

# UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

DISEÑO DE UNA SECADORA DE CAPSULAS  
DE GELATINA BLANDA

## TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

ROGELIO BARBA GARCIA

GUADALAJARA, JALISCO. 1986



## **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 está 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.

# I N D I C E

Página

|                    |   |
|--------------------|---|
| INTRODUCCION ..... | 1 |
|--------------------|---|

## CAPITULO, I

### "IDENTIFICACION DEL PROBLEMA"

|   |    |
|---|----|
| 1.1 CAPSULAS DE GELATINA BLANDA .....         | 3  |
| 1.2 HUMEDAD EN EL AIRE .....                  | 4  |
| 1.2.1 ALGUNOS CONCEPTOS DE TERMODINAMICA .... | 5  |
| 1.2.2 DEHUMIDIFICADOR .....                   | 7  |
| 1.2.3 CONDENSADOR .....                       | 7  |
| 1.2.4 CALENTADOR Y RADIADOR .....             | 8  |
| 1.3 BLOQUE DEL SISTEMA .....                  | 9  |
| 1.3.1 CONDENSADO Y CALENTADO SIMULTANEO ..... | 10 |
| 1.3.2 CONDENSADO Y CALENTADO INDEPENDIENTES.. | 10 |

## CAPITULO II

### "DISEÑO DEL SISTEMA MECANICO DE SECADO"

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 2.1 CONDENSADOR .....          | 12 |
| 2.2 CALENTADOR .....           | 14 |
| 2.2.1 VALVULAS SOLENOIDE ..... | 15 |
| 2.3 PLENUM .....               | 16 |
| 2.4 TAMBOR DE SECADO .....     | 17 |

CAPITULO III

"DISEÑO DEL SISTEMA MECANICO ELECTRONICO"

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.1   | VARIABLES A CONTROLAR .....                  | 19 |
| 3.1.1 | TERMOCUPLAS Y TERMISTORES .....              | 20 |
| 3.2   | CONTROL DE TEMPERATURA DEL CONDENSADOR ..... | 21 |
| 3.2.1 | SENSOR TRANSDUCTOR .....                     | 23 |
| 3.2.2 | OPERADOR .....                               | 28 |
| 3.2.3 | RETARDADOR RECTIFICADOR .....                | 30 |
| 3.2.4 | ACOPLADOR OPTICO .....                       | 32 |
| 3.2.5 | UNIDAD DE POTENCIA .....                     | 32 |
| 3.3   | CONTROL DE TEMPERATURA DEL CALENTADOR .....  | 34 |
| 3.3.1 | SENSOR TRANSDUCTOR (CALENTADOR) .....        | 35 |
| 3.4   | HIGROMETROS RESISTIVOS .....                 | 38 |
| 3.4.1 | COMPARADOR DE HUMEDAD .....                  | 39 |
| 3.4.2 | SENSOR TRANSDUCTOR DE ENTRADA .....          | 40 |
| 3.4.3 | RECTIFICADOR Y AMPLIFICADOR .....            | 43 |
| 3.4.4 | COMPARADOR E INTERRUPTORES .....             | 44 |
| 3.4.5 | SENSOR TRANSDUCTOR DE SALIDA .....           | 46 |

CAPITULO IV

"ALGUNAS CONCLUSIONES Y COMENTARIOS"

|     |                                  |    |
|-----|----------------------------------|----|
| 4.1 | DIAGRAMA A BLOQUES GENERAL ..... | 48 |
| 4.2 | COMENTARIOS .....                | 48 |
|     | BIBLIOGRAFIA .....               | 51 |

## INTRODUCCION

## I N T R O D U C C I O N

Desde el inicio de mis estudios profesionales, he tenido deseos de formar un sistema mecánico, controlado electrónicamente. Es por esto que, con la ayuda de mis asesores, seleccioné algunas alternativas para el control de una secadora de cápsula. Esto, con el objeto de agilizar el sistema y hacerlo más versátil, como veremos en los capítulos siguientes.

Por otro lado, la aplicación de esta máquina, va enfocada al bienestar del prójimo, pues se genera un producto que es primordial para la salud de las personas. Es por esto que me llena de satisfacción la realización de este modelo, pues pienso que para trabajar los recursos de nuestro mundo, debe ser de una manera desinteresada y para bien de los demás.

Los dispositivos y sistemas que se presentan, no se analizan muy a fondo, pues el objeto de este trabajo, es el de conjuntar los sistemas mecánicos electrónicos y dar alternativas de solución. Los dispositivos mecánicos son mencionados para interrelacionarlos con los sistemas electrónicos y así acopiarlos unos con otros, resultando con ellos un proceso de secado de cápsulas de gelatina blanda (medicamentos).

El material de este texto se presenta en cuatro capítulos, en el primer capítulo, se identificará el problema conjuntamente con la separación de bloques y analizaremos las necesidades y requisitos para la elaboración del proceso. Luego, en el capítulo II se describirá el sistema mecánico y sus características de funcionamiento. En seguida en el capítulo III, se describen algunos transductores de temperatura y un circuito que controla el calor del secado. En cuanto a la humedad del aire que seca el encapsulado, veremos también algunos transductores y un circuito para la medición y control de ésta. Para alcanzar un secado óptimo, es necesario controlar el tiempo aproximado o medir la humedad a la salida, trataremos la unificación de los sistemas mecánicos con los electrónicos, y por último el capítulo IV, consta de algunas conclusiones y comentarios tanto personales como de mis asesores maestros y algunos autores.

Los dispositivos que veremos en este libro, se encuentran en el mercado mexicano e incluso se mencionan algunos fabricantes, esto es debido a que se tratará de crear un modelo físico para laboratorios Goñi's S. de R.L. por medio de la empresa "Distribuidoras BAPJIM RYCHIB".

C A P I T U L O   I

IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

## IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

### 1.1 CAPSULAS DE GELATINA BLANDA.

Este es un producto farmacéutico elaborado a base de una película de gelatina blanda, la cual, al final del proceso de manufactura, tiene un porcentaje de humedad muy alto, es por esto que se requiere extraer esa humedad (de humidificar) para luego ser lavadas en gas NAFTA, con el objeto de desengrasar y lubricar el producto. Por último, es vuelta a secar la cápsula para poder empacar y almacenar.

Así es como surge la necesidad de diseñar un sistema que extraiga esa humedad lo más pronto posible y con eficiencia. De lo contrario, se requeriría de mucho tiempo para la terminación y entrega de la producción.

En la actualidad, muchos laboratorios secan las cápsulas extendidas sobre charolas en un cuarto alimentándolo con aire dehumidificado sin ningún control electrónico (Automático), ni con sistema de realimentación. Además, si no se cuenta con acceso adecuado de personal al cuarto de secado, éste se está contaminando constantemente con la humedad del exterior.

Una partida de cápsula llega a durar hasta cuarenta-

y ocho horas en el cuarto de secado, y con una alta producción al sistema de secado se satura.

Así pues, se pensó en agilizar el secado utilizando el mismo cuarto pero con máquinas secadoras, usando un sistema de realimentación, controlado electrónicamente y lo más automatizadamente posible para hacer el proceso más versátil y rápido.

Con esto, se pretende lograr que una partida de cápsula entre a secado al final del día y esté lista para secarse a la mañana siguiente, ahorrándose personal en la noche. En pocas palabras, que el tiempo de secado no sea de doce horas.

## 1.2 HUMEDAD EN EL AIRE.

La humedad relativa, es el porcentaje de humedad que existe en un medio ambiente con respecto al cien por ciento que es cuando el aire no acepta más agua, es decir, que está saturado.

En el aire existe un porcentaje de humedad relativa lo cual puede presentarse al 100% y difícilmente al cero por ciento. Por ejemplo, un baño sauna que se encuentra --

con un 100% de humedad comenzaría a gotear ya que el aire no acepta más agua. Por el contrario, si tenemos un cuarto con cero % de HR, al introducir un cuerpo con líquido, éste tendería a secarse, ya que el aire absorbería el agua.

Este es el principio de la dehumidificación.

Stollberg / Hill en su libro de física "Fundamentos y Fronteras", dice que si un informe del tiempo puede decir que la humedad relativa es del 80% del vapor de agua que -- contendría si estuviera saturado. Si la atmósfera está casi saturada con vapor de agua, la humedad, como el sudor, no se evaporan fácilmente.

Así pues, este fenómeno es utilizado en algunos procesos industriales con el objeto de extraer o entregar humedad a algún proceso, producto o sistema.

### 1.2.1 ALGUNOS CONCEPTOS DE TERMODINAMICA.

Para entender el proceso de enfriamiento y calentamiento, es necesario entender que si un cuerpo A se junta con un cuerpo B de mayor temperatura, el cuerpo A absorberá calor (se calentará) y el cuerpo B entregará calor (se enfriará). Así pues cuando un cuerpo se calienta, éste está-

absorbiendo energía en forma de calor, y si un cuerpo se está enfriando está entregando calor.

El proceso de enfriamiento y calentamiento está basado en el cambio de presión absoluto de un gas ideal comprimible, tal como el freón 12, amoníaco, etc.

En particular, cuando un gas ideal se somete a compresión, éste desprende calor. Por el contrario, cuando se somete el mismo a una depresión o expansión, éste absorbe calor.

El proceso de enfriamiento no se llevó a cabo sin haber un calentamiento pues es un ciclo termodinámico por el cual, en una etapa es comprimido el gas, y en la otra se expande el mismo, volviendo a su estado inicial.

Según Gordon J. Van Wylen y Richard E. Sonntag, en su texto de fundamentos de termodinámica, el ciclo de refrigeración por compresión de vapor, puede verse en la Figura 1.

La sustancia de trabajo es un refrigerante como freón o amoníaco, que opera a través de un ciclo termodinámico. El calor se transmite al refrigerante en el evaporador donde la presión y la temperatura son bajas.

El trabajo se efectúa sobre el refrigerante en el compresor y el calor se transmite de él, con el condensador, --

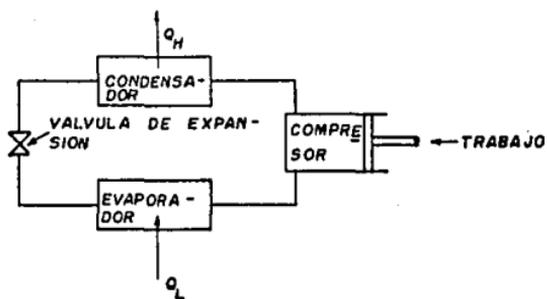


FIG. 1 UN CICLO SIMPLE DE REFRIGERACION

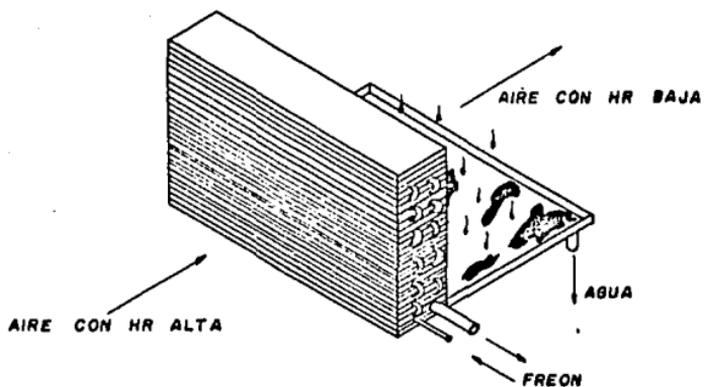


FIG. 2 ENFRIADOR O CONDENSADOR

donde la temperatura y la presión son altas. El descenso de presión tiene lugar a medida que el refrigerante fluye a través de la válvula de estrangulamiento del tubo capilar.

### 1.2.2 DEHUMIDIFICADOR.

El proceso o método para dehumidificar el aire es -- muy sencillo, pues sabemos que esto se logra condensando al mismo. Primero se hace pasar el aire por un condensador o enfriador, a una temperatura no menor de cero grados centígrados para evitar el congelamiento y obstrucción del aire. Luego, este mismo aire se hace pasar por un calentador o radiador, el cual elevará la temperatura de éste, para fin de lograr que extraiga de las cápsulas la humedad que éstas -- contengan. Dicha humedad es absorbida por el aire, el cual vuelve a tener un alto porcentaje de humedad.

### 1.2.3 CONDENSADOR.

Puesto que condensar es la transferencia de un vapor al estado sólido, un condensador para aire puede lograrse -- con un serpentín por el cual se hace circular dentro de sus tuberías, freón en estado de descompresión, lo cual hace --

que la temperatura de los paneles descienda lo suficiente como para congelar cualquier vapor que los atraviere. De esta manera, consideramos que el aire con alto porcentaje de humedad, es un vapor. Así pues, al forzar el aire al pasar por los paneles, éste se condensará, reduciendo el porcentaje de humedad.

De esta forma, se precipitarán gotas de agua que una vez fueron vapor y el aire estará con baja HP y temperatura.

#### 1.2.4 CALENTADOR Y RADIADOR.

Este puede ser un aparato similar al condensador, con la diferencia de que en este caso, se hace pasar por la tubería, un gas ideal en proceso de compresión lo cual provoca desprendimiento de calor, que eleva la temperatura de los paneles, los cuales a su vez calientan el aire que se hace pasar entre ellos.

Otro método, es haciendo un serpentín de un material llamado Nicromo, el cual tiene como característica la de transformar energía eléctrica en calorífica por medio de un voltaje y una corriente que se le aplica a éste. De igual manera se hace pasar el aire entre el serpentín (que se encuentra caliente) el cual eleva la temperatura del

aire. Este método tiene como inconveniente el alto consumo de energía.

Algunas industrias trabajan con calorías de vapor de agua o combustible y éstas son alimentadas con diésel, el -- cual resulta más económico que la energía eléctrica. Esto puede ser útil para construir un radiador, haciendo circular el vapor o humo por la tubería de un serpentín o paneles, los cuales se calientan y elevan la temperatura del aire que los atraviesa. Este proceso podemos verlo claramente en la Figura 3.

### 1.3 BLOQUE DEL SISTEMA.

Una vez entendido lo que es la humedad relativa HR y un proceso de dehumidificado y calentamiento del aire, vemos en conjunto, lo que sería un proceso de secado de capsula de gelatina blanda.

El proceso básico de secado consta de cuatro bloques fundamentales. Primero, como podemos apreciarlo en la fig. 4, es necesario enfriar el aire con un condensador, el cual no debe bajar su temperatura de cero grados centígrados, -- una vez extraída la humedad, se calienta el aire en el calentador y luego se hace pasar a una plenum de distribución.

PANALES CALTADOS POR EL VAPOR

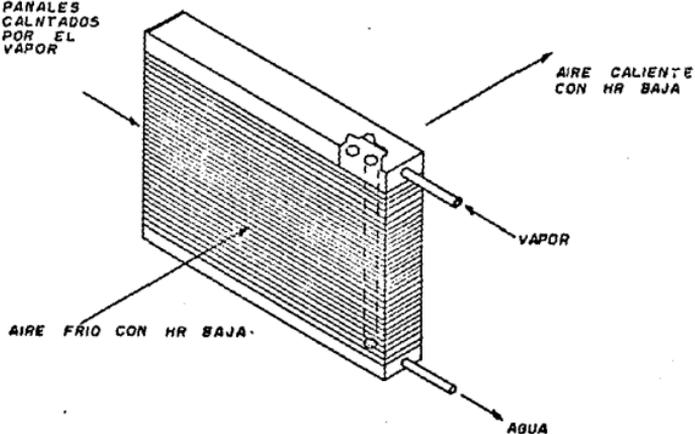


FIG. 3 RADIADOR O CALENTADOR DE AIRE CON VAPOR

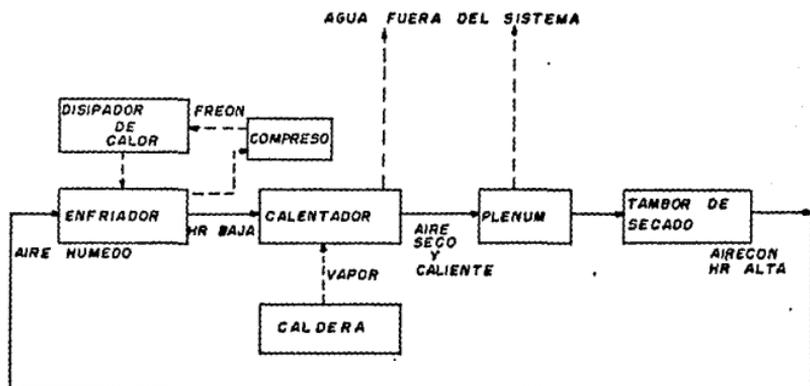


FIG. 4 PROCESO DE DEHUMIDIFICADO CON ENFRIADOR Y CALENTADOR INDEPENDIENTES

De aquí, es arrojado el aire dentro de los tambores secadores que veremos más adelante y por último podemos apreciar cómo el aire vuelve a contaminarse con la humedad de las cápsulas.

### 1.3.1 CONDENSADO Y CALENTADO SIMULTANEO.

Podemos condensar y calentar el aire con una misma bomba y un solo gas, tal como vemos en la figura 5.

De esta forma se aprovecha el calentador y enfriador aunque con un solo proceso, surge el problema de que cuando la temperatura excede de los  $28^{\circ}\text{C}$  es necesario parar el calentador, pero al pararlo a éste, también se tiene que suspender el condensador. Lo mismo, si la temperatura en el condensador baja de cero grados centígrados, tiene que detenerse el compresor para evitar la obstrucción por congelamiento.

Es por esto que con este sistema no podemos obtener la mayor eficiencia posible, por lo que descartamos este modelo.

### 1.3.2 CONDENSADO Y CALENTADO INDEPENDIENTES.

Este es un proceso más complicado, pero más eficiente.

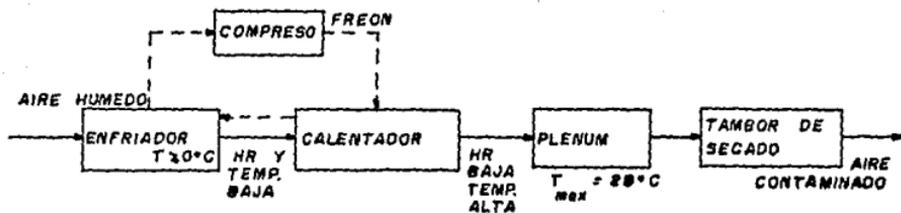


FIG. 5 DEHUMIDIFICADO CON ENFRIADOR Y CALENTADOR INTEGRADOS

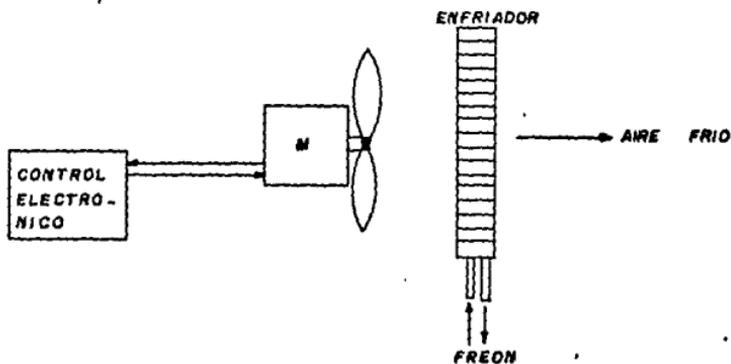


FIG. 6 CONTROL DEL ENFRIADOR EN EL MOTOR

Además tiene opciones múltiples, según los recursos del interesado.

Como podemos ver, la figura 4 nos muestra el sistema con el condensado y calentado, independientes en lo que respecta a su fuente de energía. El condensador tiene su propia bomba y su propio disipador de calor, el cual es arrojado a otro lugar. Por su parte, el calentador tiene opción a manipularse independientemente del condensador, pues éste absorbe energía eléctrica, compresión de freón, vapor o combustible. Así pues podemos desconectar una y la otra si que funcionando total o parcialmente.

Además, en este caso se está utilizando un sistema de realimentación de aire, lo que hace más rápido y eficiente el proceso.

En nuestro caso, como la empresa que requiere de este sistema, trabaja con caldera, el calentador será diseñado -- con el sistema de paso de vapor.

## C A P I T U L O   I I

### DISEÑO DEL SISTEMA MECANICO DE SECADO

## DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO DE SECADO

Al hablar del sistema mecánico de secado, nos referimos a las partes puramente mecánicas de lo que es todo el proceso. Estas partes o máquinas vienen siendo cuatro unidas entre ellas por un ducto para el aire y entrelazadas por líneas eléctricas para los controles electrónicos.

Así pues, las cuatro máquinas son: el condensador o conjunto refrigerante, el calentador, un plenum y un tambor de secado. Estas cuatro máquinas, las veremos de un punto de vista de diseño industrial y no matemático, pues nos desviaríamos mucho del tema.

Como vimos anteriormente, las tres máquinas se interrelacionan por el ducto de aire y por las líneas que transmiten las señales eléctricas del control. Esto lo podemos ver claramente en el diagrama a bloques de todo el proceso y lo veremos con más detalle en los siguientes capítulos.

### 2.1 CONDENSADOR.

Ya vimos en el capítulo uno, como funciona un condensador, analizamos un método sencillo y el más usual que es el ciclo de refrigeración por medio de la compresión y descompre

sión de vapor. Este método es usado en refrigeradores, aire acondicionado, congeladoras, etc.

No nos meteremos más por el momento sino hasta relacionar este sistema con el control electrónico que se requiere.

Así pues, tenemos como variables a controlar, el flujo del aire que circula entre los panales del condensador. Esta se lleva a cabo por medio del motor impulsor del aire, ya sea regulando sus revoluciones o bien apagando o encendiendo el mismo, según se requiera.

Otra variable puede ser la circulación del freón, por medio del compresor ya que si éste es apagado, las celdas no se enfrían. De esta manera podemos controlar directamente a la temperatura y no al flujo.

Vemos pues que ambas formas sirven para regular flujo y temperatura, pero en nuestro caso, requerimos el control de la temperatura, pues deseamos que ésta no baje de cero grados C. en el condensador.

Es por esto que utilizaremos el segundo sistema que es controlando el motor del compresor, apagándolo cada vez que baje la temperatura de cero, encendiéndolo cuando esté arriba de cero. Por lo tanto añadiremos un circuito electrónico con sensores en el panel enfriador. Esto lo veremos --

con detalle en el capítulo tercero.

## 2.2 CALENTADOR.

Como podemos recordar, conocimos ya algunos métodos para calentar el aire tal como un ciclo de refrigeración por medio del disipador de calor. Vimos también que al controlar la temperatura del aire en el enfriador, se tiene que modificar el funcionamiento del compresor, lo cual afecta al calentador. Así es como ya desechamos este sistema para calentar el aire.

Por otro lado vimos el método por resistencias, combustible y vapor, pero como se tiene a la mano en la empresa una caldera, se estudiará el control de un calentador de vapor de agua.

En este sistema sólo tenemos una variable a controlar, que es el flujo de vapor en los tubos de los panales, pues al cortar el flujo de éste no se calientan las celdas. Veamos la figura 8 para entenderlo más claramente.

Este flujo de vapor es controlado por medio de una válvula a la entrada. Esta puede ser de varios tipos, ya que existen muchas de ellas, como solenoides, de posición operadas por motor servo, electroneumáticas y electrohidráulicas.

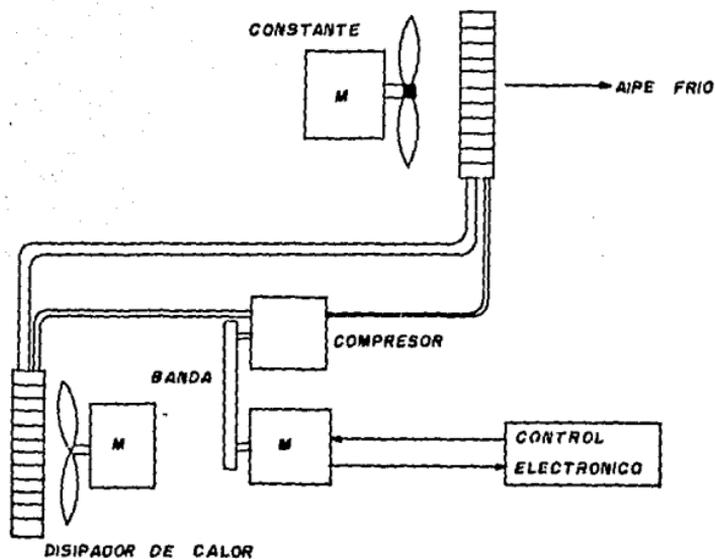


FIG. 7 SISTEMA DE ENFRIADO CON CONTROL EN EL COMPRESOR

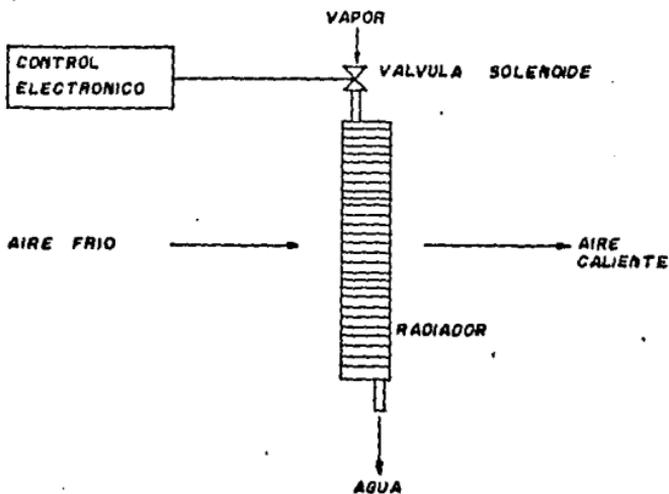


FIG. 8 CONTROL DE TEMPERATURA

(según Timothy J. Maloney).

De estas válvulas, la que más nos acomoda es la sole -  
noide, pues es la más práctica, económica y la más versátil -  
para nuestros propósitos, pues se pretende activarla cuando -  
no exceda la temperatura del aire de unos 28 grados C. Es de  
cir, que funcionará cerrada o abierta, pero no en partes pro-  
porcionales (sistema todo o nada).

#### 2.2.1 VALVULAS SOLENOIDE.

Timothy J. Maloney nos propone una válvula solenoide  
como la que vemos en la Fig. 9.

Esta válvula, como podemos ver, consta de una armadura  
que se encuentra dentro de una bobina solenoide. Esta armadu  
ra tiene un vástago, el cual tiene un lado punteagudo y al --  
otro extremo un resorte que hace que la punta se asiente so -  
bre una perforación, tapándola cuando no hay una fuerza magné  
tica que logre vencer el empuje del resorte.

Si se aplica una corriente sobre la bobina, se ejercerá  
una fuerza sobre la armadura que tiende a centrarse en la  
bobina, logrando vencer al resorte. Así pues, de esta manera  
es destapado el hoyo que obstruía el vástago y por ahí mismo -

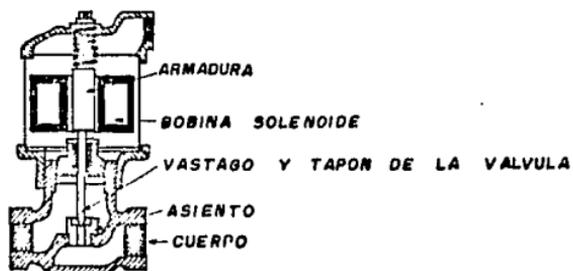


FIG. 9 CORTE DE VALVULA SOLENOIDE

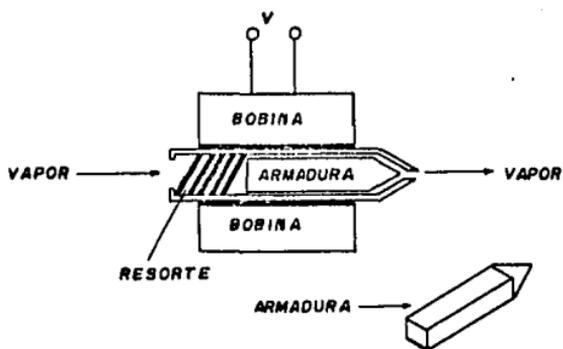


FIG. 10 VALVULA SOLENOIDE AXIAL

circulará el fluido deseado (en este caso vapor).

Otra válvula muy sencilla es como la que vemos en la -  
Figura 10.

Puesto que el pistón es cuadrado, y la camisa redonda, puede circular el aire entre éstas con facilidad. Este fun -  
ciona igual al anterior, sólo que el flujo circula sobre el -  
mismo vástago.

Cualquiera de estas dos válvulas nos sirve, pero si lo vemos del puesto de vista económico y rápido de fabricar, la segunda tiene más ventajas, pues no se necesita trabajo de --  
fundición y requiere de menos material.

Por último, para que quede bien claro, tenemos que con cero corriente, cero flujo de vapor y con una corriente, hay flujo de vapor.

### 2.3 PLENUM.

El plenum es la parte donde se distribuye el aire con HR baja y temperatura poco alta, a las máquinas secadoras.

Esto es, al final de los ductos, se coloca el plenum y de ahí salen distintos pequeños ductos hacia las secadoras.

El propósito de éste es el dehomogeneizar el aire y repartirlo a cada secadora en las mismas condiciones de temperatura y humedad.

Es aquí donde tendremos que medir la humedad con su respectivo transductor, ya que se distribuye el aire directamente a los tambores.

Esto lo podemos apreciar en la Fig. 11 sólo que hay un detalle. En realidad es muy difícil lograr una  $H_p$  del cero por ciento y nosotros requerimos de una HR lo más bajo posible, así que prácticamente nunca se apagará el compresor por alcanzar 0% de HR sino más bien porque se bajaría de los cero grados en el panel del condensador.

#### 2.4 TAMBOR DE SECADO.

Esta es la máquina, en la que se encuentra el producto que se desea secar. Consta de un tambor perforado que gira, haciendo que las cápsulas estén en contacto con el aire el mayor tiempo posible. Para ver más claramente, observemos la fig. 11. Este tambor, está sentado sobre cuatro rodillos en dos flechas. Una de éstas es la que tiene la fuerza motriz por medio de bandas y una catarina directo al tambor que tiene una cadena en su periferia.

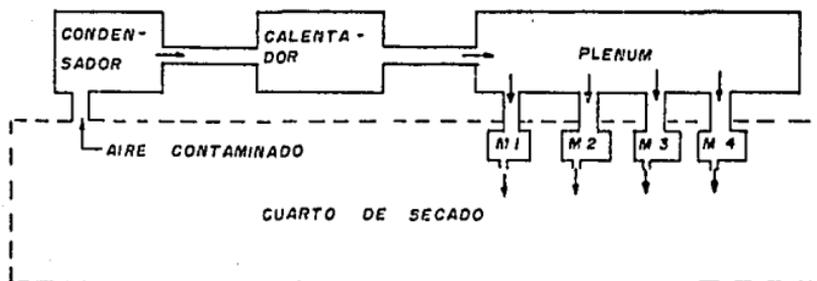


FIG. 11 CICLO DE SECADO

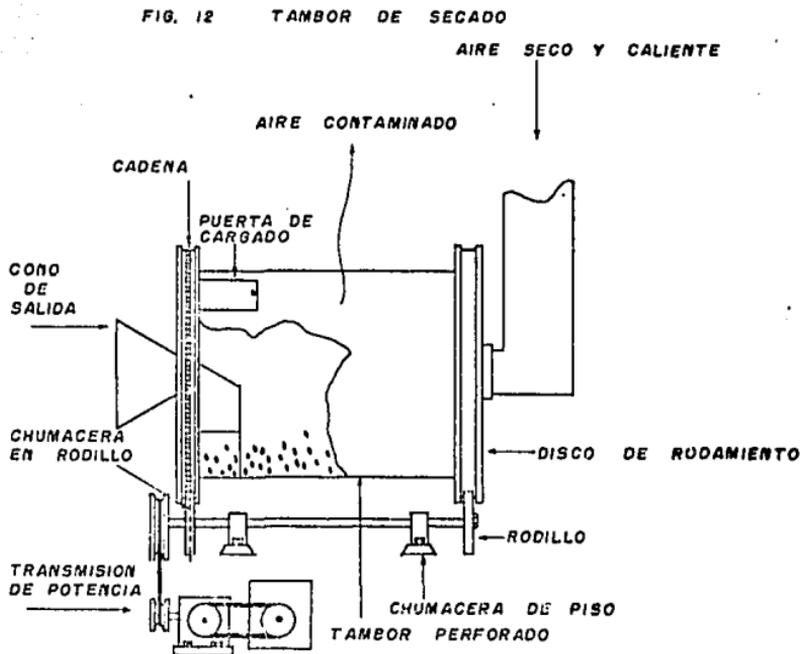


FIG. 12 TAMBOR DE SECADO

Este consta de unas pequeñas cejas en el interior del cilindro de forma que cuando gira en un sentido, las cápsu - las son empujadas hacia un costado y cuando gira en un senti - do, éstas son impulsadas hacia el otro costado. Así pues, - de un lado del tambor sólo tenemos entrada de aire y del --- otro lado la salida de las cápsulas cuando se requiera.

Sólo se requiere de invertir al giro de éste para sa - carlas o mantenerlas dentro, pues del lado de la salida de - cápsulas se tiene un cucharón con acceso en un solo sentido.

En esta máquina se colocará un sensor de HR a la sali - da del aire, con el propósito de compararla con la lectura - de HR de la entrada (en el plenum). Como vimos en el capítu - lo I cuando ambas HR sean iguales, significa que las cápsu - las ya no están desprendiendo humedad y por consiguiente, es - tán listas para retirarse. Otra opción para este propósito es colocar un temporizador, el cual a cierto tiempo de haber arrancado (digamos 12 horas) éste accionará un sistema de -- alarma o apagará la máquina.

Todo esto lo veremos con más detalle en el capítulo -- tercero.

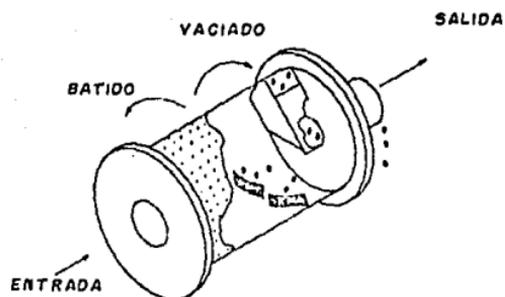


FIG. 13 SISTEMA DE DESCARGA DE CAPSULAS

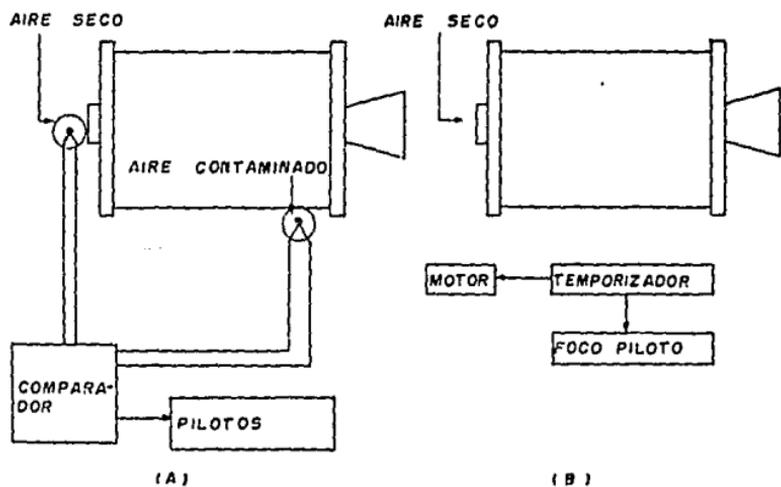


FIG. 14 CONTROL DE TERMINADO. (A) COMPARANDO LA HUMEDAD. (B) CON TIEMPO.

C A P I T U L O   I I I

·   DISEÑO DEL SISTEMA MECANICO ELECTRONICO

## DISEÑO DEL SISTEMA MECANICO ELECTRONICO

Para el control de los sistemas mencionados, se diseñarán algunos circuitos electrónicos y se describirá su funcionamiento a continuación.

Para ello, es preciso entender cuáles son las variables a controlar y los transductores que utilizamos para la lectura de éstas.

### 3.1 VARIABLES A CONTROLAR.

Las variables que pretendemos controlar prácticamente son dos; la temperatura y la HR. Es por esto que veremos un poco acerca de los transductores de temperatura y HR en los siguientes capítulos.

Estas dos variables se subdividen en concreto a los controles de cada bloque tal como sigue: El control de temperatura se lleva a cabo en el calentador y el condensador; el control de HR se realiza en el plenum y en el tambor de secado.

Esto puede apreciarse con más claridad en la figura -  
15.

### 3.1.1 TEMOCUPLAS Y TERMISTORES.

Estos son los transductores que transforman una señal térmica en eléctrica. De tal forma que, al variar la temperatura a su alrededor, éstos experimentan cambios o propiedades eléctricas proporcionalmente.

La termocupla son dos alambres de distinto material unidos punta con punta. Un extremo se coloca en la parte caliente y el otro en la parte fría, formándose así una diferencia de potencial entre ambos materiales; esto por un fenómeno llamado efecto seebeck. El voltaje generado, es proporcional a la diferencia de temperaturas entre las uniones. -- Además tiene como ventaja que la proporción de la temperatura con el voltaje, es constante. Pero, sin embargo, surge el problema de que la parte fría no siempre está a la misma temperatura, lo que provoca error en nuestra lectura, ya que se toma como referencia una temperatura ambiente que está -- cambiando constantemente.

De cualquier forma, no utilizaremos este transductor, ya que, generalmente, es utilizado para muy altas temperaturas y es poco comercial.

Por su lado, existen los llamados termistores que ya están muy comercializados y son muy económicos. Estos se dividen en termistores de coeficiente positivo y negativo. Los

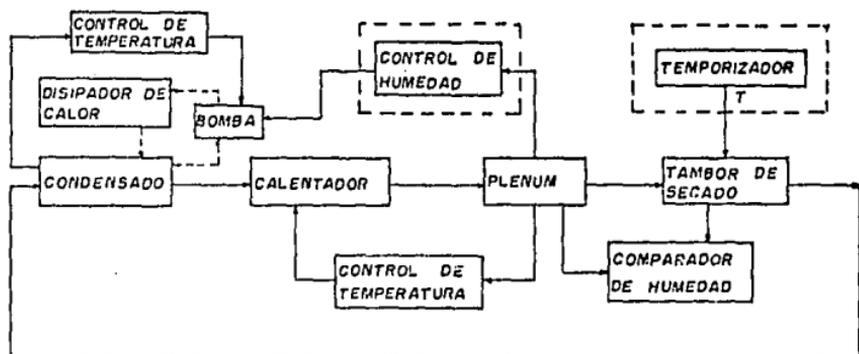


FIG. 15 CONTROLES SOBRE EL SISTEMA DE SECADO



FIG. 16 CONTROL DE TEMPERATURA EN EL ENFRIADOR

de coeficiente positivo, son resistencias que aumentan cuando la temperatura aumenta; los de coeficiente negativo, disminuye su resistencia cuando aumenta la temperatura.

La diferencia práctica entre ambos, es que: los de -- coeficiente negativo, para medir temperaturas de banda estrecha, son bastante utilizados, debido a que proporcionan una gran respuesta a pequeños cambios de temperatura. Por otra parte, los de coeficiente positivo, son usados cuando es ancha la banda de temperatura, ya que son poco sensibles a los cambios de temperatura.

Según Thimoty J. Maloney sugiere que, como regla general, los termistores de coef (+) son preferibles cuando es ancha la banda esperada de temperatura.

### 3.2 CONTROL DE TEMPERATURA DEL CONDENSADOR.

Como podemos recordar, en el condensador, el control a realizar es limitar la temperatura a un mínimo de cero grados centígrados. Esto se llevará a cabo con un circuito electrónico, el cual detecta la señal de temperatura por medio de un termistor.

En pocas palabras, se desea que el motor del compresor funcione hasta cuando se alcancen los cero grados, que enton-

ces se parará el compresor y cuando se eleve nuevamente la temperatura, vuelva a encenderse el motor.

Puesto que en este caso no requerimos de una lectura de temperatura precisa, podremos utilizar un circuito que no trabaje linealmente, ya que es mucho más sencillo y económico.

Si queremos apreciar mejor todo el conjunto, veremos que éste consta de cinco bloques, los cuales graficamos en la fig. 16.

La señal de entrada es la temperatura tomada del Serpéntin, la cual es transformada o convertida a una señal eléctrica por medio del sensor transductor. Esta señal, debe ser almacenada un corto tiempo, para crear un intervalo entre el accionamiento de encendido y apagado del motor, es por eso que se coloca un retardador y un rectificador, ya que la señal es negativa todo el tiempo, hasta que llega a cero grados centígrados la temperatura. A continuación, esa señal, necesitamos amplificarla y hacerla más sensible a cambios de temperatura, por lo que entra a un operador.

Llamamos operador a un circuito electrónico, el cual a su entrada se tiene una señal analógica y como respuesta a esta, se tiene a la salida una señal digital respondiendo como cero o uno. Un ejemplo de esto puede ser una compuerta lógica.

Una vez sensibilizada y amplificada se aísla del sistema de potencia por medio de un acoplador óptico, el cual responde a la señal en dos estados: sí o no, accionando un relevador electrónico que es la unidad de potencia.

Así pues, veremos a continuación cada uno de los bloques por separado acoplándolos unos a otros.

### 3.2.1 SENSOR TRANSDUCTOR.

Este circuito consta de un termistor de coeficiente negativo, ya que éstos son recomendados para bandas de temperaturas estrechas, eliminando así, lo más posible, la linealidad entre temperatura y resistencia de éstos.

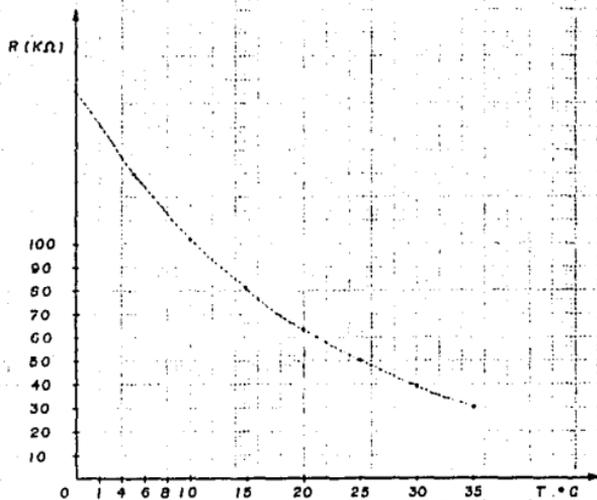
Este termistor es muy sensible ya que varía su resistencia - 4.9% por grado centígrado a una temperatura de 25 - grados centígrados.

Puesto que el rango de operación del termistor es muy corto, requerimos de un dispositivo muy sensible, por lo que se escogió el de más alto coeficiente de temperatura en el manual de dicopel.

Para obtener la curva de respuesta de temperatura-resistencia, según datos de dicopel, se tabularon desde cero hasta 35 grados centígrados, restándole -4.9% a la resisten-

FIG. 16-A

CURVA DE RESPUESTA DE RESISTENCIA  
CONTRA TEMPERATURA DE UN TERMISTOR  
CON  $-4.9\%/^{\circ}\text{C}$  A  $25^{\circ}\text{C}$ .



cia anterior desde 25°C hasta 35°C.:

$$t_n = t_{25^\circ\text{C}} (0.952)^{n-25} \quad n = \text{grados}$$

y sumándole el 4.9% a la resistencia anterior desde 25°C hasta 0°C.

$$\begin{aligned} \text{Por ejemplo, } t_n &= t_{25^\circ\text{C}} (1.049)^{25-n} \quad n = \text{grados} \\ \text{tenemos que para una temperatura de } 5^\circ\text{C} \\ t_n &= 50,000 (1.049)^{25-5} = 130,160 \end{aligned}$$

Dicha tabulación se grafica en la figura 16-A.

Todos los valores de  $R_t$  para los cálculos, se obtienen de la tabulación anterior.

Para tomar lectura de la temperatura por medio del -- transductor, utilizamos un circuito puente ya que el medidor que detecta el balance del puente, puede ser muy sensible. -- Por lo que puede detectarse un ligero desbalance en el puente y corregirlo. Además, la señal de salida debe ser negativa en un rango de 35 grados centígrados a 5 grados centígrados. A cero grados centígrados ésta deberá tener un voltaje positivo para accionar el operador.

El circuito propuesto es el de la Fig. 17, del cual tenemos, que la resistencia del termistor a 0°C. será de 15K -- y suponemos que  $R_1$  y  $R_2$  son de 50 K, ya que la resistencia --

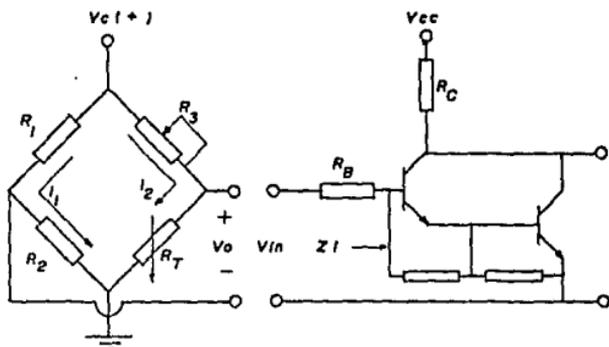


FIG. 17

FIG. 18

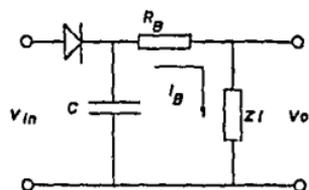


FIG. 19

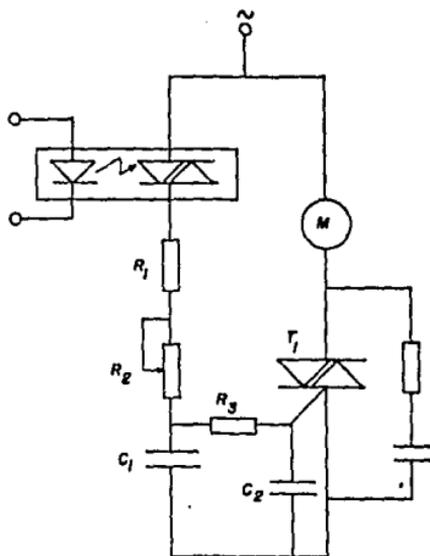


FIG. 20

del termistor a 25°C. es de 50 K. De esta forma el puente se balancea para partir de esto a calcular el circuito.

Puesto que estamos hablando de 0°C, tenemos que el voltaje de salida  $V_o$  debe ser de mínimo 0.6V, pues es el requerido para accionar el operador. De cualquier forma con  $R_3$  se ajusta este voltaje a lo requerido en la realidad por el operador. Así pues, tenemos los siguientes datos:

$$t = 0^\circ \text{C} \quad R_1 = 50 \text{ K} \quad R_2 = 50 \text{ K} \quad R_T = 165 \text{ k} \quad V_o = 0.6 \text{ V}$$

$$V_{CC}^{(+)} = 12 \text{ V.}$$

Ahora obtendremos los valores de las corrientes, con análisis de mallas como sigue:

$$(1) \quad V_{CC} = i_1 (R_1 + R_2) \quad i_1 = \frac{V_{CC}}{R_1 + R_2} = \frac{12}{50\text{K} + 50\text{K}}$$

$$i_1 = 0.12 \text{ mA}$$

$$(2) \quad V_o = i_1 R_2 + i_2 R_T = 0.6$$

$$\text{despejando } i_2 = \frac{i_1 R_2 + 0.6}{R_T}$$

$$\text{sustituyendo } i_2 = \frac{0.12 (50) + 0.6}{165 \text{ k}}$$

$$i_2 = 40 \mu\text{A}$$

Ya con esto, podemos formar nuestra malla con  $V_o$  en el sentido de  $R_3$  y tenemos que:

$$(3) \quad V_o = -R_3 i_2 + R_1 i_1 = 0.6$$

$$\text{despejamos } R_3 = \frac{-0.6 + R_1 i_1}{i_2}$$

$$R_3 = 135k$$

$$\text{sustituyendo } R_3 = \frac{-0.6 + (50) (.12)}{40 \mu A}$$

$$R_3 = 150k$$

De esta forma el valor aproximado para el ajuste del puente, pero se logra con más exactitud, colocando un potenciómetro de unos 150k y ajustándolo al valor requerido por el operador para que accione a cero grados.

Si analizamos este circuito a una temperatura de  $5^\circ C$ , tenemos que el termistor tendrá una resistencia aproximada de  $R_T = 130k$ , veremos qué voltaje se genera a la salida, --- pues sabemos que  $i_1 = 0.12 \text{ mA}$  e  $i_2$  cambiará como sigue:

$$(2) \quad i_2 = \frac{V_c}{R_3 + R_T}$$

$$\text{Sust. } i_2 = \frac{12}{135k + 130k}$$

$$i_2 = 45 \mu A$$

Así sustituimos con la fórmula (3) y tenemos:

$$(3) \quad v_o = i_1 R_1 - i_2 R_2$$

$$\text{Sust.} \quad v_o = 0.12 (50) - 0.45 (135)$$

$$v_o = 6 - 6.075$$

$$v_o = -0.075 \text{ V}$$

Este voltaje es negativo, por lo que no acciona el operador y el compresor sigue funcionando.

Para saber el voltaje máximo negativo que se obtendrá, tenemos que, a unos 35°C, la resistencia de  $R_T$  será de unos - 30k.

Si hacemos el análisis anterior, tenemos que:

$$i_1 = 0.12 \text{ mA}$$

$$i_2 = \frac{12}{30k + 135k}$$

$$i_2 = 72.7 \mu\text{A}$$

Sustituimos con (3) y

$$v_o = 0.12 (50) - 0.0727 (135) = 6 - 9.81$$

$$v_o = -3.81 \text{ V}$$

Este voltaje es el máximo inverso que soportará el díodo del retardador.

### 3.2.2 OPERADOR.

Vemos primero el operador, que el retardador, porque se requieren datos del primero, para el cálculo del segundo.

Más tarde veremos el cálculo del retardador.

Como vemos, el circuito de la Fig. 18 consta de un integrado por un Darlington, el cual tiene las siguientes características:

Fig. 18

| LIMITES                  | OPERACION               |
|--------------------------|-------------------------|
| $P = 0.75 \text{ w}$     | $v_{cE} = 10 \text{ v}$ |
| $i_c = 1 \text{ A}$      | $i_c = 1 \text{ A}$     |
| $V_{cBo} = 60 \text{ V}$ | $h_{fE} = 4000$         |
| $V_{cEo} = 50 \text{ V}$ |                         |
| $V_{EBo} = 5 \text{ V}$  |                         |

Este operador es tan sólo un interruptor electrónico que consta del amp. darlyngton en corte y saturación, lo -- cual se logra aplicando un voltaje de 0.6 de base a emisor para ponerlo en saturación o menor de 0.6V para ponerlo en corte.

Se optó por utilizar Darlington por la gran ganancia - de corriente que adquieren éstos, dando así una gran sensibilidad.

Para calcular el voltaje de entrada, proponemos que -  $R_B = 1k$  y  $R_L = 1k$ . Así, sabiendo que:

$$(1) \beta = \frac{I_c(\text{sat})}{I_B(\text{sat})}$$

$$(2) \text{ despejamos y } I_B(\text{sat}) = I_c(\text{sat})/\beta$$

Pero como (3)  $I_c(\text{sat}) = V_{cc}/R_L$  con (3) en (2)

$$(4) I_B(\text{sat}) = V_{cc}/\beta R_L$$

Sustituyendo  $I_B(\text{sat}) = 12/4000(1000) = 3 A$

Si hacemos un análisis a la entrada del amplificador:

$$\text{sust. (4) en (5) } V_{in} = V_{cc} R_B/\beta R_L + 0.6$$

$$V_{in} = 12(1k)/400(1k) + 0.6 \quad V_{in} = 0.603 \text{ v}$$

Este voltaje es el requerido a la entrada para que entre en saturación al amplificador.

Para obtener la impedancia equivalente de base emisor sabemos que  $V_{EB} = 0.6 = Z_i i_B(\text{sat})$  despejamos  $Z_i$  para tener - que:

$$Z_i = 0.6 / i_B$$

$$Z_i = 0.6 / 3\mu A$$

$$Z_i = 0.2 M$$

### 3.2.3 RETARDADOR RECTIFICADOR.

Esta parte del circuito, hace que haya un intervalo - de tiempo, cuando se apaga el compresor para alcanzarse los cero grados. Esto es, una vez que se apaga éste, tardará -- unos tres minutos de menos para volver a encender.

Además, se coloca un diodo a la entrada para utili -- zar únicamente la señal positiva del puente ya que es cuando se acciona el operador.

El circuito que proponemos es el de la figura 19 y pa -- ra el cual se tiene como dato que:

$$V_{in} = 0.6V$$

$$i_B = 0.3\mu A \quad t = 3 \text{ minutos mínimo.}$$

Para el análisis de ésta, utilizamos la fórmula para un circuito RC simple que nos propone William H. Hayt Jr. - Kack E. Kenmerly en su libro de Análisis de circuitos e in -- geniería y que es el siguiente:  $V_o(t) = V_{in} e^{-t/RC}$  de donde

$V_o(t)$  es el voltaje de salida con respecto al tiempo y  $V_{in}$  es el voltaje inicial.

Partimos de un voltaje inicial de 0.6v a un voltaje de unos 0.4v y así:

$$V_o(180) = 0.6 e^{-(180/RC)} = 0.4$$

$$\text{despejando } e^{-(t/RC)} = 0.4 / 0.6$$

$$\ln(0.6 / 0.4) = t/RC$$

$$\text{Puesto que } R \ll C \ln(1.5) = t$$

$$Z_1 \gg R_B \text{ entonces } R_B = 0$$

$$C = t/RL \ln 1.5$$

$$C = 180 / 0.2 \text{ M} (0.405)$$

$$C = 2,222 \mu\text{F}$$

Esto significa que, para que el voltaje de 0.6v baje hasta 0.4v en un tiempo de 3 segundos se necesita un condensador con una capacidad de 2,222 $\mu$ f.

Por otra parte, decimos que alcance unos 0.4v que son suficientes para dejar de saturarse el amplificador y dejar de esta en conducción.

El diodo deberá de soportar más de 4v inversos que son los que nos da el puente a 35 grados C. Así pues, optamos --

usar un diodo de 5 volts y unos 1.5A que es de los más chi -  
cos y económicos.

#### 3.2.4 ACOPLADOR OPTICO.

Este acoplador óptico es sólo para aislar al circuito de los ruidos del motor y vibraciones. Por esto es que escogemos un acoplador con un diodo a la entrada y un triac a la salida, el cual se disparará al encender el diodo. Dicho -- diodo estará encendido mientras el amplificador del operador esté en corte, mas cuando se satura, se desviará la corriente del diodo por el colector-emisor del transistor.

Las características de éste son: Una corriente de disparo del led de 10mA y una máxima tensión de bloques del tioristor de 250 V. La desventaja de éstos, es que son de poca potencia y por eso no se puede usar directamente en el motor, por lo que se utiliza para disparar otro triac de mayor capacidad.

#### 3.2.5 UNIDAD DE POTENCIA.

La unidad de potencia es el sustituto electrónico de un relevador. Es decir, que en lugar de usar un Relé Magnético, utilizaremos un circuito electrónico.

La figura 20 nos muestra un circuito con un triac accionado por un disparador de gatillo. Este funciona sólo -- cuando el tiristor del acoplador óptico conduce.

El tiristor seleccionado tiene las siguientes características de funcionamiento:

SK 6685

$$I_T \text{ (RMS)} = 30 \text{ A}$$

$$I_{Tsm} = 300 \text{ A}$$

$$I_{rup} = 400 \text{ v}$$

$$I_g = 50/80 \text{ mA}$$

$$V_g = 2.5 \text{ v}$$

$$P_{GM} = 40 \text{ w}$$

Para calcular las resistencias  $R_1$  y  $R_2$  utilizaremos el valor de  $C_1 = 0.22 \mu\text{f}$  propuesto en un circuito RC de control de puerta en el texto de Timothy J. Maloney. Además, puesto que la constante  $\text{Req}C_1$  debe de estar entre 7 a 30 m seg. el producto de  $(R + R_2) C_1$  debe estar en el rango de  $1 \times 10^{-3}$  a  $30 \times 10^{-3}$

Así pues suponemos un rango de ajuste de  $2 \times 10^{-2}$  a  $25 \times 10^{-3}$  como la mínima constante de tiempo es cuando  $R_2 = 0$  tenemos que:

$$(R_1 + 0) (0.22 \mu\text{f}) = 2 \times 10^{-3}$$

despejamos y

$$R_1 = 9,090.9$$

$$R_1 = 10\text{K}$$

Ahora bien, la máxima constante de tiempo o máximo ángulo de disparo es cuando  $R_2$  actúa en su totalidad y así:

$$(R_2 + 10K)(0.22 \mu f) = 25 \times 10^{-3}$$

despejando

$$R_2 = 103,636$$

$$R_2 = 100K$$

Con  $C_2 = 0.333 \mu f$  y con base a la experiencia según Timothy J. Maloney, la constante  $R_3 C_2$ , debe ser cercana al menor valor del rango de ajuste. Asumamos entonces 5mseg. Por tanto:

$$(R_3)(0.033 \times 10^{-6}) = 5 \times 10^{-3} \quad R_3 = 150K$$

Este circuito recorta la forma de onda senoidal ajustando  $R_2$ , pero como se usa un motor de alterna  $R_2$  se ajusta a quedar todo el ciclo completo de la onda.

Una vez analizados todos los bloques, vemos como forman el control de la temperatura del enfriador. Dicho control será ajustado en su punto exacto con la resistencia  $R_3$  del puente con un termómetro patrón para obtener una buena respuesta.

### 3.3 CONTROL DE TEMPERATURA DEL CALENTADOR.

En este caso, lo que tenemos que controlar, es que la

temperatura que hay en el plenum no exceda de 28 grados centígrados. Este se logrará cerrando la válvula de paso de vapor que se coloca a la entrada del serpentín.

El conjunto está formado por el diagrama de bloques de la fig. 21, el cual funciona con el mismo método que el circuito del enfriador. La diferencia está en que el sensor transductor tiene otro valor de resistencia de ajuste, pues el punto de control de temperatura, se recorre al rango de 5 grados centígrados a 28 grados centígrados. Por su lado, la unidad de potencia se suprime, pues se usará sólo una bobina directa del optoacoplador.

Es por esto que a continuación veremos sólo el sensor transductor y el acoplador óptico. Los demás bloques son iguales a las del enfriador.

### 3.3.1 SENSOR TRANSDUCTOR (CALENTADOR)

Como podemos ver en la figura 22, el puente es igual al del enfriador, sólo que los puntos de referencia de  $V_o$  cambian ya que se limitará la temperatura en un máximo y no en un mínimo como en el enfriador. Además, el ajuste al accionamiento del sistema es a los 28 grados centígrados, por lo que  $R_3$  se ajusta a un valor como vemos enseguida. DATOS =

$$t = 28^{\circ}\text{C} \quad R_1 = 50\text{k}$$

$$V_o = 0.6\text{v} \quad R_2 = 50\text{k}$$

$$R_3 = ? \quad R_t = 43\text{k}$$

TEMPERATURA EN PLENUM

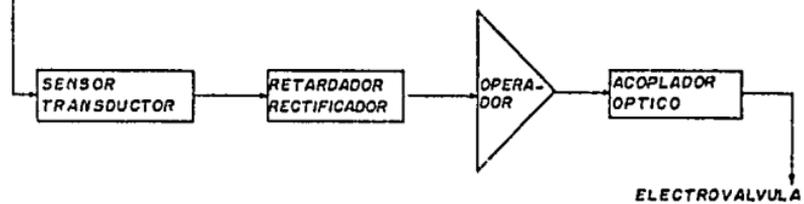


FIG. 21 CONTROL DE TEMPERATURA EN EL CALENTADOR

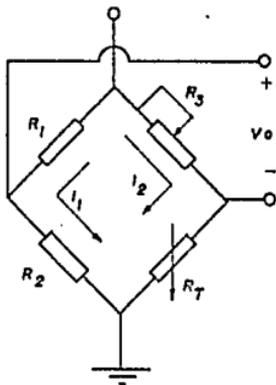


FIG. 22

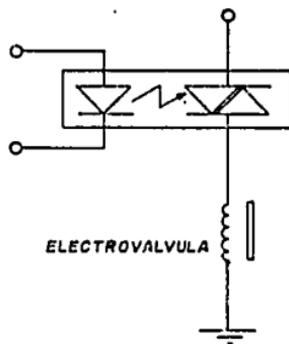


FIG. 23

Si seguimos la malla que recorre tenemos que:

$$(1) V_c = i_1 (R_1 + R_2)$$

Sustituyendo tenemos que:

$$i_1 = \frac{V_c}{R_2 + R_1}$$

$$i_1 = \frac{12}{100 \text{ k}}$$

Y así  $i_1 = 0.12 \text{ mA}$

Para obtener  $i_2$ , analizamos la malla de salida con  $R_2$  y  $R_3$  y así

$$(2) V_o = -i_2 R_T + i_1 R_2 = 0.6$$

despejando  $i_2$

$$i_2 = \frac{i_1 R_2 - 0.6}{R_T}$$

$$i_2 = \frac{(0.12)(50) - 0.6}{43 \text{ k}}$$

así  $i_2 = 0.125 \text{ mA}$

Por último, de la salida a las resistencias  $R_2$  y  $R_t$  tenemos que

$$V_o = -R_1 i_1 + R_3 i_2 = 0.6$$

despejamos  $R_3$  y

$$R_3 = \frac{R_1 i_1 + 0.6}{i_2}$$

$$R_3 = \frac{50(0.12) + 0.6}{.125 \text{ mA}}$$

$$R_3 = 52.589 \quad R_3 = 53k$$

Esta resistencia es la de ajuste, pero se coloca un potenciómetro de unos 100 k para poder ajustar en la práctica con una temperatura patrón.

Ahora bien, a una temperatura de unos 5°C, el voltaje de salida es insuficiente para accionar a saturar el operador, ya que, según cálculos,

$$i_1 = 0.12 \text{ mA}$$

$$i_2 = \frac{V_c}{R_3 + R_T}$$

$$i_2 = \frac{12}{53k + 50k}$$

$$i_2 = 0.11 \text{ mA aprox.}$$

$$\text{Sustituyendo} \quad V_o = -R_1 i_1 + R_3 i_2$$

$$\text{tenemos que} \quad V_o = -50(0.12) + 53(.110)$$

$$V_o = -0.17v$$

lo cual nos indica que  $-0.17$  v no son suficientes para ope-  
rar.

### 3.3.2 ACOPLADOR OPTICO.

Como un repaso, vemos que al alcanzar unos  $28^{\circ}\text{C}$ , a la entrada del operador, se tendrán  $0.6\text{v}$  que serán suficientes para poner en conducción al transistor, el cual desvía la co-rriente del led, apagándose éste y, por consiguiente, desconectando el triac. Al desconectarse éste, deja de pasar co-rriente hacia la bobina de la válvula y así se cerrará la --misma, impidiendo el paso de vapor al serpentín. Este aco-plamiento lo vemos en la fig. 23.

Como podemos ver, estos circuitos se formaron por módulos, los cuales algunos son iguales y otros distintos pero no en mucho. Esto hace que sea más fácil de repararse en ca-so de descompostura.

### 3.4 HIGROMETROS RESISTIVOS.

Este dispositivo es un transductor de humedad relativa, el cual, con el aumento de HR, disminuye su resistencia. Esto se logra por medio de unos electrodos de metal laminado, sumergidos en cloruro de litio y esto encapsulado con plásti-co. Puesto que el cloruro de litio tiene una gran capacidad

de absorción de la humedad, hace que la resistencia disminuya entre las placas, cuando más humedad haya.

El higrómetro anterior, no se encuentra en la ciudad de Guadalajara, pero es posible fabricarlo o traerlo del extranjero; por lo que optamos por utilizarlo para la construcción de nuestro comparador de humedad.

Dicho dispositivo, lo propone Timothy J. Maloney en su libro de Electrónica Industrial y nos proporciona una gráfica con la función de respuesta de Resistencia contra HR. -- Por su lado, para conseguir el cloruro de litio, es muy fácil, ya que se vende en las droguerías de la ciudad.

La curva de resistencia contra humedad relativa para un higrómetro es la que se muestra en la figura 24.

#### 3.4.1 COMPARADOR DE HUMEDAD.

Como vimos anteriormente, requerimos de un circuito que nos indique cuando se terminaron de secar las cápsulas, y esto lo logramos con un circuito electrónico, el cual toma lectura de humedad a la entrada del tambor y a la salida de éste. Estas dos señales las compara de la siguiente manera: Si la humedad HR de entrada es menor que la de salida, quiere decir que hay humedad en la cápsula, ya que está contaminando el aire de humidificado. Cuando la HR de salida sea igual que la de la -

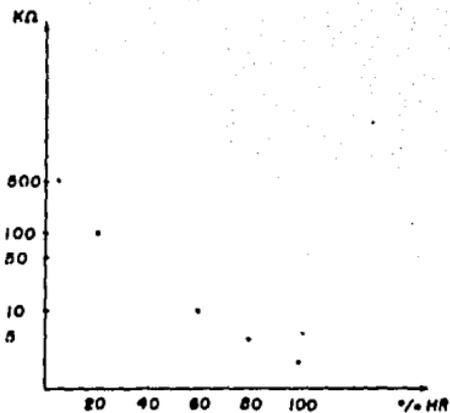


FIG. 24 CURVA DE RESISTENCIA CONTRA HR PARA UN HIGROMETRO RESISTIVO

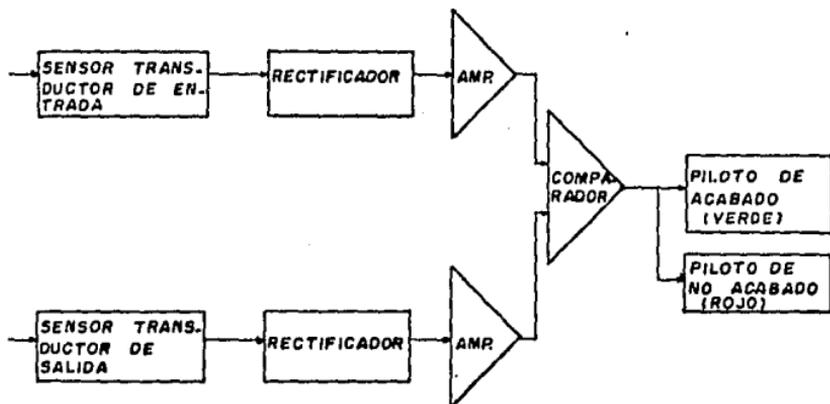


FIG. 25 COMPARADOR DE HUMEDAD

entrada, significa que las cápsulas ya no desprenden más humedad, por lo que ya no tiene caso que se sigan procesando.

Así pues, cuando hay diferencia de HR se enciende un foco rojo, el cual indica que hay que seguir procesando hasta que se apague y encienda el verde, que es cuando ya se -- terminó el trabajo.

Esto podemos verlo con diagramas a bloques en la fi - gura 25. De los sensores se rectifica la señal y pasa ésta a una amplificación para luego entrar al comparador y así -- permutar éste en dos estados bien definidos que son positivo y negativo.

Por su parte, el medidor de HR de la entrada (Plenum), se mantendrá más o menos constante y aproximadamente al 0% de HR ya que es la salida del dehumidificador. El medidor de HR de salida, variará desde que la cápsula está completamente húmeda hasta que se seque, por lo que habrá un rango del 0% has ta lo más eficiente que funcione la máquina de secado que se espera sea de un 80% ó más.

#### 3.4.2 SENSOR TRANSDUCTOR DE ENTRADA.

Un higrómetro se coloca a la entrada de la máquina secadora, el cual tomará lectura por medio de un puente de Wheat stone. Dicho puente se polariza con corriente alterna ya que

los higrómetros sólo funcionan con ac y no con corriente di-  
recta.

Para este circuito, seleccionamos una fuente de 10 Vac con unas resistencias  $R_1$  y  $R_2$  de 50 k. Puesto que éste tra-  
bajará en un rango del 0% de HR, lo analizaremos a un 5% de -  
ésta y con un voltaje de salida  $V_o = 0.5v$ . Así, con  $R_3$  se --  
ajustará el circuito para cumplir con los requerimientos ante-  
riores.

Este circuito lo vemos en la Fig. 26, del cual obtene-  
mos las corrientes  $i_1$  e  $i_2$  así:

FIG. 26

$$\text{DATOS: } i_1 = \frac{V_{ac}}{50k + 50k} = 0.1 \text{ mA} \quad i_1 = 0.1 \text{ mA}$$

$$HR = 5\%$$

$$R_{HR} = 500k$$

$$V_o = 0.5V$$

$$R_1 = R_2 = 50k \quad V_o = i_1 R_1 - i_2 R_{HR} = 0.5$$

despejamos y

$$i_2 = \frac{i_1 R_1 - 0.5}{R_{HR}}$$

$$i_2 = \frac{0.1 (50) - 0.5}{500k}$$

$$i_2 = 9 \mu A$$

Con las corrientes podemos obtener  $R_3$  por medio de

$$V_o = i_2 R_3 - i_1 R_2 = 0.5$$

$$\text{Despejando } R_3 = \frac{0.5 + i_1 R_2}{i_2}$$

$$\text{Sustituyendo } R_3 = \frac{0.5 + (0.1) (50)}{9 \mu A}$$

$$R_3 = 611,111$$

Con este valor de  $R_3$ , usaremos un potenciómetro de 1M para ajustar.

Si analizamos este circuito a una HR = 50% vemos que:

$$\text{Datos: HR} = 50\%$$

$$i_1 = 0.1 \text{ m A}$$

$$R_{HR} = 10k$$

$$i_2 = \frac{10}{611k + 10k}$$

$$i_2 = 16,4 \text{ A}$$

$$\text{y así } V_o = 0.016 (611) - 0.1 (50)$$

$$V_o = 4.77 \text{ V}$$

### 3.4.3 RECTIFICADOR Y AMPLIFICADOR.

Puesto que en el Sensor transductor se utiliza corriente alterna, la rectificamos por medio de un puente rectificador como se aprecia en la fig. 27.

De esta forma el voltaje en directo es el de salida menos 0.2 v de cada diodo:

$$V_{op} = V_o - 0.2 - 0.2 = 0.1 \text{ v}$$

$$V_{op} = 0.1 \text{ v}$$

En amplificador debe ampliar la señal y no invertirla, es por eso que se selecciona el Amplificador no inversor (LM 324).

Dicho amplificador tiene una ganancia de 2.2 ya que, según la fórmula de ganancia propuesta por Boylestad Nashalsky, en su libro de Electrónica teoría de circuitos,

$$A_v = \frac{z^1}{z} + 1 \quad \text{de aquí} \quad A_v = \frac{1.2k}{1k} = 1 + 1 = 2.2$$

Esta fórmula de ganancia de voltaje de un amplificador no inversor, es calculada por el método de tierra virtual.

Así pues, con la salida del puente que es la entrada al amplificador se logra un voltaje de salida  $V_{op_1} = 0.22 \text{ v}$ .

### 3.4.3 RECTIFICADOR Y AMPLIFICADOR.

Puesto que en el Sensor transductor se utiliza corriente alterna, la rectificamos por medio de un puente rectificador como se aprecia en la fig. 27.

De esta forma el voltaje en directo es el de salida menos 0.2 v de cada diodo:

$$V_{op} = V_o - 0.2 - 0.2 = 0.1 \text{ v}$$

$$V_{op} = 0.1 \text{ v}$$

Em amplificador debe ampliar la señal y no invertirla, es por eso que se selecciona el Amplificador no inversor (LM 324).

Dicho amplificador tiene una ganancia de 2.2 ya que, según la fórmula de ganancia propuesta por Boylestad Nashalsky, en su libro de Electrónica teoría de circuitos,

$$A_v = \frac{z^1}{z} + 1 \quad \text{de aquí} \quad A_v = \frac{1.2k}{1k} = 1 = 2.2$$

Esta fórmula de ganancia de voltaje de un amplificador no inversor, es calculada por el método de tierra virtual.

Así pues, con la salida del puente que es la entrada al amplificador se logra un voltaje de salida  $V_{op_1} = 0.22 \text{ v}$ .

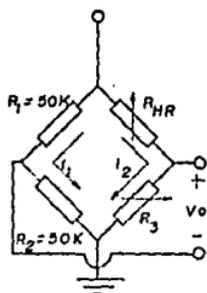


FIG. 26

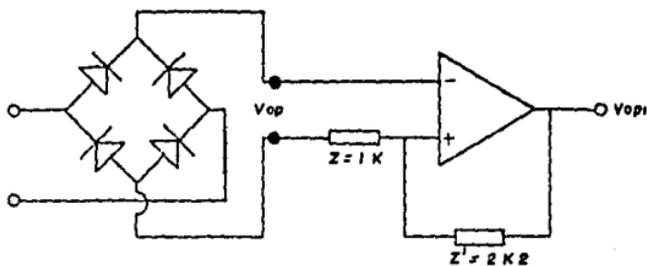


FIG. 27

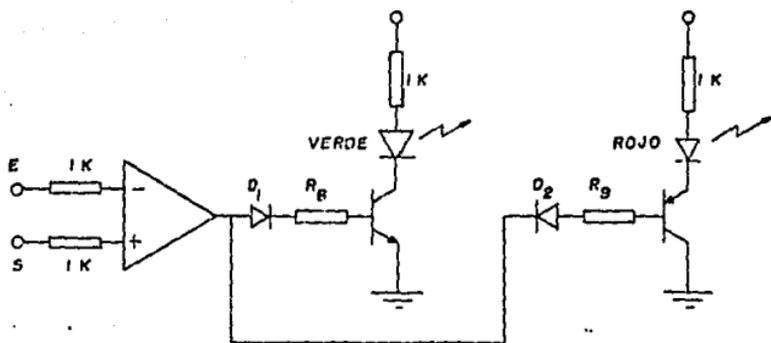


FIG. 28

Pero, por su lado, cuando  $HR = 50\%$

Se tiene que  $V_o = 4.77 \text{ v}$  y  $V_{op} = 4.37 \text{ v}$ , por lo que al amplificar la señal, tenemos que  $V_{op1} = 9.6 \text{ V}$ .

#### 3.4.4 COMPARADOR E INTERRUPTORES.

El comparador es un amplificador con ganancia infinita que tiene directas las entradas inversora y no inversora, -- por lo que trabaja sólo en corte y saturación.

Dicho esto tenemos que, al haber una entrada mayor en (+) que en (-) es mayor la señal que en (+), entonces la salida es de (-13v). Es decir, que la salida nos indicará cuál - de las dos entradas es mayor, dando dos estados bien defini - dos.

A la salida de este comparador, tenemos dos transistores que operan en corte y saturación, accionando uno o el --- otro, dependiendo de la salida del comparador.

Cuando el voltaje de salida del comparador  $V_{oc}$  es posi - tivo ( $V_{oc} = 13\text{v}$ ), el diodo  $D_1$  conduce y  $D_2$  no conduce. Al --- conducir  $D_1$ , se satura el transistor  $T_1$  y prende el led verde.

Por el contrario, cuando  $V_{oc} = -13\text{v}$ , no conduce  $D_1$  pe - ro  $D_2$  sí lo hace, saturando  $T_2$  y prendiendo el led rojo.

Vemos en la figura 28 todo el conjunto y calculamos --  
las resistencias de base de los transistores:

DATOS:

BC 547B  $\beta = 200-450$

NPN  $P = 0.5 \text{ w}$

$P_c = 0.1 \text{ A}$

BC 557 B  $B = 220-475$

PNP  $P = 0.5 \text{ w}$

$i = 0.1 \text{ A}$

De la fórmula para calcularlos igual que el circuito -  
de control de temperatura:

$$V_{in} = \frac{V_{cc} R_B}{\beta R_{LD}} + 0.6$$

Despejando

$$(1) \quad R_B = \frac{(V_{in} - 0.6) \beta R_{LD}}{V_{cc}}$$

Sustituyendo

$$R_B = \frac{(13 - 0.6) (200) (1k)}{12}$$

$$R_B = 206.666 \text{ k}$$

$$R_B = 200 \text{ k}$$

### 3.4.5 SENSOR TRANSDUCTOR DE SALIDA.

Por último tenemos que, cuando la señal del sensor de salida sea igual a la de entrada, debe prender el led verde, el cual es accionado con un voltaje de salida del comparador positivo. Con una diferencia mínima a la entrada del comparador se logra esto. Digamos que a una HR = 5%

$$\text{Entrada: } V_{op1} = 0.22 \text{ v}$$

$$\text{Salida: } V_{op2} = 0.3 \text{ v}$$

Entonces, para calcular  $R_3$  del circuito sensor de salida, tenemos que

$$A_v = 2.2 \quad \text{y} \quad V_{op2} = 0.3 \text{ v}$$

$$\text{Así de la fórmula} \quad V_{op2} = V_{op} \cdot A_v$$

$$\text{Despejamos y} \quad V_{op} = \frac{0.3}{2.2} = 0.14 \text{ v}$$

Pero ahora sumamos el voltaje de diodos y :

$$V_o = V_{op} + 0.4 \text{ v}$$

$$V_o = 0.54 \text{ v}$$

$$\text{Redondeando } V_o = 0.6 \text{ V}$$

$$i_1 = 0.1 \text{ mA}$$

$$V_o = \frac{0.1 (50) - 0.6}{500k} = 8.8 \mu\text{A}$$

$$R_3 = \frac{0.6 + (0.1) (50)}{8.8 \mu A}$$

$$R_3 = 636.363$$

Esto nos dice que con sólo aumentar un poco  $R_3$  en el puente de salida, el led verde encenderá en cuanto se alcance igualdad de HR entre la entrada y salida.

Una vez hecho el circuito, se ajusta  $R_3$  de ambos --- puentes igual y se colocan los higrómetros en el mismo lugar (misma HR) para luego aumentar  $R_3$  de salida hasta que encienda el led verde.

C A P I T U L O   I V

ALGUNAS CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

## ALGUNAS CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

## 4.1 DIAGRAMA A BLOQUES GENERAL.

Como podemos apreciarlo en la figura 4, el proceso de secado está controlado en la etapa de enfriamiento por un limitador de temperatura a cero grados: En la etapa de calentamiento por otro limitador de temperatura a 28°C y, por último se tiene un comparador para avisarnos cuando ya está seca la cápsula.

En un principio se pensó en formar un control de humedad en el plenum, pero no se consideró necesario, ya que es muy difícil lograr un cero por ciento de HR que sería el límite a controlar, sólo para ahorro de energía.

Por otra parte, se tenía como opción temporizador con los tambores de secado, lo cual nos daría muy mala precisión del momento en que la cápsula está lista. Por esta razón, - no se diseñó este circuito.

## 4.2 COMENTARIOS.

Quizás no será difícil instalar un microprocesador a todas las unidades del proceso y programar el sistema a un -

perfecto funcionamiento, pero hacer esto, resulta muy costoso y sobrado de necesidad.

Como por ejemplo, los controles numéricos en fresadoras, tornos, mandriladoras, etc., en algunos casos es indispensable este tipo de aditamento o control.

En el caso de la fabricación de moldes, es muy común que se requieran formas o figuras que sólo con fundición de Zamac se logran. Pero con un control numérico, este molde es posible fabricarlo directamente con aceros de alta resistencia a tensiones y temperaturas.

En la actualidad, se está viviendo una época de crisis que no podemos darnos el lujo de gastar en instalaciones sobradas de capacidad, sino lo más óptimo y cercano a los recursos y necesidades.

Por otro lado, creo que existen algunos sistemas un poco caros, pero que son redituables a muy corto plazo. Este es el caso del higrómetro de nuestro sistema, pues éste se consigue sólo en el extranjero y a un alto costo por los factores arancelarios, transporte, etc.

Dicho dispositivo nos podría ahorrar hasta tres horas diarias por máquina, lo que significaría un total de 54 horas diarias. Las cuales, se aprovecharán para secar la pro-

ducción de cuatro horas al día, ya que cada máquina seca la producción de dos horas en un tiempo de 24 horas.

Este sistema de secado, en la actualidad funciona en su totalidad con excepción de los circuitos electrónicos, ya que se suspendió el proyecto por el momento, pues se requiere de la fabricación de unas máquinas lavadoras de cápsula, para agilizar la producción en esta fase de fabricación.

Los dispositivos mencionados en los capítulos anteriores, pueden ser adquiridos en las tiendas de Electrónica, o en su defecto directamente con su distribuidor Dicopel, que se encuentra en Federalismo 268-A S.J., Guadalajara, Jal.

BIBLIOGRAFIA

B I B L I O G R A F I A

- \* TIMOTHY J. MALONEY. Electrónica Industrial.  
Plaza de Santa Ana 9 - Madrid 12, España - Dossat, S.A.  
1983.
  
- \* GENE E. TOBEY - JERALD G. GRAEME - LAWRENCE P. HELSMAN  
Amplificadores operacionales.  
Roberto Gayol 1219, México, D.F. Edif. Diana, S.A. 1982.
  
- \* MILLMAN - HALKIAS - Integrated Electronics  
Rosaido Printing Co., Ltd., Tokyo, Japan. McGraw Hill 1983.
  
- \* KATSUHIKO OGATA. Ingeniería de control moderna.  
Plaza de Santa Ana 9 - Madrid 1e, España Ed. Dossat, S.A.  
1980.
  
- \* HERBERT TAUB - Circuitos digitales y microprocesadores.  
Atlacomulco 499-501, Naucalpan de Juárez, Edo. de México.  
Edit. McGraw Hill 1983.
  
- \* BOYLESTAD NASHELSKY. Electrónica teoría de circuitos.  
Av. S. Andrés Atoto 157 Fracc. Industrial S. Andrés Atoto  
53500 Naucalpan de Juárez, Edo. de México. Edit. Prentice-  
Hall 1983.

- \* DONALD L. SCHILLING, CHARLES BALOVE. Circuitos electrónicos. Apartado Postal 61-195 México, D.F.  
Edit. Publicaciones Marcombo, S.A. 1982.
  
- \* Asesoría personal por parte de Laboratorios Goñi's.
  
- \* Especificación OPAMS.