidad, representada como  $\theta$ , es técnicamente  
la relación de la aspiración en cfm (o  $m^3$  por minuto) mul-  
tiplicado por 2,4, y este término se divide por el produc-  
to de  $A$  veces el cuadrado del diámetro del rodete. La al-  
tura hidrostática  $\Delta$  del compresor, representada por las  
10 curvas de la figura 3, es técnicamente la medida de la al-  
tura hidrostática en pies (o en metros) multiplicada por  
la constante 32,2 y este producto dividido por  $A^2$ . Debi-  
do a que se considera que  $A$  no cambia significativamente,  
15 como se ha hecho observar anteriormente, simplifica la con-  
sideración de la capacidad  $\theta$  y el valor de la carga hidros-  
tática  $\Delta$  del compresor.

Cada una de las diferentes curvas de la figu-  
ra 3 representa un valor de altura hidrostática constante,  
20 y la velocidad mínima y los APR necesarios para acomodar  
una capacidad dada sin entrar en una región de embalamien-  
to. Por ejemplo, la curva de la parte superior derecha  
con un valor de altura hidrostática de 1,2 indica los cam-  
25 bios de la velocidad del motor y de la apertura de APR  
que deben tener lugar para reducir la capacidad a este va-  
lor de la altura hidrostática. La flecha 75 muestra la di-  
rección de la capacidad decreciente y, si sólo se reduce  
la velocidad del motor (y así la velocidad del compresor),  
30 la capacidad se reduce como se muestra por el valor decre-

ciente de  $\theta$  a lo largo del lado derecho del gráfico. Sin embargo, si se reduce la velocidad hasta el punto señalado con a, y se desea reducir todavía más la capacidad sin disminuir la altura hidrostática del compresor por debajo de 1,2, en este punto debe ser mantenida constante la velocidad del motor y comenzar a cerrar gradualmente los APR, reduciendo así la capacidad como se indica hasta el punto b, donde el valor de  $\theta$  es de 0,058 y los álabes están a una apertura aproximada de  $3/4$ . El sistema se embalará si, en el punto b, la velocidad se reduce más todavía. Es importante observar que para una reducción adicional de capacidad a la misma altura hidrostática, el cierre de los álabes continúa, pero la velocidad del motor se debe aumentar ahora hasta el punto señalado por c.

De una manera similar, si el valor de la altura hidrostática es 1,0 los álabes pueden ser mantenidos abiertos del todo mientras se disminuye la velocidad hasta el valor en que  $\theta$  iguala a 0,0385, en el punto de referencia d. Desde este punto la velocidad es mantenida constante y los álabes se cierran gradualmente, hasta que están abiertos en aproximadamente los  $3/4$ , como se muestra en el punto e. A continuación se aumenta de nuevo gradualmente la velocidad del motor mientras continúa el cierre de álabes hasta el punto señalado por f. Los puntos a-f están también mostrados en la figura 2. Así, es evidente que se requiere una función de control compleja para coordinar la regulación de la velocidad del compresor (por regulación de la velocidad del motor) y la apertura de los APR. La línea de carga para un sistema dado, cuando se traza en la figura 3, cortaría las diferentes curvas de altura hidros-

tática. Así, es necesario considerar el cambio de altura hidrostática, así como la posición presente de los APR y la velocidad instantánea del motor, siempre que se efectúa un cambio en el sistema, para asegurarse de que se impide el embalamiento y de que se consigue el funcionamiento más eficaz.

La trayectoria de control para combinar el control de velocidad del motor y el control de apertura de los APR, que se ha visto que es efectiva en la consecución de dicha regulación sin llegar al embalamiento, está representada por la curva 80 en la figura 4. Las curvas de altura hidrostática  $\Omega$  constante están mostradas como básicas para la trayectoria ideal de control 80. Supóngase que el sistema está funcionando originalmente a plena capacidad con los álabes abiertos del todo; esto se representa en el punto designado por g. Cuando se desea disminuir la carga, se reduce la capacidad reduciendo la velocidad del motor, siguiendo la curva que pasa a través del punto h y eventualmente se sigue la recta hasta el punto j, en cuyo momento se debe modificar el algoritmo de control para incluir el ajuste de la posición de APR para mantener la trayectoria de control óptima. Los álabes se cierran entonces gradualmente hasta aproximadamente un 80% de la posición abierta, mientras que se aumenta la velocidad del motor desde el nivel indicado en j hasta el representado en el punto k. Desde este punto continúa el cierre de álabes, pero la velocidad del motor se reduce de nuevo, hasta que la trayectoria de control 80 alcanza el nadir en el punto m. En esta parte de la curva los álabes están abiertos en aproximadamente el 35% y, a medida que continúa el cierre

de álabes, la velocidad aumenta entonces hasta el punto n.

5 Cuando se desea aumentar la carga, considerando que el sistema está ahora funcionando en las condiciones representadas en el punto n, se aumenta gradualmente la apertura de APR mientras se disminuye la velocidad del motor, hasta que se alcanza el punto m. A continuación, a medida que continúa la apertura de los álabes, se aumenta la velocidad del motor hasta el punto k. De acuerdo con un aspecto importante de este invento, se continúa el aumento de la velocidad del motor, a medida que se abren más los álabes, a lo largo del segmento kh de la curva de control; las otras dos ramas, kj y jh, no son seguidas en el restablecimiento de la carga. En lugar de ello, la trayectoria de control va directamente de k a h y a continuación hasta g, después de que los álabes estén completamente abiertos.

10 Debido a que ha sido determinado que esta trayectoria evita el embalamiento y consigue una eficacia de funcionamiento muy elevada, es importante que el sistema de control "conozca" no sólo la magnitud de cambio deseada, sino también el sentido en el que se está efectuando el cambio. Esto requiere tanto información lógica combinatoria como almacenada en relación con el rendimiento del compresor en el sistema de control, como se describirá, para conseguir la trayectoria óptima de control 80 representada en la figura 4.

25 La figura 5 es un diagrama ilustrativo que indica los flujos generales de señales de los circuitos más detallados representados en las figuras 6A, 6B y 6C. En general, la señal de salida de agua enfriada, procedente

del termistor 63 (figura 5) y la señal de punto ajustado de temperatura, derivada ya sea del potenciómetro 66 o de cualesquiera otros medios para establecer el nivel de control de temperatura deseado, se combinan para producir una señal de error de temperatura en la línea 67. Una red o circuito 81 de "banda muerta" está previsto para producir señales de salida separadas en la línea 82 (que representa una pluralidad de conductores), para evitar dar órdenes de conmutación al circuito lógico 96 de control de APR y al circuito lógico 83 de velocidad del inversor cuando se funciona en la región de control de APR, hasta que la señal de error de temperatura ha excedido la magnitud determinada por la banda muerta. La salida de la disposición lógica 83 se hace pasar a través de la etapa de integración 52 para proporcionar en la línea 51 la señal de control de velocidad del motor, para regular la frecuencia de funcionamiento del inversor y, por lo tanto, las velocidades del motor y del compresor.

La información de posición de álabes de los APR es tomada del potenciómetro 61 y una parte de esta señal es aplicada, por la línea 84, al circuito lógico 83 de velocidad del inversor. Otra parte de la señal de posición de APR se hace pasar, por la línea 85, a un circuito de control 86 de ciclo de servicio. Además, la señal de posición de APR se hace pasar a través de la red o circuito 87 y se combina con la señal de número de Mach mínimo  $M_0$  en la línea 88. Como se ha descrito anteriormente, este número de Mach mínimo para álabes abiertos del todo es derivado de la temperatura de condensación como detectado por el termistor 56, y de la temperatura de evaporación co

mo detectado por el termistor 58. Estas dos señales se combinan para proporcionar la señal del número de Mach mínimo (para álabes abiertos del todo) en la línea 89. Cuando se hace pasar esta señal por la línea 88 y se combina con la salida de la red 87, proporciona una señal compuesta en la línea 90 que se combina entonces con la señal de velocidad real del motor recibida por la línea 72 para producir una señal de error en la línea 91. Esta señal de error es el error en el punto de ajuste de velocidad cuando el sistema está controlando la posición de los APR, además de regulando la velocidad del motor. La señal de velocidad del motor es también comparada con la señal  $M_0$  en la línea 89 para producir en la línea 92 una señal lógica que indica si la velocidad real del motor está por encima o por debajo de  $M_0$ . Entonces se aplica esta señal al circuito lógico 96 de control de APR y, por la línea 99, a la disposición lógica 83 de velocidad del inversor.

El circuito de control de ciclo de servicio recibe tanto la señal de control de la posición de APR por la línea 85 como otra señal procedente de un circuito 94 de sobrecarga, por la línea 93. La salida del circuito 86 se hace pasar, por la línea 95, al circuito lógico de control 96 de APR, que determina si se debe cambiar la posición de los álabes, la dirección en la que se deben mover los álabes y la magnitud del movimiento que debe tener lugar. El circuito de sobrecarga 94 recibe una señal por la línea 71 proporcional a la corriente del motor y, además de proporcionar una señal en la línea 93 al circuito de control 96 del ciclo de servicio, proporciona otra señal por la línea 97 al circuito lógico 96 de control de

APR y otra señal por la línea 98 al circuito lógico de control 83 de la velocidad del inversor. Con esta perspectiva general del sistema, los expertos en la técnica correlacionarán más fácilmente lo mostrado en las figuras 6A a 6C con la disposición global del aparato representada en la figura 1.

En lo mostrado en las figuras 6A y 6C, la temperatura del agua a la salida del agua enfriada se derivó del termistor 63 y fué pasada por la línea 64 y una de las resistencias 24K a un terminal de entrada del amplificador diferencial 65. La señal procedente del potenciómetro 66 de punto ajustado se hace pasar por la otra resistencia 24K a la otra conexión de entrada de la etapa 65, proporcionando la señal de error de temperatura en la línea de salida 67. Para ayudar a los expertos en la técnica, las identificaciones de componentes de circuito (IC) se dan a continuación y las tensiones de funcionamiento de las diferentes etapas se muestran en un círculo. El signo + en un círculo indica la tensión B+ de 12 voltios que se aplica a ese punto. Las señales de temperatura del agua enfriada y de punto ajustado se combinan también en otra etapa del comparador para proporcionar una señal en la línea 102 al circuito lógico del inversor cuando se detecta un estado de temperatura baja del agua. La aplicación de esta señal, y otras señales de sobrecarga, no se muestra en el circuito lógico, pero los expertos en la técnica comprenderán fácilmente la aplicación de esta señal para detener el funcionamiento del inversor cuando la temperatura del agua enfriada es demasiado baja.

Las etapas 103 y 104 están conectadas en un

circuito de compensación de avance-retardo para el sistema. Esta red proporciona un avance de fase en 0,007 hertz y un retardo de fase en 0,02 hertz. Así, la señal de error en la línea 67 pasa por la línea 69 a esta red, de manera que la señal de salida de la red en la línea 105 es una señal de temperatura compensada para aplicación a la disposición lógica de la velocidad del inversor.

La señal en la línea 67 es hecha pasar a través de otro circuito comparador 106 para proporcionar en la línea 107 una señal lógica, que es un 1 lógico (o alta tensión) cuando la temperatura de salida del agua enfriada es mayor que la temperatura del punto ajustado, y es un cero lógico (tensión baja) cuando la temperatura del agua enfriada es menor que la temperatura del punto ajustado. Esto se aplica a una conexión de entrada de la puerta NOR (O exclusivo) 108, según se muestra. Las etapas 110 y 111 estén conectadas para proporcionar señales lógicas en las líneas 112, 113 cuando la diferencia entre la temperatura del punto ajustado y la temperatura del agua enfriada excede la magnitud de la banda muerta, o de la zona muerta. En la realización ilustrada, la zona muerta se ajustó para incluir una diferencia de temperatura de 0,083°C, representada eléctricamente por la diferencia entre 5,12 voltios y 5,86 voltios aplicada a las dos etapas 111 y 110. Una tensión de referencia o de banda central de 5,5 voltios se utiliza como referencia. La etapa NOR 114 y la etapa inversora 115 están conectadas como se muestra para proporcionar una señal lógica para utilizar en el circuito de control lógico de velocidad del inversor. Estas etapas, y las etapas adicionales 116, 117, 118, 120 y 121, se iden

tificarán al final de esta descripción para hacer posible que los expertos en la técnica usen el invento con un mínimo de experimentación. Además se identificarán también otro inversor 122 y las puertas 123, 124 y 125 que regulan la aplicación de señales a la etapa integradora 52.

La señal procedente del potenciómetro 61 de posición de APR se obtiene y se suministra por la línea 62, según se muestra. Una parte de la señal es suministrada por la línea 84 a una conexión de una etapa 130 de comparador que recibe también una señal de referencia de c.c. en su otra conexión de entrada. La toma deslizante del potenciómetro 61 está en la posición de resistencia nula (superior) en el estado de álabes abiertos del todo. Este ajuste, y los otros componentes de circuito y tensiones mostrados en los dibujos, cooperan para producir una señal de uno lógico en el conductor 131 en el lado de salida de la etapa 130, cuando los álabes de guía de entrada están en la posición de abiertos del todo. La señal se convierte en un cero lógico cuando la apertura de álabes se reduce desde el estado de álabes abiertos del todo. La señal se aplica a una conexión de entrada de la puerta NAND (o de coincidencia negativa) 120 y se convierte también en la etapa inversora 132. La señal invertida se hace pasar por la línea 133 a la puerta NAND 117 y a la puerta NAND 134, cuya salida proporciona una entrada a la puerta NAND 135 en el circuito lógico 96 de control de APR.

La señal de posición de álabes de la línea 62 se suministra también a la conexión de entrada negativa de cada una de las etapas 136-140 del comparador. Las salidas de estos comparadores se acoplan, respectivamente,

a los circuitos puerta 141-145, según se muestra. Estas salidas de las puertas son sumadas en la etapa 146 para proporcionar una señal que indica la desviación de velocidad del número de Mach mínimo basada en la posición real de los álabes.

La temperatura de condensación del refrigerante, detectada por el termistor 56, proporciona una señal en la línea 55, y la temperatura de evaporación del refrigerante, detectada por el termistor 58, proporciona otra señal en la línea 57. Estas dos señales se combinan en el amplificador diferencial 147 para proporcionar en las líneas 88 y 89 una señal relacionada con el número de Mach mínimo  $M_0$  para álabes abiertos del todo. En este punto del circuito la señal está relacionada sólo con la altura hidrostática del compresor y no incluye ningún factor relacionado con la posición de los álabes. Una parte de la señal del evaporador en la línea 57 se hace pasar a otro comparador 148, para proporcionar en la línea 150 una señal de detención para el circuito lógico del inversor cuando la temperatura del evaporador cae por debajo del valor previamente establecido, cuyo valor se establece por la tensión de referencia aplicada a la otra conexión de entrada de esta etapa.

La señal  $M_0$  en la línea 88 se combina con la señal de cambio de velocidad en el punto 90 y se aplica a la conexión de entrada negativa del amplificador operacional 151. Así, esta conexión recibe una señal de entrada compuesta que es una función tanto de la señal de cambio de velocidad como del número de Mach mínimo  $M_0$ . La otra conexión de entrada de la etapa 151 recibe una señal de in

dicación de velocidad real del motor por la línea 72, según se ha descrito anteriormente. Así, la señal de salida de la etapa 151 que es proporcionada por la línea 91. La disposición lógica de velocidad del inversor representa el error de la señal de punto ajustado de velocidad cuando el sistema de refrigeración está funcionando en la región de control de APR, donde tanto la velocidad del motor como la posición de los álabes se deben regular para seguir la trayectoria de control óptima 80 representada en la figura 3.

En la figura 6B, la señal de velocidad en la línea 91 se aplica también a la conexión de entrada de otro comparador 153, que recibe una tensión de referencia en su otra conexión de entrada. Así, la salida procedente de la etapa 153 es una señal lógica que se hace pasar por la línea 154 al circuito NAND 120, significando si la velocidad real del motor está por encima o por debajo de la velocidad deseada del motor para las condiciones de funcionamiento dadas. Brevemente, esta señal lógica se utiliza para permitir una información de error de temperatura para modificar el mando de control de velocidad del motor y obtener respuesta más rápida del sistema, cuando dicha modificación no implica el peligro de poner el sistema en embalamiento.

El circuito de control 86 del ciclo de servicio actúa para limitar el tiempo de cierre contactos en las posiciones de accionamiento abierto y accionamiento cerrado del control de APR, como una función de la posición instantánea de APR. Esto es un aspecto importante del presente invento, debido a que, cuando los álabes son

5 cerrados para dejar solamente una pequeña abertura, impide que sea aplicada una señal de "accionamiento cerrado" a un régimen más rápido que el régimen de respuesta del sistema. El circuito de control 86 del ciclo de servicio se puede considerar también un circuito de control de accionamiento, por cuanto que determina el porcentaje del tiempo, en un intervalo de tiempo dado, en que una señal de activación es realmente aplicada al motor 32 de APR, o a cualesquiera medios de control de capacidad adecuados que sean ajustables para variar la capacidad del compresor. Por lo tanto, el motor 32 de APR constituye unos medios para regular los medios de control de capacidad ajustables, los propios APR.

10 El problema planteado por los sistemas de control de APR anteriores se puede entender mejor en relación con la figura 7. Las diversas curvas mostradas en ella ilustran variaciones de la capacidad del compresor como una función de la apertura de APR, para diferentes valores constantes de la altura hidrostática ( $\Omega$ ). Por ejemplo, 15 la curva 300 indica la relación capacidad-apertura de álabes para un valor de la altura hidrostática del compresor de 1,2. Las curvas sucesivas 301, 302, 303 y 304 representan valores menores de la altura hidrostática del compresor, hasta una  $\Omega$  de 0,8 para la curva 304. A medida 20 que disminuye la altura hidrostática del compresor hasta 1,0 y a valores por debajo de ese nivel, la pendiente de las partes de curva a la derecha de una apertura de APR de aproximadamente 1/2 se hace cada vez más pequeña. Sin embargo, para valores bajos de apertura de APR, independientemente del valor de la altura hidrostática, las pen- 25 30

dientes de las curvas son muy grandes. Así se pone de manifiesto que un desplazamiento físico muy pequeño de los álabes de guía de entrada, cuando los álabes se cierran o casi se cierran, efectúa un cambio muy grande de la capacidad del sistema. Sería deseable que la curva mostrada en la figura 7 fuera más lineal, y es hacia una linealización del funcionamiento del sistema al que se dirige el circuito 86 de control del ciclo de servicio.

El circuito de control del ciclo de servicio o circuito de control de activación 86 (figura 6B) comprende básicamente una etapa integradora 156, una puerta NOR 157 y una etapa comparadora 160. Este circuito de control de activación recibe dos señales de entrada diferentes. Una primera entrada del circuito de control de activación se puede considerar el conductor 200, que recibe una señal de temporización del oscilador 155. Esta señal de temporización, de 0,033 hertz en la realización ilustrada, se aplica mediante la resistencia 1,3M al terminal de entrada superior de la etapa integradora 156 y se aplica también al terminal de entrada superior de la puerta NOR 157. Esta señal está representada generalmente por la forma de onda 201 en la figura 8A. La puerta NOR 157 proporcionará una señal de salida de 1 lógico cuando ambas entradas están bajas o son 0. Cuando la señal del oscilador, representada por la forma de onda 201, desciende, la tensión de referencia de 5,5 voltios del otro terminal de entrada del integrador 156 permite que esta etapa comience a cambiar en el instante  $t_0$  y produce una tensión de salida tal como 202 (figura 8B) por la línea 161 al terminal de entrada superior del comparador 160. Este comparador recibe

también una señal de posición por la línea 85; esta señal de posición varía como una función del ajuste de los medios de control de capacidad ajustables, que en esta realización son los APR del compresor. Cuando los APR están virtualmente cerrados completamente, el nivel de tensión de c.c. en la línea 85 es de aproximadamente 2 voltios, representados por la línea 203 en la figura 8B. Cuando la señal creciente que procede del integrador 156 por la línea 161 interseca la línea de 2 voltios en el punto A, el comparador 160 conmuta en el instante  $t_1$ , representado por la forma de onda 204 (figura 8C). Así, para el instante entre  $t_0$  y  $t_1$ , la señal procedente del comparador 160 era baja y la señal representada por la curva 201 (figura 8A) procedente del integrador 156 era también baja. Por lo tanto, la salida de la puerta NOR 157 era alta en este momento, como se muestra por el impulso próximo al comienzo de la curva 205 de la figura 8D. En tanto la salida del comparador permanezca alta, mostrada por la curva 204, no hay salida adicional de la puerta NOR 157. La señal 204 desciende de nuevo cuando la pendiente decreciente de la curva 202 interseca la línea de 2 voltios, en el instante  $t_5$ . Sin embargo, en este momento, la salida del oscilador es alta y, por lo tanto, no hay salida adicional de la puerta NOR 157 hasta que la parte de pendiente creciente de la curva 202 del integrador interseca de nuevo la línea 203 de 2 voltios. Así, la señal de activación a los APR, o a los medios para regular los medios de control de capacidad ajustables, es claramente una función de la posición de los álabes, representada por el nivel de la señal en la línea de salida 85.

Suponiendo que los APR están virtualmente abiertos del todo, se proporciona una señal de 10 voltios por la línea 85; esta señal está representada por la línea 206 en la figura 8B. Es así evidente que la parte de pendiente creciente de la curva 202 intersecará la línea de 10 voltios en el punto B o en el instante  $t_3$  mostrado en la curva 207 de la figura 8E. En este momento, la salida del comparador 160 se eleva, como se muestra en la curva 207, evitando cualquier salida de la puerta NOR 157. Sin embargo, antes de esa conmutación, entre los instantes  $t_0$  y  $t_1$  como se muestra en la curva 208 de la figura 8F, la salida de la puerta NOR 157 estaba alta debido a que ambas entradas a esta puerta estaban bajas. Esto proporciona un impulso de duración mucho mayor en la curva 208 para accionar los APR o cualesquiera otros medios de capacidad ajustables. En la realización ilustrada, los componentes del circuito proporcionaban un impulso de aproximadamente 1 segundo en la forma de onda 208. Las posiciones intermedias de los APR proporcionan correspondientes longitudes intermedias de impulso. Naturalmente, se podrían emplear otros circuitos de control de activación para proporcionar una variación de alguna otra característica de la señal, tal como la amplitud, para regular el cambio de los medios de control de capacidad ajustables de acuerdo con la posición instantánea de los medios de control de capacidad ajustables.

La señal de control de capacidad se hace pasar desde la puerta NOR 157 a la puerta NAND 162, y también se hace pasar hacia arriba a la otra puerta NAND 135. El funcionamiento de la disposición lógica para accionar

los álabes en los sentidos de apertura o cierre se consigue con las etapas adicionales 163-168, y 170, conectadas como se muestra.

5 Por ejemplo, una señal cero lógico procedente de la puerta NOR 165 (figura 6C) no proporciona activación de puerta para el transistor de tipo NPN, excitando el diodo de emisión de luz desde B4 y la resistencia 1K, y proporcionando activación de puerta para el tiristor, el cual es excitado y proporciona una señal de álabes cerrados por la línea 54. El terminal por debajo del condensador de 0,27 microfaradios, señalado por X, que corresponde al otro terminal análogamente señalado en el circuito de álabes abiertos, representa una conexión eléctrica común para el motor de APR. Naturalmente, el sistema se puede operar manualmente desplazando el conmutador selector de modo 171 desde la posición automática, en la que está ilustrado, a cualquiera de las otras tres posiciones. Cuando se desplaza el contacto movable para aplicarse al contacto de "retención", entonces el motor de álabes no puede ser accionado en los sentidos de abrir o cerrar, sino que permanece en la posición presente. Cuando se desplaza para establecer contacto con el contacto "abrir", se completa un circuito de excitación para poner en activación el tiristor y proporcionar una señal en la línea 53 para abrir los álabes. Análogamente, cuando se desplaza más el conmutador para aplicarse al contacto "cerrar", la operación del circuito lógico proporcione la señal de activación de puerta necesaria para excitar el tiristor y proporcionar la señal de cerrar álabes en la línea 54.

30 La señal de nivel de corriente del motor es recibida por el conductor 71 y dividida por el potencióme-

tro 3K ilustrado, siendo derivada una parte de esta señal por la línea 172 a la primera etapa 174 de límite de corriente. Cuando el nivel de la corriente del motor alcanza un valor previamente determinado que representa el 100% de la corriente nominal, la etapa 173 conmuta y proporciona una señal de salida que se hace pasar tanto al circuito de control lógico de APR como al circuito de control lógico de la velocidad del inversor, según se ilustra. En la parte de control de velocidad del inversor, esto significa que el motor del inversor no puede ser accionado más rápidamente mientras se mantenga este nivel de corriente del 100%, y la velocidad se reducirá en realidad. Además, el funcionamiento del circuito de control lógico de APR bajo estas condiciones es tal que los álabes no pueden ser accionados en el sentido de abrirse, pero cuando se proporciona una señal de disminución de carga, los álabes se pueden accionar en el sentido de cerrarse para reducir la carga sobre el sistema. Si el nivel de corriente aumenta más, hasta un nivel que indique que el 103% de la corriente especificada está fluyendo en los arrollamientos del motor, la etapa 174 se conmuta para proporcionar una señal al circuito de control lógico de APR que comienza a accionar los álabes hacia la posición cerrada, para reducir la carga. Si la corriente aumenta más, hasta el nivel del 106% de la corriente especificada, esta señal es detectada en la línea 175 y la etapa 176 conmuta para proporcionar en la línea 70 una señal que corta el circuito lógico del inversor y elimina así correspondientemente la excitación del motor.

La figura 9 ilustra un per de curvas que re-

presentan la variación de la velocidad del compresor en función de la apertura de los APR, para un valor fijo de la altura hidrostática del compresor. La curva 307 representa una línea curva de embalamiento desarrollada de datos reales, de manera que el funcionamiento en la parte inferior izquierda de esta curva originaría el embalamiento del compresor. Para evitar encontrar embalamiento, se dedujo una curva funcional real 308 que representa una función matemática para regular el funcionamiento del sistema de control de este invento. Regulando la velocidad del motor eléctrico principal 36 y el grado de apertura de los APR para seguir la curva funcional 308, no sólo se evita el embalamiento, sino que el sistema es operado sensiblemente de la manera más eficaz en lo que se refiere a la energía. El que el sistema de control pueda regular el funcionamiento a lo largo de la curva 308 es debido en parte a la deducción efectiva del número mínimo de Mach  $M_0$  en la línea 89 (figura 5) de las temperaturas de condensación y evaporación. A continuación este número de Mach mínimo, o señal de indicación de altura hidrostática, se hace pasar al lado de salida de la red 87. La señal obtenida del potenciómetro 61 de posición de APR es modificada por la red 87 para producir una señal modificada o funcional para combinación con la señal de número de Mach mínimo en la línea 90. Esta combinación de señales en la línea 90 produce una señal que es después combinada con la señal de velocidad real del motor en la línea 72 para producir una señal de "aumento de velocidad" para la parte de control de velocidad del inversor del sistema de control. La expresión "aumento de velocidad" se refiere a la corrección deseada.

para el motor de inducción que acciona el compresor, considerando el número de Mach mínimo  $M_0$ , la señal funcional en el lado de salida de la red o circuito 87 y la señal de velocidad real del motor. La señal resultante de aumento de velocidad proporciona un eficaz valor correctivo para regular la velocidad del motor de inducción de una manera óptima.

#### Ventajas técnicas.

El presente invento proporciona control efectivo para sistemas de refrigeración que usan compresores que tienen álabes de guía de entrada ajustables, en los que el compresor es accionado por un motor eléctrico de velocidad variable. El sistema y el método del invento fueron ensayados con éxito y demostraron que el ajuste automático de la velocidad del compresor y de la posición de los álabes de guía de entrada podían compensar los requisitos de altura hidrostática y flujo del compresor para una carga dada del evaporador, mientras se mantiene el agua enfriada a una temperatura constante. La trayectoria de control, como se muestra en la figura 4, tiende a reducir al mínimo los requisitos de energía del sistema mientras se evita al mismo tiempo el embalamiento del compresor. Además, el sistema de control y el método de control de este invento han mostrado una capacidad de mantener el agua enfriada dentro de  $0,083^{\circ}\text{C}$  de su punto ajustado, en todo el intervalo de carga factible. En particular, se efectúa el uso máximo posible del control de velocidad del motor antes de comenzar el ajuste de la posición de los APR para variar la carga del compresor. Este es el método más eficaz en lo que se refiere a la ener

gía para hacer funcionar una disposición con álabes de guía de entrada ajustables y ha demostrado ser significativamente más eficaz que los sistemas que usan una combinación de control de APR y de derivación de gas caliente para impedir el embalamiento. La presente disposición ha eliminado la necesidad de una caja de engranajes y permitido el funcionamiento con motores más pequeños, más eficaces y de mayor velocidad. Además, el compresor es más silencioso en funcionamiento en carga parcial, es accionado más lentamente, a un ángulo de álabes más apropiado para la reducción del ruido.

El invento está en parte basado en la apreciación de las características del compresor y la derivación del número mínimo de Mach  $M_0$ , que está limitado por la carga o altura hidrostática en el compresor. Este uso del número de Mach para álabes abiertos del todo es continuamente vigilado en el sistema de control, para adaptar los requisitos de carga a la capacidad del compresor en ese momento. Es muy importante que sea utilizado el intervalo máximo de control de velocidad antes de conmutar a la región de control de APR, según se ha descrito en relación con la figura 4. La derivación u obtención de la información de las dos temperaturas es un aspecto importante del invento. Esto proporciona control exacto con mínimo coste de transductor, debido a que pueden usarse termistores en lugar de los más caros detectores de presión frecuentemente utilizados en tales disposiciones.

El sistema y el método del invento regulan el sistema de refrigeración tanto en la región de "control de velocidad" como en la región de "control de APR". En la

región de control de velocidad, el concepto de control es simplemente ajustar la velocidad del compresor regulando la frecuencia de la tensión de salida del inversor ya sea hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de si la capacidad del sistema necesita ser aumentada o disminuida. El error en la temperatura del agua enfriada, con respecto al punto ajustado, se utiliza para definir cambios precisados en la capacidad del sistema. La técnica es fácilmente comprendida y, después de definir los requisitos de respuesta, estabilidad y compensación de bucle, se puede realizar fácilmente con circuitos electrónicos de bajo coste. En la región de control de APR, los cambios de errores de agua enfriada requieren un ajuste más complicado de cambios de control y vigilancia continua de variables del sistema. No sólo precisa ser ajustada la posición de APR, sino que con el fin de evitar el embalamiento, se debe regular correspondientemente la velocidad del compresor de acuerdo con las mediciones de la altura hidrostática y la función previamente almacenada de la posición de APR (red o circuito 87). La superposición en estas dos regiones de característica de control, y su correspondiente problema de definición de límites, es el requisito de que la trayectoria de control elegida para la velocidad de compresor y el ajuste de posición de APR debe ser conservador de la energía.

En el método y el sistema del invento, la observación de que la altura hidrostática del compresor es una función casi lineal de la diferencia entre las temperaturas de condensación y de evaporación del refrigerante era de primordial importancia. Además, los datos experimentales sobre el compresor usado demostraron que el número

ro mínimo de Mach permisible, para evitar el embalamiento, estaba relacionado linealmente con la altura hidrostática del compresor. A continuación se descubrió que la altura hidrostática del compresor, en combinación con la posición de los APR, se podía utilizar para definir lugares de embalamiento del compresor en álabes parciales, así como en álabes abiertos del todo, y con ello producen la trayectoria de funcionamiento deseada del sistema mostrada en la figura 4. Así, las señales procedentes de transductores de coste relativamente bajo, que indican las temperaturas de condensación y evaporación, la velocidad del compresor y la posición de APR, junto con la temperatura del agua enfriada, forman la base del sistema y método de control eficaz de este invento.

El método de control del sistema se puede comprender fácilmente en relación con la figura 5. En el método, la señal de altura hidrostática del compresor es establecida continuamente como una función de las temperaturas de condensación del refrigerante y de evaporación del refrigerante; esta señal de altura hidrostática aparece en la línea 89. Una señal funcional, relacionada con la posición instantánea de los álabes de guía de entrada, se obtiene en el lado de salida de la red o circuito 87. La señal de indicación de altura hidrostática y la señal funcional se combinan entonces para producir una señal intermedia en la línea 90. Una señal relacionada con la velocidad real del motor se proporciona en la línea 72; esta puede venir del motor o de la línea 51, o de algún otro manantial. La señal de velocidad real del motor y la señal intermedia se combinan para proporcionar una primera

señal, en la línea 91, para utilizar en la regulación de la velocidad del motor de accionamiento del compresor. Una señal de error de temperatura, relacionada con la diferencia de temperaturas entre el medio de enfriamiento a la salida del evaporador y el punto ajustado de temperatura deseado, es producida en la línea 67 y la señal de error de temperatura se utiliza como una segunda señal para regular tanto la velocidad del motor de accionamiento del compresor como la posición de los álabes de guía de entrada.

Otra manera de entender el método del invento es en relación con la figura 4. Como se muestra en ella, se considera que el sistema está funcionando inicialmente en un primer estado de funcionamiento, señalado por g. Después se reduce la velocidad del motor de accionamiento del compresor, mientras que se mantienen abiertos del todo los álabes de guía del compresor, desde el primer estado de funcionamiento (g), a través de un segundo estado de funcionamiento (h), a un tercer estado de funcionamiento (j). Después comienza un cierre gradual de los álabes de guía de entrada y simultáneamente se aumenta la velocidad del motor de accionamiento del compresor, hasta alcanzar un cuarto estado de funcionamiento (k). El cierre de los álabes de guía de entrada continúa mientras se reduce simultáneamente la velocidad del motor de accionamiento, hasta alcanzar el quinto estado de funcionamiento (m). El cierre de los álabes de guía de entrada continúa mientras se aumenta simultáneamente la velocidad del motor de accionamiento, hasta que se alcanza un sexto estado de funcionamiento (n).

Es importante hacer observar que la secuencia

de control para restablecer de nuevo la capacidad del sistema es significativamente diferente del que se acaba de describir (g, h, j, k, m, n) si se sigue la trayectoria más eficaz en relación con la energía. Primeramente se abren gradualmente los álabes de guía de entrada mientras se disminuye la velocidad del motor de accionamiento a medida que el sistema se mueve desde el sexto estado de funcionamiento (n) al quinto estado de funcionamiento (m). Después se abren más los álabes de guía de entrada mientras se aumenta simultáneamente la velocidad del motor, mientras que el sistema se mueve desde el quinto estado de funcionamiento (m) al cuarto estado de funcionamiento (k). Se aumenta la apertura de los álabes de guía de entrada y simultáneamente se aumenta la velocidad del motor de accionamiento del compresor, a medida que el sistema se mueve desde la cuarta condición o estado de funcionamiento (k) directamente al segundo estado de funcionamiento (h), sin pasar por el tercer estado de funcionamiento (j). Los álabes de guía de entrada están completamente abiertos en el segundo estado de funcionamiento (h). Finalmente, se aumenta la velocidad del motor de accionamiento del compresor para aumentar la capacidad del sistema, hasta que se alcanza de nuevo el primer estado de funcionamiento (g). Más sucintamente, el método del invento regula la posición de los álabes de guía de entrada y la velocidad del motor de accionamiento del compresor, sustancialmente de acuerdo con las variaciones funcionales ilustradas en la figura 4 y descritas anteriormente, para evitar el embalamiento mientras funciona de manera eficaz en relación con la energía.

Los expertos en la técnica apreciarán que el

sistema de control del invento es análogamente aplicable para regular una disposición de bomba térmica, en la que tanto la velocidad del compresor como la cantidad de gas admitida al compresor son variadas para seguir una trayectoria de control óptima.

Para ayudar a los expertos en la técnica a llevar a cabo el invento, se da a continuación una lista de los tipos de circuitos integrados (IC), y la identificación de otros componentes no especificados ya en las figuras 6A a 6C.

	<u>Tipo de circuito integrado</u>	<u>Etapas (figuras 6A a 6C)</u>
	MLM2902P	59, 140, 148, 149
	MLM2902P	136, 137, 138, 139
	MC14016BCP	141, 142, 143, 144
5	MLM2902P	65, 101, 103, 104
	MLM2902P	106, 110, 111, 156
10	MLM2902P	130, 146, 151, 153
	MC14016BCP	123, 124, 125, 145
	CA3160S	52
	MLM2902P	160, 173, 174, 176
15	MC14572BCP	114, 115, 116, 117, 122, 132
	MC14023BCP	120, 135, 162
	MC14001BCP	108, 121, 165, 167
	MC14011BCP	134, 164, 166, 170
20	MC14001BCP	118, 157, 163, 168
	MC14541BCP	155
	T2310A	Todos Triacs
	NSL5057	Todos leds
	2N3415	Todos transistores
25	IN914	Todos diodes
30		

Con esta exposición explícita y detallada de los principios inventivos y de una realización preferida del sistema de control, es evidente que dicho sistema se puede utilizar tanto con equipo existente, a modo de montaje retroactivo, como con sistemas de nueva instalación.

En las reivindicaciones adjuntas la expresión "conectado" significa una conexión de corriente continua entre dos componentes con resistencia de c.c. virtualmente nula entre estos componentes. La expresión "acoplado" indica que hay una relación funcional entre dos componentes, con la posible interposición de otros elementos entre los dos componentes descritos como "acoplados" o "interacoplados".

15

20

25

30

05098

REIVINDICACIONES

5 Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

10 1ª.- Un método de controlar un sistema de refrigeración que tiene un compresor, un condensador y un evaporador, todos conectados en un circuito de refrigeración cerrado, cuyo compresor incluye álabes de guía de entrada o admisión ajustables para variar la capacidad del compresor, y un motor eléctrico de velocidad ajustable, conectado para accionar el compresor, de tal manera que el ajuste de la velocidad del motor hace variar también la capacidad que comprende las operaciones de: establecer continuamente una señal de altura hidrostática del compresor como una función de las temperaturas de condensación y evaporación del refrigerante; obtener una señal funcional relacionada con la posición instantánea de los álabes de guía de entrada; combinar la señal de indicación de altura o carga hidrostática y la señal funcional para producir una señal intermedia; proporciona una señal relacionada con la velocidad real del motor; combinar la señal de velocidad real del motor y la señal intermedia para proporcionar una primera señal para utilizar en la regulación de la velocidad del motor de accionamiento del compresor; y obtener o deducir una señal de error de temperatura, relacionada con la diferencia de temperaturas entre el medio de enfriamiento a la

15

20

25

30

05098

salida del evaporador y el punto ajustado de temperatura deseada, y emplear la señal de error de temperatura como una segunda señal para utilizar en la regulación de la velocidad del motor de accionamiento del compresor y la posición de los álabes de guía de entrada.

5                   2ª.- El método de control según la reivindicación 1ª, en el que la velocidad del motor de accionamiento del compresor y la posición de los álabes de guía de entrada se regulan para reducir la capacidad del sistema, de acuerdo con las siguientes operaciones, tomadas secuencialmente: reducir la velocidad del motor de accionamiento del compresor mientras permanecen abiertos del todo los álabes de guía de entrada, desde un primer estado de funcionamiento, a través de un segundo estado de funcionamiento, a un  
10                   tercer estado de funcionamiento; cerrar gradualmente los álabes de guía de entrada y aumentar simultáneamente la velocidad del motor de accionamiento del compresor hasta alcanzar un cuarto estado de funcionamiento; continuar cerrando los álabes de guía de entrada mientras se reduce simultáneamente la velocidad del motor de accionamiento, hasta  
15                   alcanzar un quinto estado de funcionamiento; y después continuar cerrando los álabes de guía de entrada mientras se aumenta simultáneamente la velocidad del motor de accionamiento, hasta alcanzar un sexto estado de funcionamiento.  
20                   to.

25                   3ª.- El método de control según la reivindicación 2ª, y que comprende además las siguientes operaciones, tomadas en secuencia, para restablecer de nuevo la capacidad del sistema; abrir gradualmente los álabes de  
30                   guía de entrada mientras se disminuye la velocidad del mo-

tor de accionamiento del compresor a medida que el sistema se mueve desde el sexto estado de funcionamiento al quinto estado de funcionamiento; continuar abriendo los álabes de guía de entrada mientras se aumenta simultáneamente la velocidad del motor y mientras el sistema se mueve desde el quinto estado de funcionamiento al cuarto estado de funcionamiento; continuar aumentando la apertura de los álabes de guía de entrada y aumentando simultáneamente la velocidad del motor de accionamiento del compresor, a medida que el sistema se mueve desde el cuarto estado de funcionamiento directamente al segundo estado de funcionamiento, sin pasar a través del tercer estado de funcionamiento, estando los álabes de guía de entrada completamente abiertos en el segundo estado de funcionamiento; y continuar aumentando la velocidad del motor de accionamiento del compresor para aumentar la capacidad del sistema hasta que se alcanza el primer estado de funcionamiento.

4ª.- El método de control según la reivindicación 1ª, caracterizado además porque la posición de los álabes de guía de entrada y la velocidad del motor de accionamiento del compresor se regulan conjuntamente en esencia según las variaciones funcionales ilustradas en la figura 4 y descritas en la memoria, para evitar embalamiento mientras funciona de manera eficaz con respecto a la energía.

5ª.- UN METODO DE CONTROLAR UN SISTEMA DE REFRIGERACION.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y

con los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de cuarenta y dos hojas escritas a máquina por una sola cara.

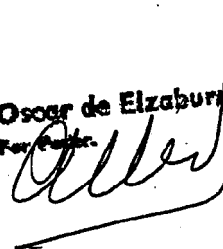
5

Madrid, 15. SET. 1978

P.A.

Oscar de Elzaburu

For. For.



10

15

20

25

30

05098

MPB.-

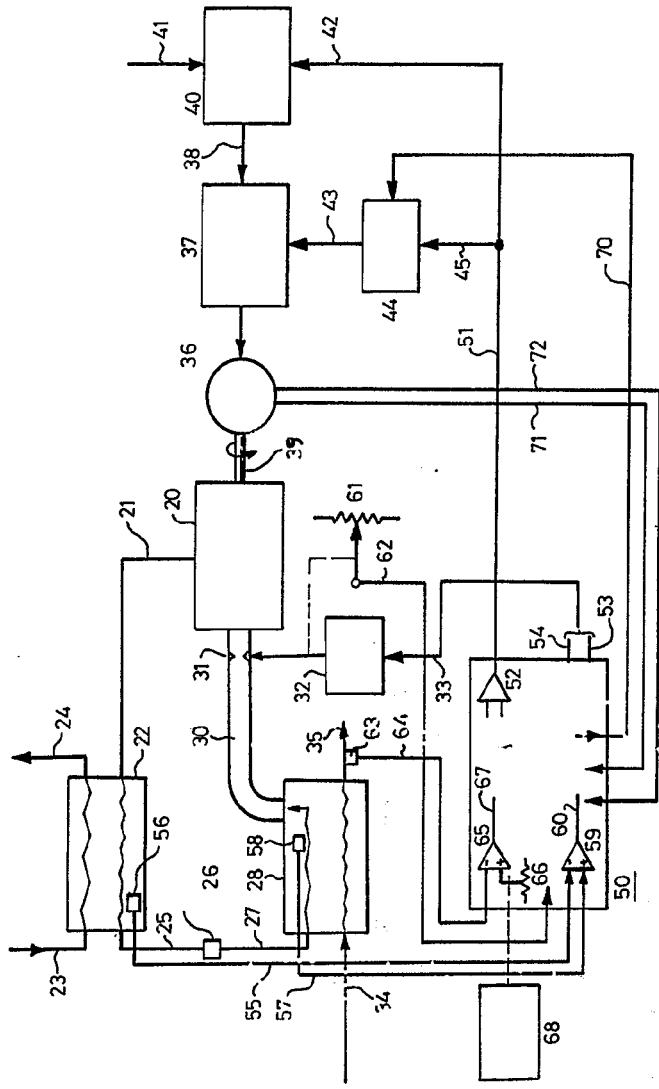


FIG-1

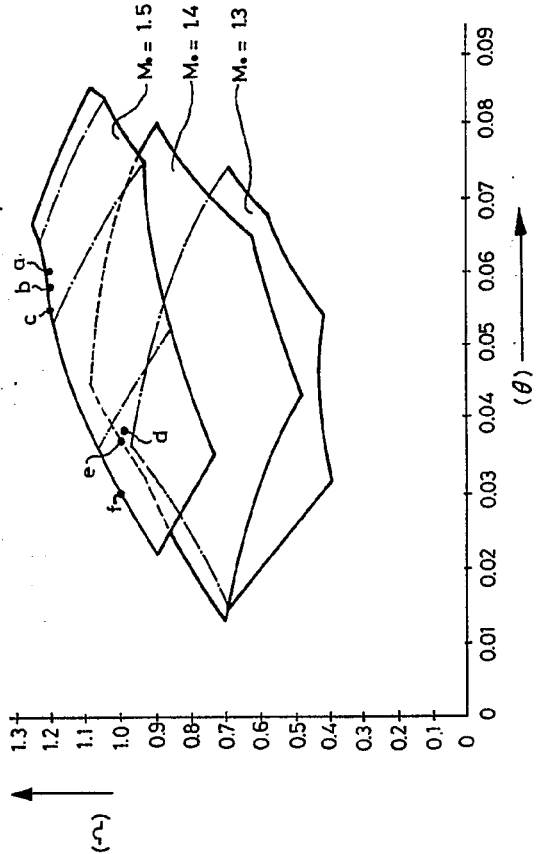
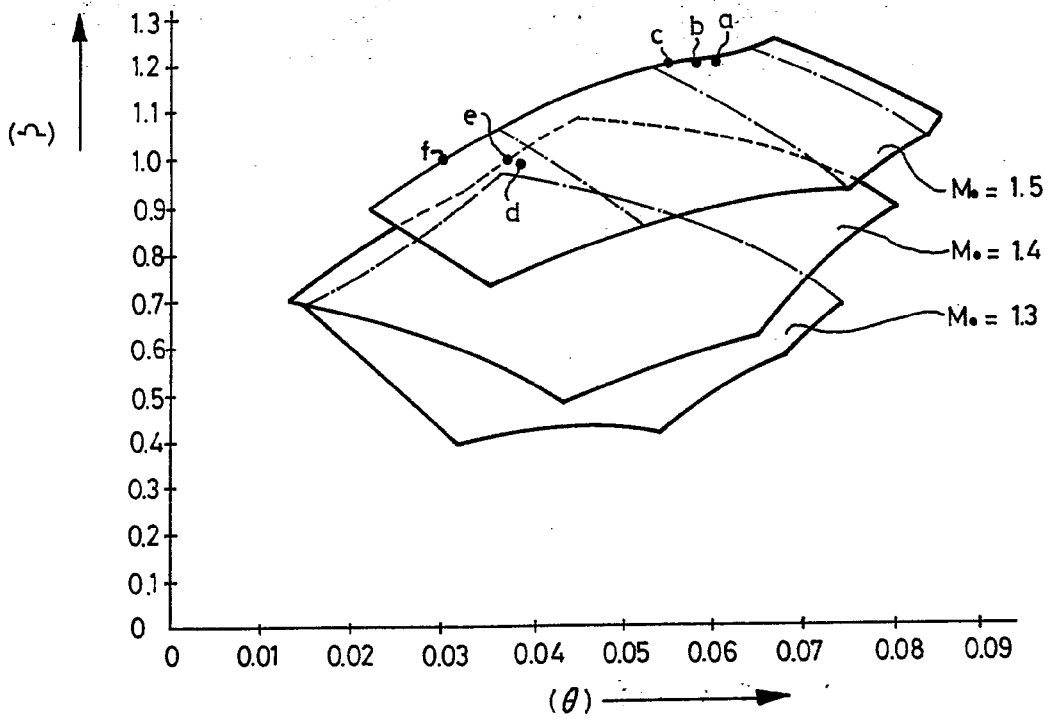
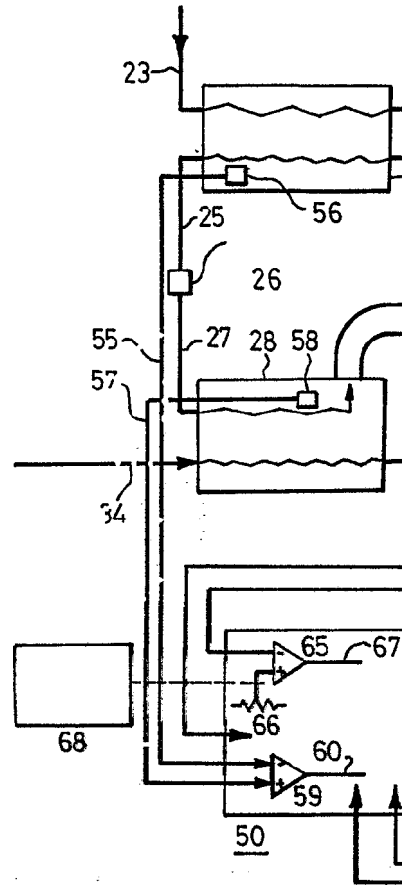


FIG-2

*Joseph E. Elizabeth*  
*for Elizabeth*

FIG.- 1



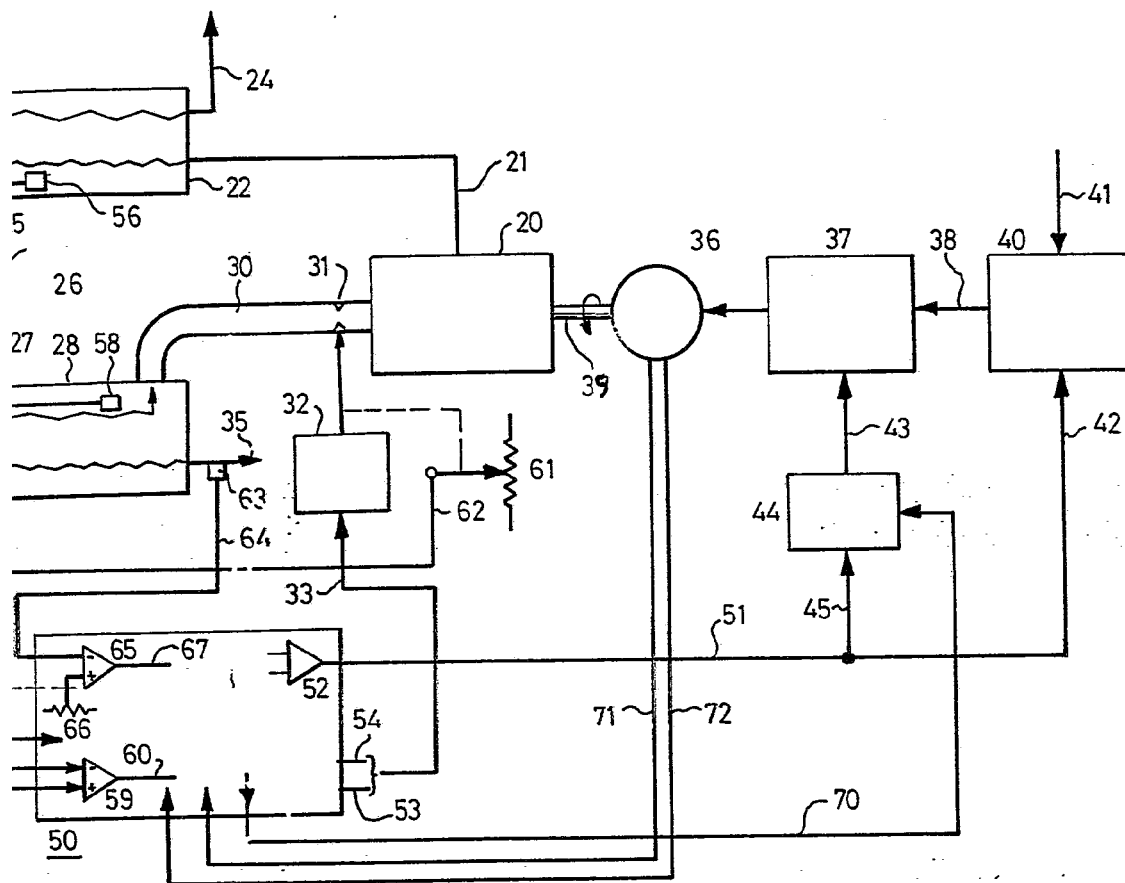


FIG-2

Oscar de Elizaburu  
Esp. Paces

FIG-3

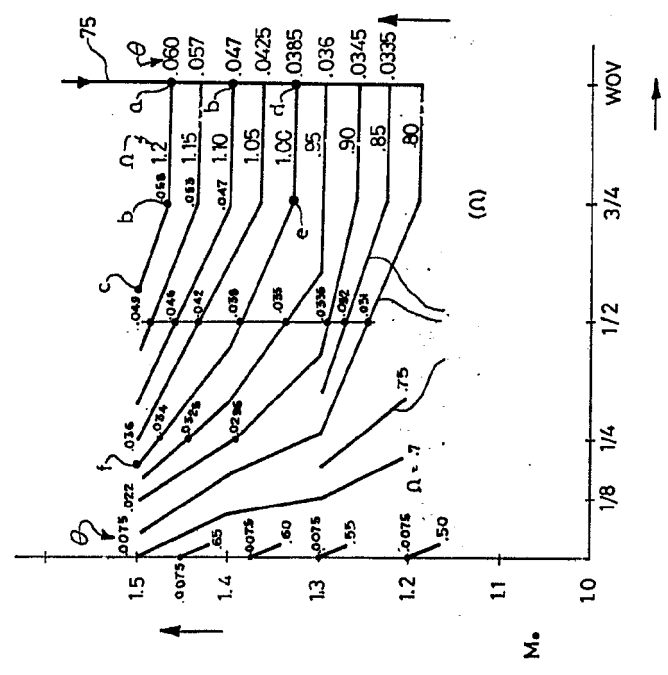
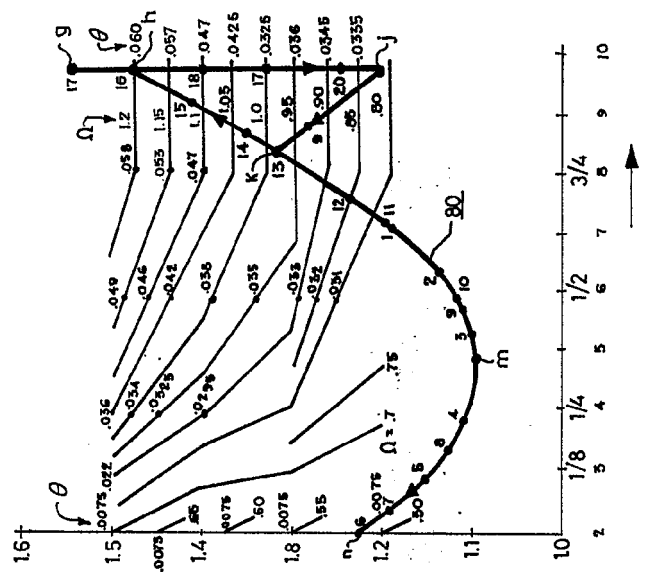


FIG-4



OSCAR G. EIZENBERG  
Author

FIG.-3

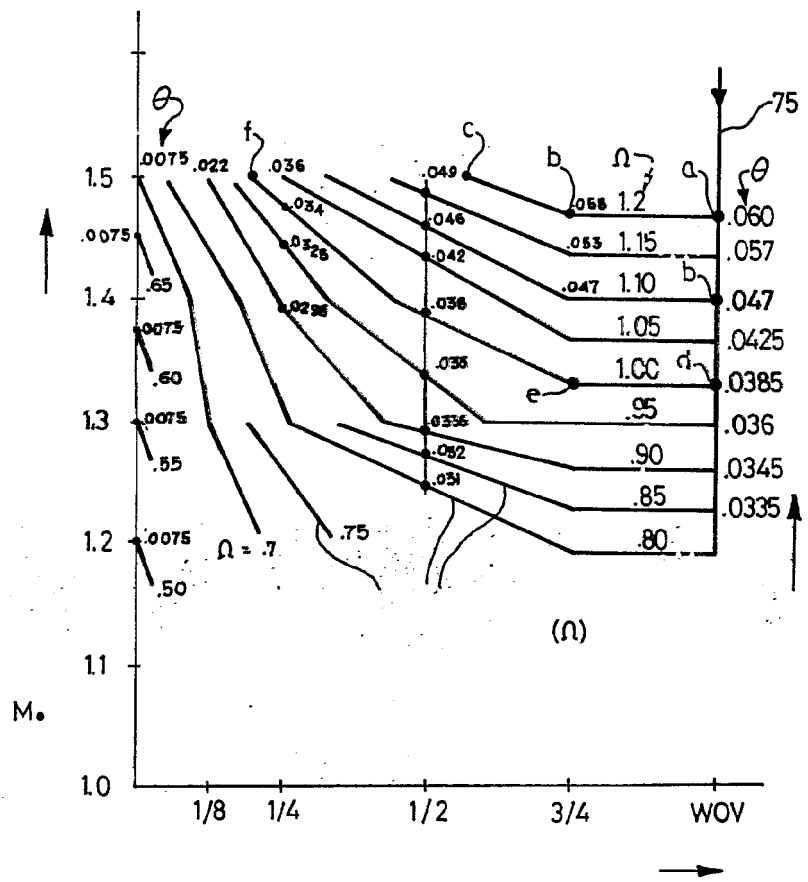
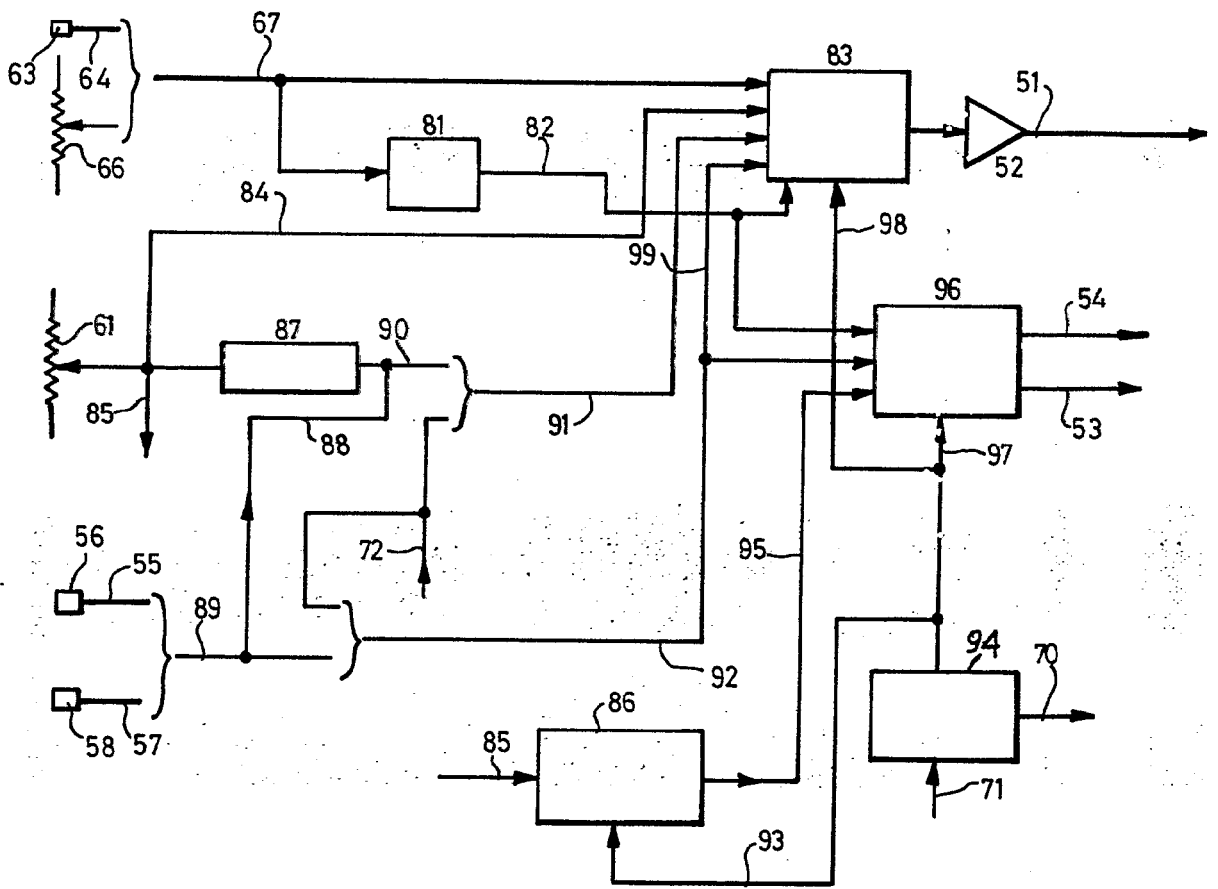






FIG-5

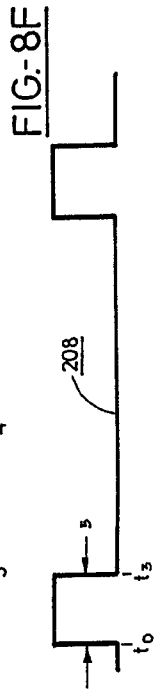
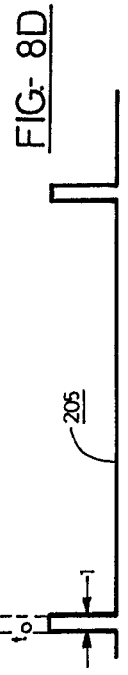
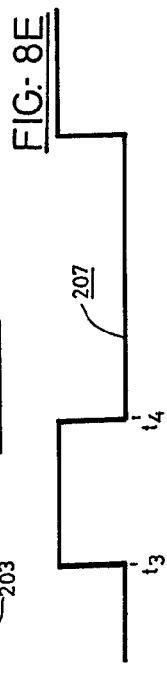
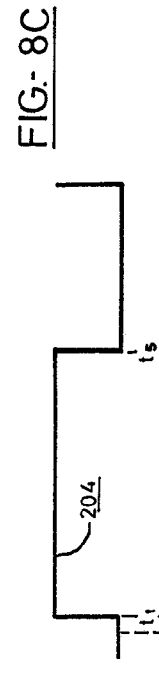
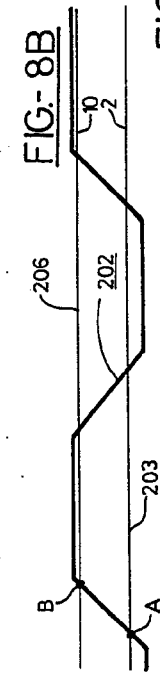
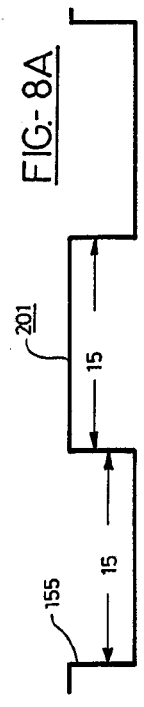
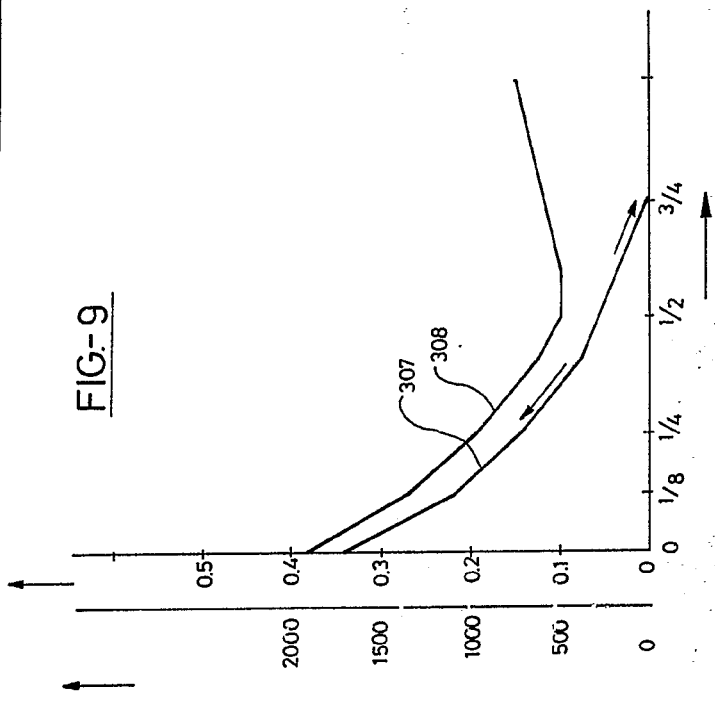
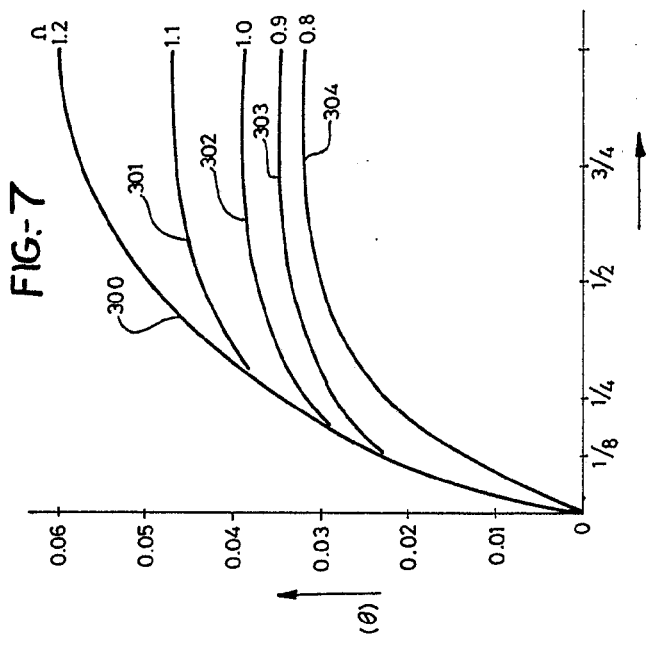






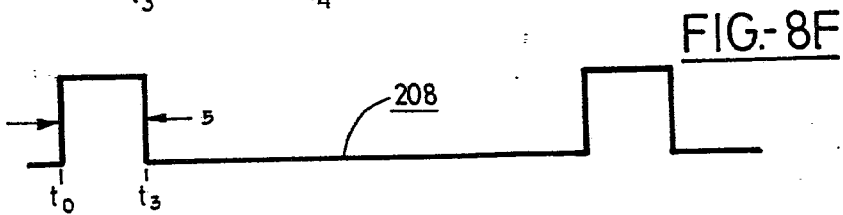
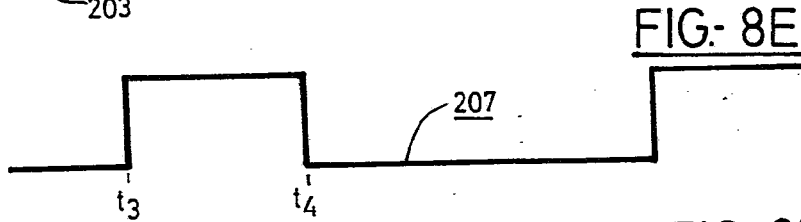
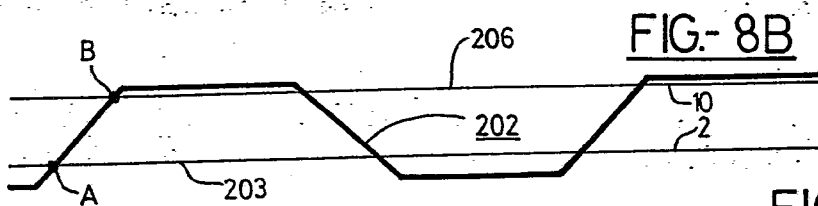
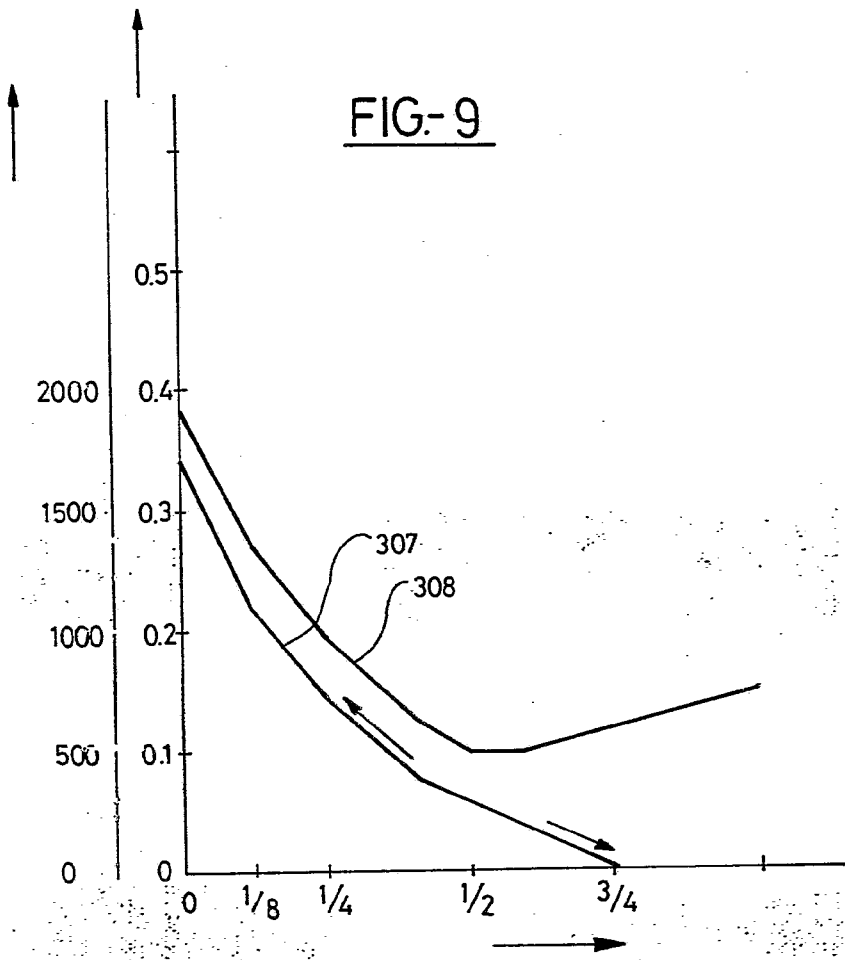






Osvaldo de Elzaburu





Oscar de Elizaburu  
Res. Ingeniero