

105
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.
FACULTAD DE INGENIERIA

REDISEÑO DE UN CONTROL TERMOSTATICO
DOMESTICO ACCIONADO POR
RESORTE DISCOIDAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N:

JOSE ARTURO RIOS BOLAÑOS
PEDRO JAVIER UBALDO SALINAS

DIRECTOR DE TESIS:

M. I. MARCELO LOPEZ PARRA



FALLA DE ORIGEN

México, D.F. 1989



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.

TEMARIO

Objetivo: Realizar un estudio y proponer alternativas de solución que reduzcan los problemas de ensamble manufactura y operación de estos controles.

I.- INTRODUCCION

	Página
I.1.- Calentadores domésticos de agua.....	3
1.1.1.- Calentador de paso.....	3
1.1.2.- Calentador de depósito.....	3
I.2.- Funcionamiento del control termostático.....	9
1.2.1.- Descripción y operación del control termostático.....	10
I.3.- Sistema de control de temperatura.....	12
I.4.- Definición del problema.....	14

II.- FUNCIONAMIENTO DE LOS CONTROLES DE TEMPERATURA DOMESTICOS.

	Página.
II.1.- Introducción.....	15
2.1.1.- Sistemas de control de temperatura.....	15
2.1.2.- Selección del tipo de acción de control.....	17
2.1.3.- Acción termostática de dos posiciones.....	19
II.2.- Partes que componen un control termostático.....	25
II.3.- Elemento sensor de temperatura.....	25
2.3.1.- Termostatos de tubo y varilla.....	27
II.4.- Componente de transmisión y distribución.....	29
2.4.1.- Componente de distribución y selección de temperatura.....	30

2.4.2.- Componente de transmisión y amplificación de movimiento.....	32
2.4.3.- Elemento de acción encendido-apagado.....	33
II.5.- Mecanismo de control.....	38

III.- CONTROL DE TEMPERATURA HONEYWELL.

	Página.
III.1.- Sensor de temperatura.....	40
3.1.1.- Movimiento diferencial.....	42
3.1.2.- Módulo de resorte.....	42
III.2.- Componente de selección y distribución de temperatura.....	44
III.3.- Componente de transmisión y amplificación de movimiento.....	45
3.3.1.- Resorte de disco.....	46
3.3.2.- Resorte de levantamiento.....	49
3.3.3.- Mecanismo de accionamiento.....	51
III.4.- Válvula principal.....	57

IV.- DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA.

	Página.
IV.1.- Interrelación entre componentes y dimensiones principales.....	59
4.1.1.- Sensor de temperatura.....	59
4.1.2.- Componente de selección y distribución de temperatura.....	61
4.1.3.- Mecanismo de accionamiento.....	64
4.1.4.- Válvula principal.....	66
IV.2.- Ensamble y calibración.....	68
IV.3.- Diseño final.....	69
Conclusiones.....	72
Bibliografía.....	74

I.- INTRODUCCION

I.1.- CALENTADORES DOMESTICOS DE AGUA.

Un calentador de agua es un dispositivo cuya finalidad es proporcionar agua caliente a una vivienda en cualquier momento. Constituye una parte fundamental en la vida diaria de las comunidades urbanas.

TIPOS DE CALENTADORES DE AGUA.

TIPO	SISTEMA	DESCRIPCION
Calentador de paso	Automático e instantaneo.	Capacidad mínima: 4,000 BTU/hr; el agua se calienta al circular por el calentador.
Calentador con almacenamiento.	Circulación forzada o por gravedad. Con control automático o manual.	Capacidad 7,500 BTU/hr. Almacenamiento del agua caliente.

Tabla 1.1

1.1.1.- Calentador de paso.

El calentador de paso opera automáticamente mediante la diferencia de presiones ocasionada por el flujo de agua a través de su sistema de control, lo que provoca el movimiento de un diafragma, que activa la válvula de paso de gas a los quemadores que calientan una cámara en un intercambiador de calor (figura I.1).

1.1.2.- Calentador de depósito.

Puede ser de tipo automático o manual. El calentador automático cuenta con un sistema de control termostático; y el manual carece de éste.

[illegible]

Las partes principales que conforman al calentador de depósito son:

4

b).- Corona. Se le denomina así al fondo del tanque, es de un material mas grueso, además de ser cóncavo porque forma la parte superior del intercambiador de calor (figura I.2).

c).- Tiro. Conduce los gases calientes, producto de la combustión, a la chimenea en su trayecto realiza intercambio de calor con el agua del tanque (figura I.2).

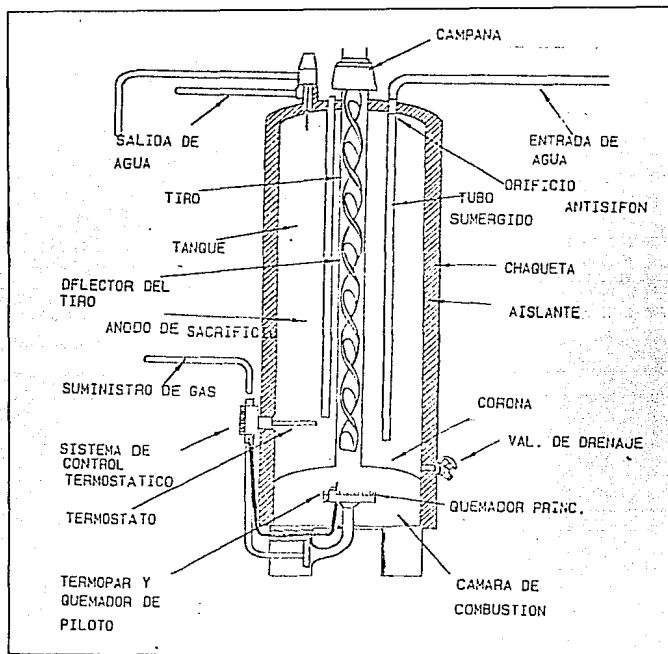


figura I.2. Calentador de depósito.

d).- Deflector del tiro. Incrementa la tranferencia de calor al crear turbulencia en los gases, además de aumentar el tiempo en que los gases pueden intercambiar calor con el agua del tanque, generalmente son de materiales metálicos con forma de espiral (figura I.2).

e).- Salida de agua.

f).- Entrada de agua.

g).- Tubo sumergido. LLeva el agua fria desde la entrada hacia el fondo del tanque evitando que se mezcle con el agua caliente que se encuentra en la parte superior del tanque, disminuyendo la temperatura a que se suministra.

Actualmente son de materiales plásticos, con rigidez suficiente para evitar desviaciones del flujo de agua fria debido a las corrientes internas en el tanque, además de soportar las temperaturas de trabajo (figura I.2).

h).- Orificio antisifón. Se encuentra en el tubo sumergido, sirve para prevenir el efecto sifón, por el que se vaciaría el tanque si no se cortara el suministro de agua fría y simultaneamente se utilizara flujo de la misma en un nivel inferior de la misma red (figura I.2).

i).- Conexiones. Se necesitan incorporarlas por soldadura al tanque, ya que este no tiene el espesor suficiente para practicarle un roscado (figura I.2).

j).-Cámara de combustión. Aloja los conjuntos para piloto y quemador principal, se ubica entre el fondo del tanque y el quemador principal. Está abierta en su parte inferior a fin de suministrar el aire necesario para la combustión. Tiene una o varias puertas de acceso para encender el quemador de piloto y dar servicio a los conjuntos (figura I.2).

k).- Quemador principal. Está ubicado bajo la corona, donde el calor de la flama es radiado y los gases producto de combustión hacen contacto con la corona antes de irse por el tiro. Se obtienen eficiencias de intercambio hasta del 70% (figura I.2).

l).- Válvula de drenaje. Está conectada cerca del fondo del tanque, permite remover y limpiar periodicamente los sedimentos y precipitados que reducen el rango de intercambio de calor (figura I.2).

m).- Anodo de sacrificio. Se usa para prevenir el deterioro del tanque por corrosión electrolítica, usualmente es de magnesio, la razón de su colocación está dada por las imperfecciones que pueda tener el recubrimiento cerámico (figura I.2).

n).- Aislante. Cubre al tanque para protección del usuario contra quemaduras accidentales. Es de fibra de vidrio (figura I.2).

o).- Chaqueta. Está hecha de lámina de acero, pintada y porcelanizada para mejorar la apariencia externa (figura I.2).

p).- Quemador de piloto. Se utiliza un quemador de flama continua para dar ignición inmediata al quemador principal, una vez que la válvula termostática se ha activado (figura I.2).

q).- Termopar. Es un elemento utilizado para prevenir la operación del calentador ante la ausencia de flama en piloto. Su funcionamiento se basa en la generación de una diferencia de potencial, generada por la unión, con soldadura, de dos metales disímiles ante un aumento de temperatura. Estos metales son de acero inoxidable y aleaciones de cobre y níquel (figura I.2).

r).- Sistema de control termostático. Es el cerebro del calentador, está instalado en un soporte al lado del tanque, su sensor es del tipo de barra y tubo. Con los cambios de temperatura, el sensor genera las señales para activar una válvula de tipo abierto-cerrado y así mantener la temperatura deseada del agua.

El gas se suministra al quemador principal a través de un orificio en el fondo del conjunto, en condiciones controladas de flujo y presión según sea el caso (figura I.2).

I.2.- FUNCIONAMIENTO DEL CONTROL TERMOSTATICO.

Definición: "El sistema de control termostático es un aparato que controla el suministro de gas a los quemadores del calentador, manteniendo la temperatura entre los límites preestablecidos". Este aparato consta básicamente de: válvula de seguridad, válvula manual de control y direccionamiento de gas, válvula principal y sensor (figura I.4).

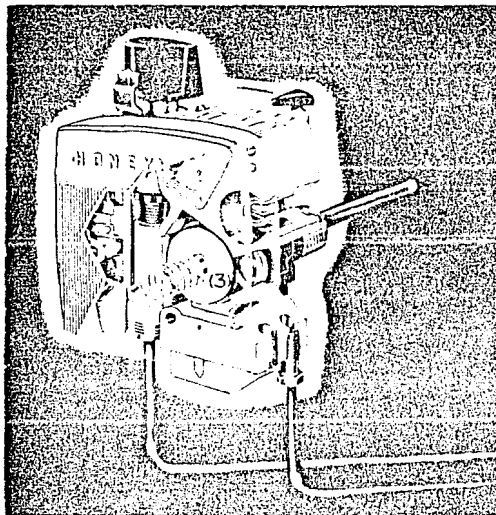
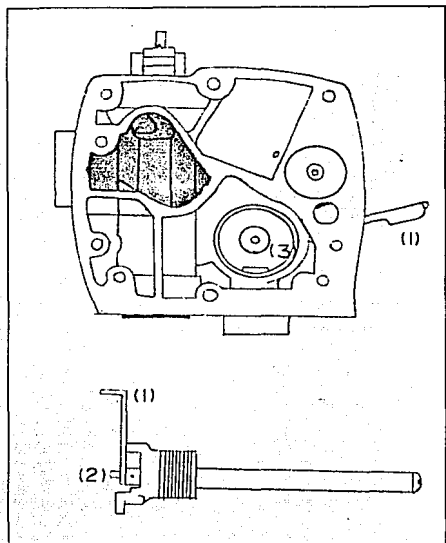


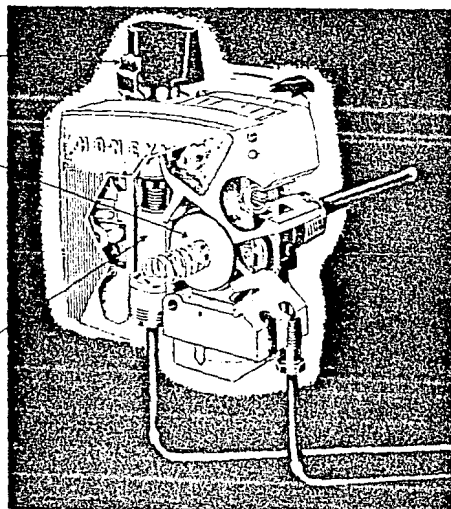
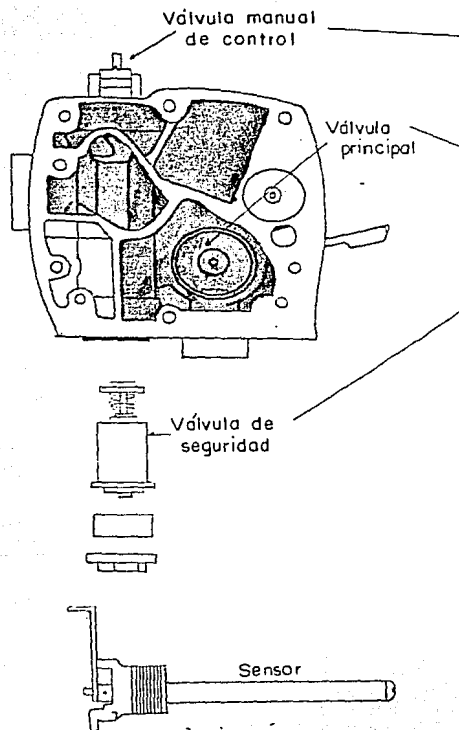
figura I.3. Termostato Honeywell.

1.2.1.- Descripción y operación del control termostático.

Por medio de una conexión a la entrada del sistema de control, pasa el gas a una primera cámara de control, en la cual se encuentra una válvula normalmente cerrada (válvula de seguridad) que impide el flujo de gas a la cámara de combustión. Esta válvula se abre manualmente por medio de una perilla (válvula de accionamiento y direccionamiento de gas), que se encuentra inicialmente en la posición apagado y que al girarse hacen que se conecten las cámaras iluminadas (figura 1.3), con la entrada donde se encuentra la válvula de seguridad. Sin embargo el gas no entra hasta que la perilla es presionada hacia abajo, abriendo la válvula solenoide y permitiendo el paso de gas al piloto; el cual produce una señal eléctrica en el termopar del piloto, que al excitar a la válvula de seguridad permite la permanencia de éste estado siempre que está encendido el piloto (abierto).

Una vez que la válvula de seguridad queda abierta, se puede girar más la perilla y se llenan de gas las demás cámaras como se muestra en la figura 1.4.

El paso del gas al quemador está controlado por medio de una válvula termostática. Cuando el sensor de temperatura (termostato) está frío y la palanca (1) se levanta, la barra invar (2) (figura 1.3) empuja a un resorte discoidal disparando la válvula (3) hacia la posición abierto, que permitira el paso de gas al quemador. Una vez calentada el agua el tubo de cobre del termostato se dilatará haciendo que la barra (2) deje de empujar al resorte discoidal y la válvula (3) cerrará nuevamente el flujo de gas al quemador.



figuras I.4 . Termostatos Honeywell.

1.3.-SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA.

Este conjunto es el punto central del sistema ya que es el que regula y controla directamente el abasto de gas al quemador principal para lograr la temperatura deseada en el agua.

El diagrama de bloques del sistema de control de temperatura del termostato se muestra a continuación.

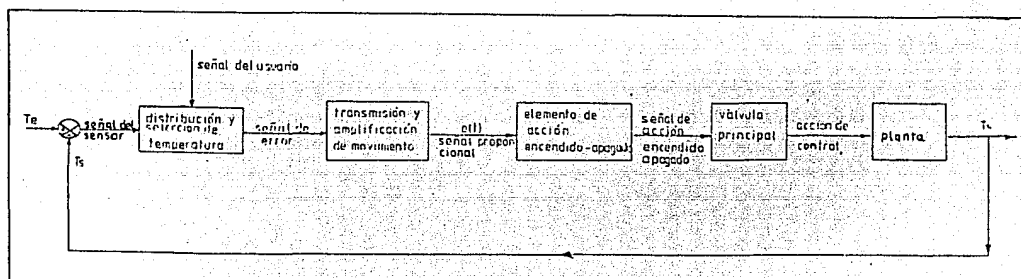


figura 1.5. Diagrama de bloques.

En este sistema de control se distinguen los siguientes componentes:

ELEMENTO	DISPOSITIVO	FUNCION
Sensor y transductor	Termostato de barra y tubo	Detecta la diferencia de temperatura de entrada y salida del agua y en función de ésta da un desplazamiento proporcional.
Componente de selección de temperatura	Conjunto de barra y balancín.	Abre la válvula al inicio de la operación y mantiene la temperatura de referencia deseada.
Componente de transmisión de movimiento.	Resorte estrella y "fulcrum".	Mantener el resorte de disco abierto durante el calentamiento y transmite fuerza y desplazamiento al resorte de disco
Componente de acción encendido-apagado.	Resorte de disco.	Convierte la señal de desplazamiento lineal en una señal de desplazamiento amplificada y discreta.
Mecanismo de control.	Válvula principal.	Permite el flujo de gas al quemador principal; la cual es accionada por el resorte de disco.
Masa térmica.	Tanque de depósito.	Almacena el agua a la temperatura deseada.

1.4.-DEFINICION DEL PROBLEMA.

Este estudio se divide en varias partes:

- 1.- El estudio del funcionamiento del sistema de control de temperatura del termostato que actualmente fabrica Honeywell.
- 2.- Un estudio del proceso de fabricación del sistema de control de temperatura del termostato Honeywell.
- 3.- Hacer un análisis comparativo del sistema de control de temperatura Honeywell con las marcas comerciales existentes.

El análisis posterior detectará posibles fallas en el proceso de diseño y fabricación de los sistemas de control de temperatura actuales. En base a esto se propondran mejoras en el diseño y fabricación que permitan aumentar la productividad de la empresa que los fabrica.

CAPITULO II.

FUNCIONAMIENTO DE LOS CONTROLES DE TEMPERATURA DOMESTICOS.

II.1.- INTRODUCCION.

2.1.1.- Sistemas de control de temperatura.

Actualmente existen una gran variedad de aparatos termostáticos que se usan en diversas aplicaciones industriales y domésticas. Estas aplicaciones y usos pueden ir desde un control de temperatura dentro de ciertos límites de exactitud; en sistemas de seguridad que activan válvulas de seguridad cuando existe una excesiva variación en la temperatura; hasta sistemas de control de procesos en el que la temperatura es una de las variables a controlar.

En la figura II.1 se muestra un diagrama de bloques de un sistema de regulación automático que consiste en un sistema de control de temperatura retroalimentado. En este sistema, se compara el ajuste del termostato (la temperatura deseada) con la temperatura efectiva a la salida de la planta o proceso (punto de control). El objetivo de este sistema de control es mantener la temperatura deseada en la planta o proceso a pesar de las variaciones en la temperatura exterior.

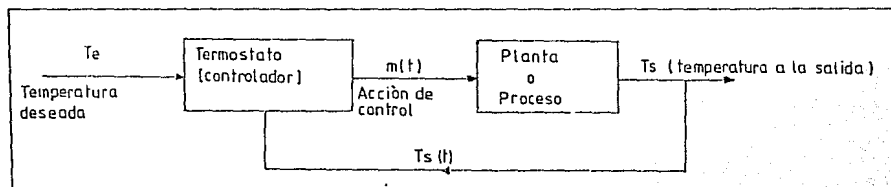


figura II.1 Sistema de control

Cualquier proceso de calentamiento o enfriamiento puede ser automáticamente controlado con el uso de termostatos y equipo asociado, acorde con el medio que va a ser controlado y a éste medio se le denomina medio de control, el cual puede ser aire, agua u otra sustancia. Este medio de control es calentado a cualquier temperatura con una fuente de calor ; o puede ser enfriado con una fuente de enfriamiento, dependiendo esto de la aplicación. La fuente de calor o enfriamiento es manipulada por el termostato cuando se acciona una válvula o interruptor, la fuente de calor se conoce como variable de manipulación, sobre la cual el termostato operaría para producir el resultado deseado en la temperatura de salida.

A continuación se describen cada una de las partes que componen un sistema de control de temperatura.

PLANTA O PROCESO. Una planta es cualquier objeto físico, medio o proceso que ha de ser controlado. En los sistemas de control de temperatura la planta o proceso pueden ser un horno de calentamiento, el aire contenido en una habitación, un calentador de agua, un reactor químico, etc. En el capítulo I se describieron las partes principales que componen un calentador doméstico de agua.

TERMOSTATO.— La función del termostato o controlador de temperatura es la de detectar la diferencia entre la temperatura deseada y la que existe a la salida de la planta o proceso (señal de error) y en función de esto envía una acción de control a la planta o proceso para modificar la temperatura. Esta acción de control puede ser la apertura de una válvula, el envío de una señal eléctrica o una señal de otro tipo.

ACCION DE CONTROL.— Un control de temperatura automático compara el valor efectivo de la temperatura de salida de una planta con el deseado, determina la desviación (señal de error) y produce una señal de control que reduce la desviación a cero o un valor pequeño.

La forma en que el control de temperatura automático produce la señal de control recibe el nombre de acción de control. El termostato proporciona la acción de control a través de la fuente de calor (variable de manipulación) que actúa en forma directa sobre la planta.

2.1.2.- Selección del tipo de acción de control.

El tipo de acción de control a usar depende de la naturaleza de la planta y sus condiciones de funcionamiento, inclusive condiciones de seguridad, costo, disponibilidad, confiabilidad, precisión, peso y tamaño.

Los principales factores que influyen en la selección de una acción de control para un calentador de agua de depósito doméstico son:

1).- NATURALEZA DE LA PLANTA Y CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.

El sistema de control debe ser adaptable a calentadores domésticos de agua de tipo comercial. El tipo de calentador a que tiene que adaptarse es de depósito con quemadores de gas natural o embotellado.

2).- SEGURIDAD.

Como este sistema va a estar en contacto con el usuario, es necesario que presente un alto grado de seguridad, ya que no tiene que existir posibilidades de falla en el sistema o riesgos de una explosión o sobrecalentamiento.

3).- CONFIABILIDAD.

La forma de operar dicho sistema debe ser sencilla y confiable para el usuario.

4).- DISPONIBILIDAD Y COSTO.

Debe ser un producto que sea fácil de fabricar en serie y que satisfaga la amplia demanda en el mercado que existe para un producto de este tipo. Además se necesita que sea sencillo y económico para que el usuario lo adquiera a un precio razonable.

5).- PRECISION.

No es necesario que el sistema sea muy preciso, ya que al usuario solo le interesa que el agua este "fria", "tibia", o "caliente".

6).- PESO Y TAMAÑO.

El peso y tamaño de este sistema debe ser tal que sea facil de adaptar al calentador y de contener, además, sistemas adicionales de seguridad, válvulas y ductos de conducción de gas.

La selección del tipo de acción de control es muy importante, ya que una vez que se elige, esta nos señala las características más importantes de los componentes principales del control como son el sensor de temperatura, el interruptor de flujo de gas y el mecanismo de selección de temperatura y de transmisión de señales.

El tipo de acción de control que es el más adecuado a las condiciones del funcionamiento del calentador de agua doméstico tipo depósito, es el de encendido-apagado o dos posiciones y entre los factores principales que influyen en la selección se encuentran:

-Un control de dos posiciones es más seguro en el suministro de gas, ya que asegura el encendido de la flama del quemador, al suministrarlo en forma instantanea y constante. Cuando se tiene un control proporcional se corre el peligro de una explosión debido al suministro progresivo de gas.

-Un control de dos posiciones, debido a sus características de funcionamiento, es relativamente simple y económico, y por esta razón son fáciles de operar y son ampliamente utilizados en sistemas de control tanto industriales como domésticos.

-Como no es necesario un control exacto de la temperatura, el control encendido-apagado se puede usar en este tipo de calentador, que puede permitir ligeras variaciones alrededor de la temperatura deseada. El control proporcional más integral se usaría en aquellos casos en que se necesite un control exacto y preciso de la temperatura.

-Un control integral o flotante con interruptor encendido -apagado puede realizar las mismas funciones que el de acción de dos posiciones, pero su implementación se complica por el uso de un mecanismo interruptor, además de que existiría un desgaste más rápido del sistema debido al mayor número de accionamiento de la válvula durante el calentamiento.

2.1.3.- Acción termostática de dos posiciones o de encendido apagado.

En un sistema de control de dos posiciones, el elemento accionador tiene solamente dos posiciones fijas, que en muchos casos son simplemente conectado y desconectado.

Sea la señal de salida de control $m(t)$ y la señal de error actuante $e(t)$. En un control de dos posiciones, la señal $m(t)$ permanece en un valor máximo o mínimo, según que la señal de error actuante sea positiva o negativa (ver figura II.2), de modo que:

$$m(t) = M_1 \text{ para } e(t) > 0.$$

$$m(t) = M_2 \text{ para } e(t) < 0.$$

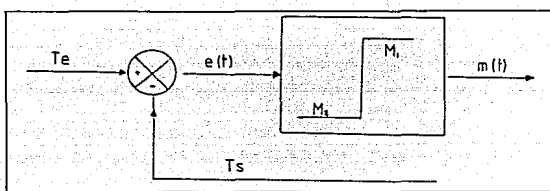


figura II.2 Acción encendido- apagado.

Donde M_1 y M_2 son constantes. Generalmente el valor mínimo M_2 es o bien cero ó $-M_1$. Los controles de dos posiciones son generalmente dispositivos eléctricos, donde habitualmente hay una válvula accionada por un solenoide eléctrico. También los controles neumáticos proporcionales actúan como controles de dos posiciones y se les denomina a veces controles neumáticos de dos posiciones.

El rango en el que se debe desplazar la señal de error actuante antes de que se produzca la conmutación se llama brecha diferencial o diferencial. En la figura II.3 se indica una brecha diferencial. La brecha diferencial hace que la salida de control $m(t)$ mantenga su valor hasta que la señal de error actuante haya pasado levemente del valor cero. En algunos casos, la brecha diferencial es un resultado de fricción no intencional y movimiento perdido; sin embargo, normalmente se le provee deliberadamente para evitar la acción excesivamente frecuente del mecanismo de encendido-apagado.

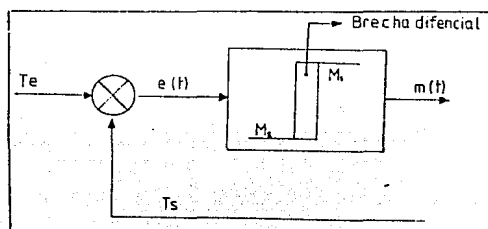


figura II.3. Acción encendido- apagado con brecha diferencial.

Sea el sistema de control de temperatura que se ve en la figura II.4. Con el control de dos posiciones, la válvula que permite el flujo de gas al quemador está, o bien abierta, o cerrada. El flujo de calor a la entrada del tanque de depósito es una constante positiva o cero. Como se ve en la figura II.4, la señal de salida se mueve continuamente entre los dos límites requeridos para que el elemento accionador se desplace de una posición fija a la otra. Se hace notar que la curva de salida sigue una de las dos curvas exponenciales; una que corresponde al calentamiento, y otra al enfriamiento. Una oscilación como ésta entre dos límites es típica respuesta característica de un sistema de control de dos posiciones.

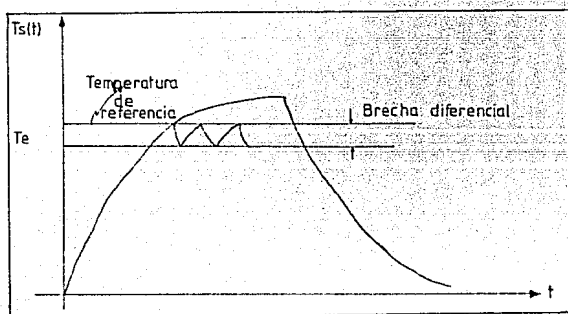
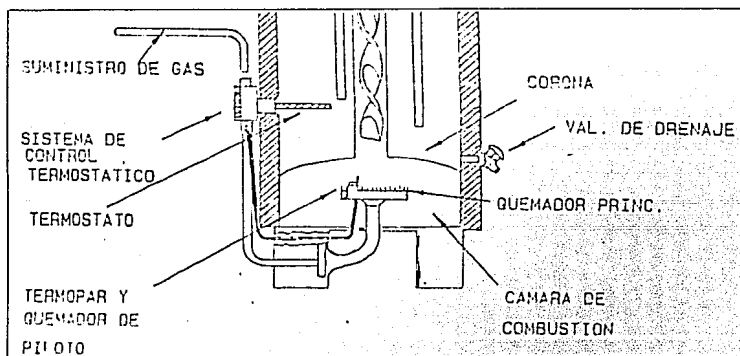


figura II.4 Sistema de control de temperatura.

De la figura anterior se ve que se puede reducir la amplitud de la oscilación de salida, reduciendo la brecha diferencial. Esto, sin embargo, aumenta la cantidad de conmutaciones y reduce la vida útil del componente. Hay que determinar el valor de la brecha diferencial por consideraciones de exactitud deseada y duración de los componentes.

Otro factor que influye en la elección de la brecha diferencial además de la histéresis y vida útil del componente, es la energía mínima necesaria para operar el interruptor, que es el cambio de temperatura mínimo para que el elemento sensor proporcione la energía necesaria para que el interruptor sobrepase la acción snap de el aparato, sea este un magneto o un resorte.

Entonces, los factores principales que influyen en la elección de la diferencial son: histéresis, vida útil deseada del componente y energía mínima necesaria para activar el interruptor.

Se hace notar que la diferencial declarada por el fabricante se mide generalmente bajo condiciones en donde el cambio en la temperatura es lo suficientemente lento como para eliminar cualquier efecto de la masa térmica del termostato y su posible influencia sobre la diferencial final, esta razón de cambio de temperatura es menor que $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

Los problemas más comunes encontrados en sistemas de control de dos posiciones se mencionan a continuación.

1).-RETRASO (lag). Es el efecto de baja reacción de algunas partes del sistema de control al cambio de temperatura, esto puede ocurrir en varios grados en cada sección del sistema de control. La temperatura total de retraso entre el sistema térmico y el medio de control puede ser considerable, especialmente si el medio de control tiende a cambiar de temperatura rápidamente. También puede existir retraso en el mecanismo de control que contiene el termostato y otros componentes que tardan en responder a ciertas señales.

Cuando un termostato de dos posiciones está en condiciones de servicio reales, puede experimentar cambios rápidos en la temperatura y se debe de estimar el efecto de retraso del elemento sensor y de el termostato como un todo, el cual puede ser un incremento de la diferencial aparente del termostato. Para contrarrestar este efecto se usan aceleradores que tienen la función de proporcionar calor adicional al sensor de temperatura en función de la temperatura del medio de control.

2).- SEGUIMIENTO (hunting). Este es un cambio rítmico en la temperatura del medio de control alrededor del punto de control deseado. Este efecto se obtiene cuando, aunado al retraso del control termostático, existe un excesivo calor de entrada que tiende a una sobrerectificación del punto de control deseado. Estos dos fenómenos dan como resultado una oscilación de la temperatura por encima o por debajo del punto de control.

3).- CICLO LIMITE INESTABLE. Un sistema de control de dos posiciones presenta ciclo límite si la variación de temperatura oscila alrededor del valor deseado. En el sistema de control de dos posiciones con brecha diferencial que se ilustra en la figura II.4, se tiene oscilación de ciclo límite, cuya amplitud máxima es equivalente al valor de la brecha diferencial.

Se tiene ciclo límite inestable, si para cualquier perturbación a la condición normal de operación del sistema, la amplitud de oscilación se extingue (no hay oscilación) o aumenta indefinidamente en amplitud.

Los dos primeros de estos fenómenos son comunes a todo tipo de control de temperatura, mientras que el tercero solo se presenta en termostatos de dos posiciones.

Debido a la gran variedad de calentadores en que son instalados estos tipos de control de temperatura, puede existir retraso entre la planta y el sistema de control, ya que los calentadores pueden tener una velocidad de caída de temperatura más rápida que la velocidad de respuesta del control termostático, lo que trae como resultado un incremento de la diferencial aparente del termostato. Si a este retraso va acompañado un exceso de calentamiento o una falta de calentamiento, se presentarán fenómenos de seguimiento.

El efecto de retraso trae como consecuencia un incremento en la diferencial aparente del termostato, y por consiguiente, un incremento de la amplitud de oscilación en ciclo límite (ver figura II.5).

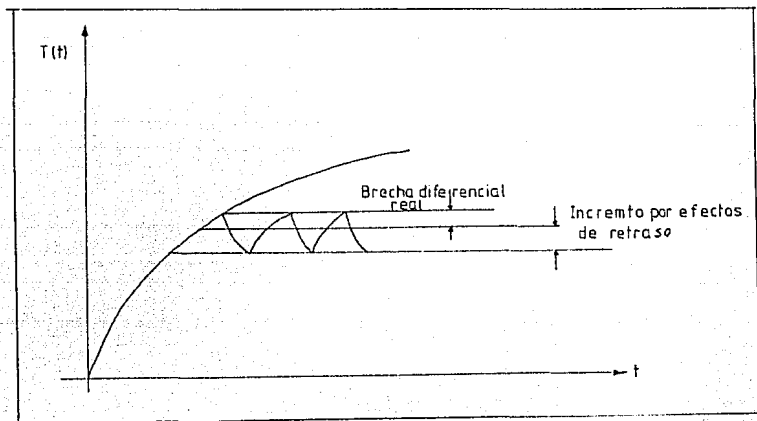


figura II.5 Efectos del retraso.

II.2.-PARTES QUE COMPONEN UN CONTROL TERMOSTATICO.

Cualquier control termostático está compuesto de tres componentes básicos: elemento sensor, componente de transmisión y selección de temperatura y mecanismo de control. El siguiente diagrama de bloques muestra la interacción de cada uno de estos componentes y las señales que producen a su salida.

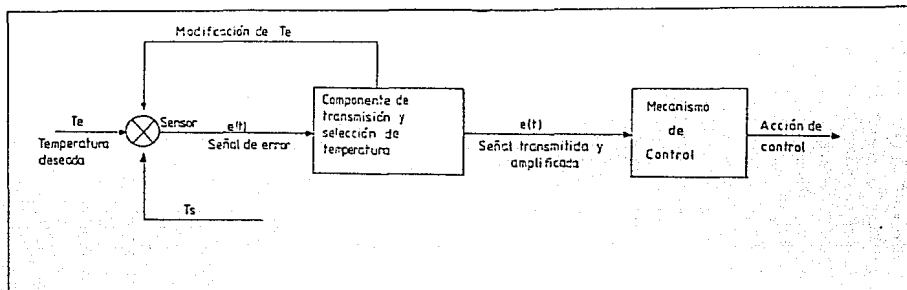


figura II.6 diagrama de bloques

II.3.- ELEMENTO SENSOR DE TEMPERATURA.

También se conoce como fuente de movimiento y consiste de un material o combinación de materiales sólidos líquidos o gaseosos, que cambian su volumen o características físicas en relación a la temperatura, y pueden repetir estos cambios consistentemente muchas veces sobre un rango de temperatura definido (set-point).

Los factores más importantes a ser considerados para la selección del elemento sensor son:

a).- LA POTENCIA DE SALIDA. Es la capacidad que tiene cada elemento sensor para realizar cierta cantidad de trabajo; ya sea para abrir una válvula o para vencer en su retorno la presión opuesta del gas o fluido.

b).- RANGO EFECTIVO DE TEMPERATURA. Es el intervalo total de temperatura sobre el que existe demanda de el control termostático. Un elemento térmico puede ser satisfactorio para una operación dentro del rango efectivo de temperatura, pero puede sufrir daños permanentes si se encuentra por encima de este rango.

c).- POTENCIA POR CAMBIO DE TEMPERATURA. Es la cantidad de trabajo a la salida necesaria para cualquier conjunto de puntos dentro del rango efectivo de temperatura. Algunos elementos sensores son capaces de trabajar sobre amplios rangos de temperatura de operación, pero son incapaces de proveer una gran cantidad de trabajo necesario para cualquier conjunto particular de puntos.

Algunos elementos sensores, debido a sus características de funcionamiento, son más fáciles de utilizar en sistema de control de temperatura encendido-apagado. Estos son los sistemas de vapor-presión, sistemas bimetálicos y elementos de tubo y varilla y representan probablemente la manera más económica de obtener movimiento térmico.

Los elementos sensores de tubo y varilla son los que más comunmente se emplean en los calentadores domésticos de agua.

2.3.1.- Termostatos de tubo y varilla.

Los termostatos de tubo y varilla (figura II.7) consisten de un tubo, generalmente de bronce 65/35, en cuyo interior se encuentra una varilla de metal que tiene un bajo coeficiente de expansión térmica. Un extremo de la varilla está sujeto al tubo y el otro extremo permanece libre, de manera que cuando hay un incremento de temperatura, el tubo de bronce se expande y jala hacia adentro la varilla. El movimiento relativo entre las terminales libres de el tubo y la varilla proporcionan el mecanismo de de operación para este tipo de termostato, y, para el maerial de la varilla, se requiere un coeficiente de expansión térmica muy pequeño. En los experimentos más recientes con este tipo de termostatos, la varilla fué hecha de acero de composición normal, pero el descubrimiento del invar, con un coeficiente de expansión térmica extremadamente bajo, hizo posible considerar movimientos relativamente grandes entre la terminal libre de la varilla y del tubo, además de que simplificaron los problemas de diseño de termostatos, creando un termostato que tenía un movimiento térmico con dimensiones razonables.

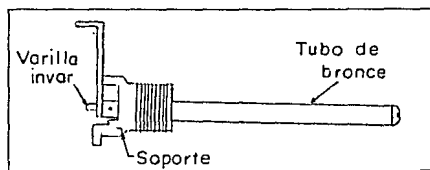


figura II.7 termostato de tubo y varilla

El acero invar con 33% de contenido de níquel, tiene un bajo coeficiente de expansión a temperaturas de hasta 100 C. Arriba de esta temperatura el rango de expansión se incrementa, de manera que mientras la barra invar presenta considerables ventajas para el uso en termostatos con medidas de temperatura entre 0 y 100 C, estas solo pueden ser usadas en rangos no lineales para aplicaciones que incluyan altas temperaturas.

Los termostatos para hornos domésticos requieren un rango de temperatura de entre 100 y 250 C, para estos casos es mejor emplear una varilla con contenido de níquel de 40 ó 42%. Estas aleaciones tienen un coeficiente de expansión un poco mayor que el de 36% de níquel, pero mantiene un comportamiento lineal sobre un amplio rango de temperatura. Otras aleaciones se emplean para mantener un comportamiento lineal hasta los 400 C. Como se muestra en la figura II.8, el comportamiento lineal se mantiene en un rango de temperaturas alto, si el coeficiente de expansión térmica de la aleación es, para cada curva, más grande.

Los termostatos de tubo y varilla han sido probados durante muchos años en aplicaciones domésticas dando unos valores de control confiables y baratos, y pueden proporcionar también acción de modulado proporcional para válvulas de gas o, mediante un arreglo satisfactorio, una acción de control encendido-apagado de un interruptor eléctrico o mecánico.

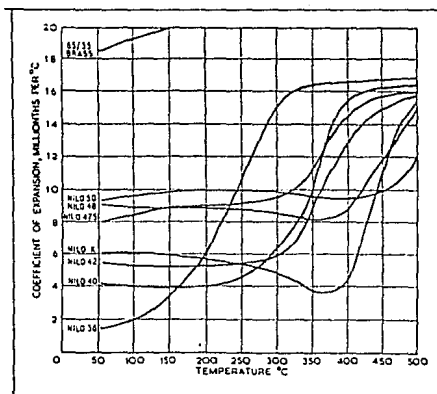


figura II.8 gráfica

En general; los sensores de temperatura de uso doméstico para calentadores de depósito, funcionan con el principio de movimiento diferencial entre el tubo de cobre y la varilla invar. Estas solamente presentan diferencias en el diseño de la pieza y proceso de fabricación y ensamble usado. Existen sensores de temperatura que llevan acoplados sistemas de corte de corriente (ECO), o pueden llevar acoplados al elemento de distribución y selección de temperatura.

II.4.- COMPONENTE DE TRANSMISION Y DISTRIBUCION.

El movimiento generado por un elemento sensor tiene que ser transmitido a una válvula o a un mecanismo de control, es muy rara la posibilidad de conectar el elemento térmico directamente a ambos. Cuando esto se requiere, entonces es necesario incluir uno o más eslabonamientos para transmitir el movimiento térmico en una forma aceptable. Estos eslabonamientos, en sus variadas formas, son conocidos como componentes de transmisión.

Algunos tipos de sensores térmicos proporcionan un movimiento útil en relación a la temperatura para una región amplia de ésta. En algunos desarrollos de termostatos se necesita solamente de algunos valores de ésta región, de manera que la temperatura que se seleccione dentro de esta región sea a la que el interruptor o mecanismo de control opere. Para este proposito, el componente de transmisión generalmente incluye otros rasgos.

1).- Alguna forma de restringir o absorber el movimiento térmico cuando sea alcanzado un punto seleccionado dentro de la región de ajuste de temperatura (set-point).

2).- Un método para los cuales sea ajustada la temperatura deseada dentro de la región de ajuste de temperatura.

Los componentes de transmisión pueden también incluir unos valores de multiplicación de el movimiento proveniente del elemento sensor o convertir un movimiento proporcional en un movimiento de acción encendido-apagado.

El componente de transmisión y distribución, que se usa en los controles de temperatura para calentador de depósito, cumple con las funciones anteriores a través de varios elementos mecánicos adecuadamente ensamblados y que se pueden agrupar de acuerdo a la función que realizan en: elementos de distribución y selección de temperatura, elementos de transmisión de movimiento y elementos de acción encendido-apagado. La forma en que interactúan estos elementos con el sensor y entre ellos se ilustra en el diagrama siguiente.

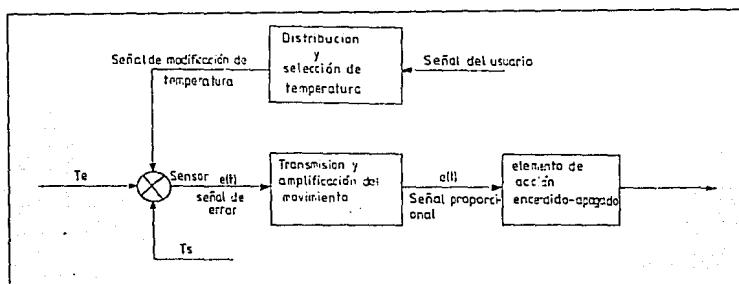


figura II.9 diagrama de bloques

2.4.1.- Componente de distribución y selección de temperatura.

En las figuras II.10 y II.11 se ven los dos casos típicos de este tipo de elemento. En el primer caso (figura II.10) se tiene una palanca que esta fija a la varilla invar de el elemento sensor. En el otro extremo de la varilla se tiene una rosca de paso muy fino, de manera que cuando se gira la palanca, la varilla se deslizará hacia arriba o hacia abajo, ejerciendo un control directo sobre la señal de error.

Para limitar este movimiento dentro de ciertos límites se tienen unos topes en la base del sensor y una carátula indicadora para que el usuario seleccione la temperatura adecuada mediante el giro de la palanca. El rango de temperatura deseada se calibra con un prisionero que al aflojarse permite el giro libre de la palanca sin ejercer presión sobre la varilla.

En el segundo caso (figura II.11) el control de la señal de error se ejerce en forma indirecta mediante una palanca que recibe la señal de error del termostato y la señal del usuario y en función de esto transmite una señal al elemento de transmisión y amplificación. El usuario manda una señal a la palanca por medio del avance del tornillo, que tiene un giro limitado por unos topes colocados en la perilla de selección de temperatura. El rango de temperatura deseado se calibra por medio de un tornillo que regula el avance del tornillo que está en contacto con la palanca.

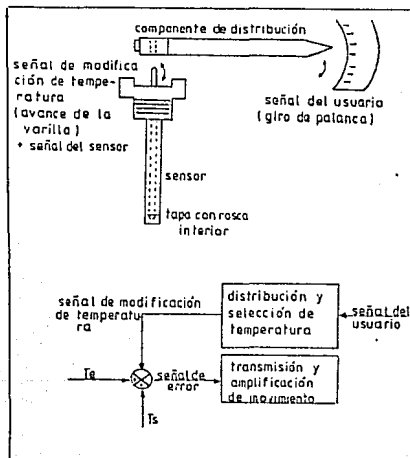


figura II.10

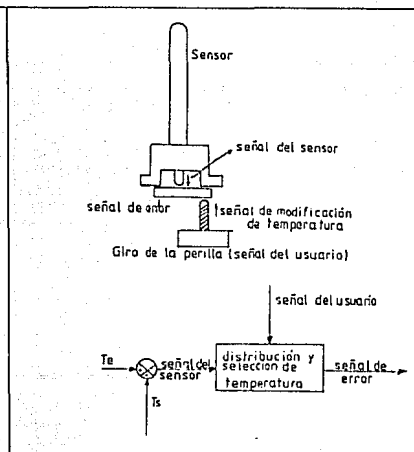


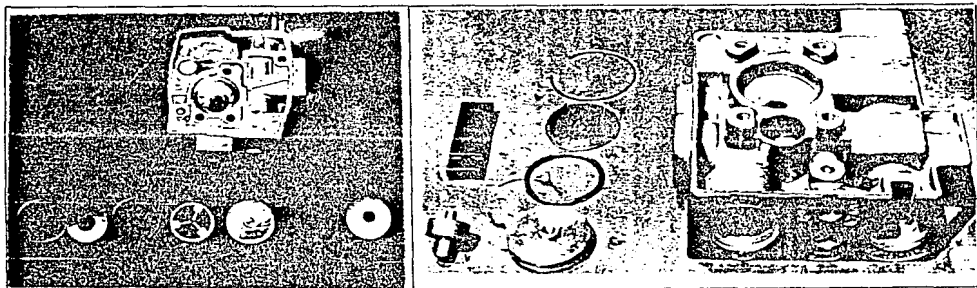
figura II.11

2.4.2.- Componente de transmisión y amplificación de movimiento.

Este componente recibe la señal de movimiento del elemento sensor en forma directa a través de la varilla invar o en forma indirecta a través de una palanca u otro elemento mecánico y transmite y amplifica esta señal al elemento de acción encendido-apagado.

Como se ve en la figura II.12, este elemento consiste en un transmisor de fuerza y movimiento proveniente del sensor y de una palanca simplemente apoyada que tiene la función de amplificar el movimiento. Esta palanca puede estar situada antes (caso 1) o después (caso 2) del elemento de acción encendido-apagado.

Debe de existir también alguna forma de evitar fugas de gas hacia el exterior y esto se logra, para el caso 1, mediante un sello fijo de latón y un diafragma de aluminio colocado en la parte superior del transmisor. Para el caso 2, el sello consiste en un o-ring que se desplaza junto con el transmisor de fuerza.



Caso 1

Caso 2

figura II.12

2.4.3.- Elemento de acción encendido-apagado.

La señal que sale de el elemento de transmisión y amplificación sigue siendo de tipo proporcional. Para obtener una señal del tipo encendido-apagado en la válvula, es necesario incorporar un elemento mecánico o eléctrico que tenga la capacidad de convertir una señal proporcional en una de tipo encendido-apagado este elemento debe tener además la capacidad de transmitir el movimiento y fuerza necesaria para abrir la válvula y vencer la fuerza de presión del gas, también debe tener la capacidad de proporcinar la brecha diferencial para el cual está diseñado el termostato.

En los controles de temperatura de agua doméstico el elemento comunmente empleado es un resorte de disco (snap-ring), que consiste en un disco anular de espesor constante levantando de manera que forma un cono truncado, como se ilustra en la figura II.13.

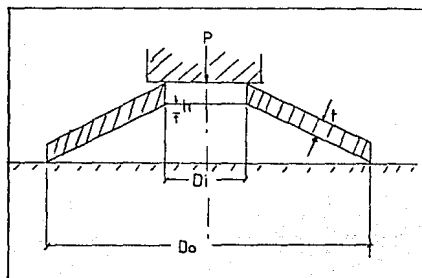


figura II.13 snap ring

En la figura II.13 D_o es el diámetro exterior medido desde el centro a la orilla exterior, D_i es el diámetro interior medido del centro a la orilla interior, t es el espesor del material y h es la altura del cono.

La curva característica de carga-deformación del resorte de disco es una función polinomial de las dimensiones anteriores.

$$P = \frac{4Et^4}{D_o^2} C_1 C_2 ; \quad C_1 = \frac{\delta}{(1-u)^2} \left(\frac{h}{t} - \frac{j}{t} \right) \left(\frac{h}{t} - \frac{j}{2t} \right) + 1$$

$$y \quad C_2 = \frac{\pi}{6} (\log \alpha) \left(\frac{\alpha}{\alpha-1} \right)^2 ; \quad \alpha = \frac{D_o}{D_i}$$

P es la carga axial, δ es la deformación axial, u es la relación de Poisson y E es el módulo de elasticidad. Los valores de C_2 se pueden graficar como una función logarítmica de la razón de diámetros α como se muestra en la figura II.14.

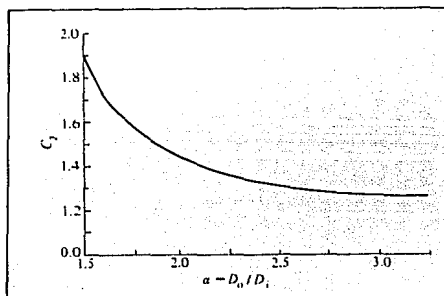
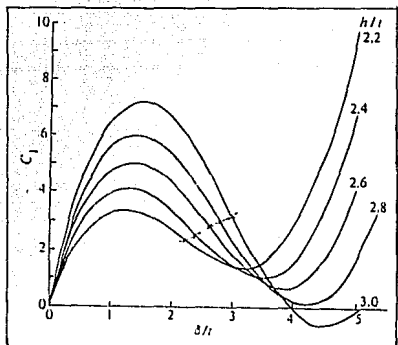
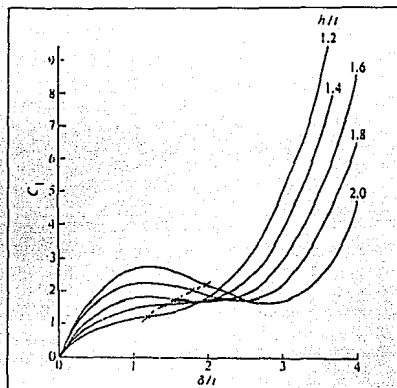
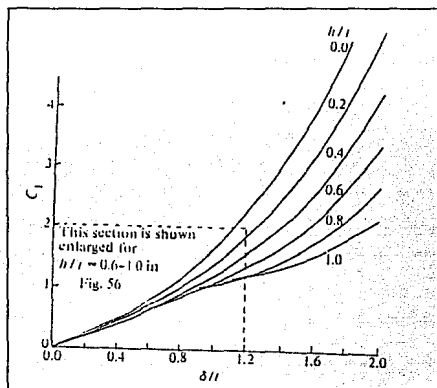


figura II.14

El factor C_1 se puede trazar como una función de δ/t y h/t los valores de C_1 para razones de h/t entre 0.4 y 3.0 pueden obtenerse de las figuras II.15 y II.16.



figuras II.15 y II.16 Curvas características.

Además de la obvia ventaja de ocupar un espacio pequeño, una variación en la relación h/t producirá una amplia variedad de formas de las graficas carga-deformación con su correspondiente diversidad de aplicaciones.

Para la aplicación que nos interesa, el resorte discoidal se puede emplear como un amplificador mecánico no lineal de alta ganancia en donde se requiere un desplazamiento grande e instantaneo cuando la fuerza aplicada llega a cierto límite. De las curvas que se ven en la figura, las que están situadas entre $h/t=2.6$ y 2.8 son las que nos dan las anteriores características. Las curvas que están por encima de 2.83 no se pueden emplear, ya que se necesitará una fuerza en sentido contrario para poder cerrar la válvula.

El resorte de disco puede transmitir directamente el movimiento a la válvula o con la ayuda de otro elemento mecánico (figura II.17).

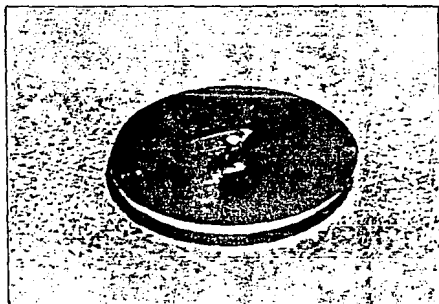


figura II.17

La brecha diferencial se logra con la incorporación de una palanca en el resorte o con el auxilio de una palanca independiente (figura II.18), que a la vez forma parte de el elemento de transmisión y amplificación.

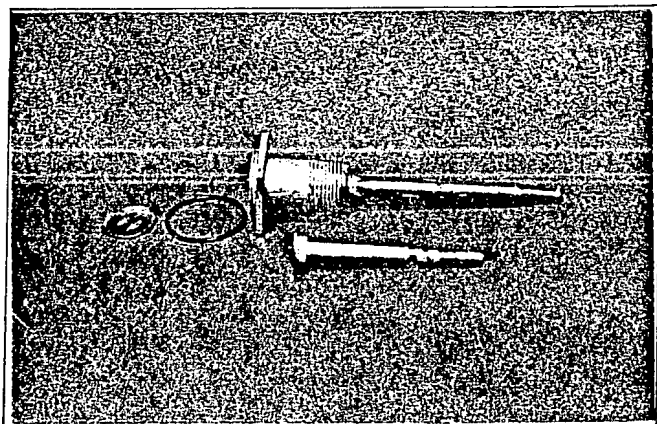


figura II.18

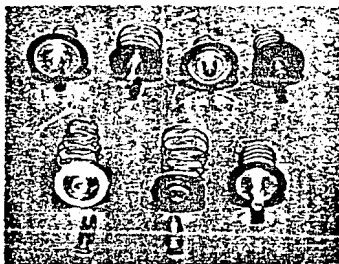
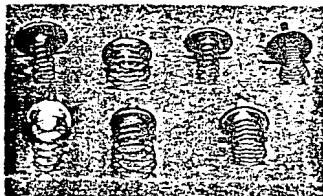
Al componente de transmisión y amplificación de movimiento y al elemento de acción encendido-apagado se les conoce comunmente como mecanismo de accionamiento. Esto se debe principalmente a que algunos elementos del componente de transmisión están integrados en el resorte de disco, o alguna función del componente de acción encendido- apagado la cumple algún elemento del componente de transmisión.

II.5.- MECANISMO DE CONTROL.

Este es el componente final en el termostato; es el que recibe la señal del elemento sensor a través de el componente de transmisión y distribución y reacciona de acuerdo a la señal recibida para regular la corrección del medio. Por corrección del medio se entiende cualquier efecto de calentamiento o enfriamiento que se usa para corregir cualquier desviación del valor deseado de la temperatura sensada por el elemento térmico (acción de control).

En los calentadores domésticos de agua el mecanismo de control consiste simplemente en una válvula, ya que el elemento sensor tiene la capacidad de proporcionar la energía necesaria para vencer la fricción del elemento de transmisión y la presión que ejerce el gas sobre la válvula en la apertura y cierre de ésta.

En las figuras II.19 y II.20 se ilustran los diferentes tipos de válvulas principales usadas en los termostatos domésticos. Estas válvulas constan de tres partes principales:



figuras II.19 y II.20

1).- Vástago. Recibe la señal del mecanismo de accionamiento de apertura o cierre de la válvula.

2).- Cuerpo de la válvula. Es la que permite el flujo de gas hacia el quemador principal en posición abierta y evita fugas de gas mediante un sello colocado alrededor del cuerpo cuando está en posición cerrada.

3).- Resorte. Esta pieza proporciona la fuerza de cierre de la válvula principal.

La calibración entre la señal de apertura y cierre del mecanismo de accionamiento y la apertura y cierre de la válvula se realiza en el vástago de la válvula principal, regulando la altura del vástago, ya sea mediante un tornillo de regulación, o con válvulas que tienen vástagos de diferentes tamaños.

CAPITULO III.

CONTROL DE TEMPERATURA HONEYWELL.

En la figura III.1 se muestra un diagrama de bloques completo del sistema de control de temperatura encendido-apagado, cada uno de los elementos que lo componen y su funcionamiento. A continuación se explicará el funcionamiento y proceso de diseño que se siguió para el control de temperatura Honeywell.

III.1.- SENSOR DE TEMPERATURA.

El elemento sensor se diseña para que la diferencia de expansión térmica entre el tubo de cobre y la varilla invar, cuando se encuentran sumergidos en un depósito de agua, proporcione el trabajo necesario para accionar la válvula principal y vencer la presión del gas .

Como el comportamiento de este tipo de sensor es lineal, no existen problemas de variación del trabajo que proporciona para todo el rango de temperaturas en funcionamiento (set-point).

En base a experiencias en diseño y fabricación de controles termostáticos, se llegó a establecer una diferencial de temperatura máxima de 21°F , que debería ser aplicada para un rango de temperaturas de $115 \pm 1^{\circ}\text{F}$ para apertura de la válvula y $136 \pm 1^{\circ}\text{F}$ para cierre de ésta.

Estas dos características principales del sensor de tubo y varilla - diferencial de temperatura y potencia necesaria para apertura y cierre de la válvula - las proporciona el sensor a través de la medición y cálculo de el movimiento diferencial entre tubo y varilla y la medición y cálculo de el módulo de resorte del sensor.

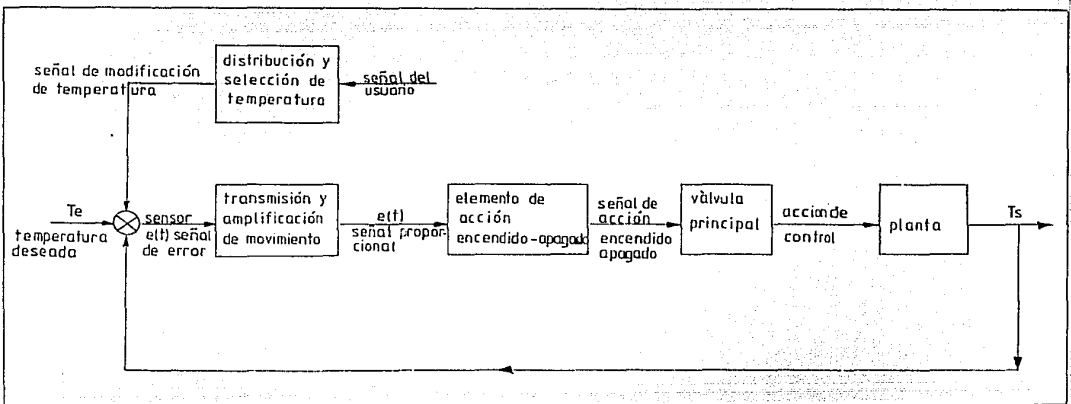


figura III.1.1. Diagrama de bloques del sistema de control.

3.1.1.- Movimiento diferencial.

Para calcular el movimiento diferencial se utiliza la fórmula siguiente:

$$\Delta X = [(\alpha_{co})(L_{co}) - (\alpha_{in})(L_{in})] \Delta T_{max}$$

Donde:

α_{co} = coeficiente de expansión del cobre = $9.8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1}$

α_{in} = coeficiente de expansión del invar = $0.78 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1}$

L_{co} = longitud efectiva del cobre = 5.28 in

L_{in} = longitud efectiva del invar = 5.28 in

ΔT_{max} = máxima diferencial de temperatura = $21 \text{ } ^\circ\text{F}$

Δx = movimiento diferencial

Para estos datos se tiene un movimiento diferencial de 0.001 in que es el valor de diseño que debe ser controlado en el proceso de fabricación, ensamble y calibración del control de temperatura. La longitud efectiva del tubo de cobre incluye su base.

3.1.2.- Módulo de resorte.

El módulo de resorte del elemento sensor no tiene relación alguna con sus características térmicas o de movimiento diferencial, ya que las dimensiones que se emplean son diferentes. Esto nos da la ventaja de variar cualquiera de estas dos propiedades sin modificar el valor de la otra. La única propiedad común a ambos es la longitud efectiva de tubo y varilla.

Para encontrar el módulo de resorte del tubo de cobre y la varilla invar, se utiliza la ley de Hooke, ya que ambos se encuentran a tensión simple.

$$\frac{P}{\delta} = \frac{AE}{L}$$

Donde $\frac{P}{\delta} = R$ = módulo de resorte

A = área transversal

Para el tubo de cobre $A_{cu} = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2)$

D_i y D_o son los diámetros interior y exterior respectivamente del tubo de cobre.

$D_o = 0.375$ in

$D_i = 0.245$ in

Para la varilla invar: $A_{in} = \frac{\pi}{4} D^2$

Donde D es el diámetro de la varilla invar

$D = 0.1875$ in

L = Longitud efectiva

Para el tubo de cobre $L_{co} = 4.65$ in

Para la varilla invar $L_{in} = 5.28$ in

E = Módulo de elasticidad

Para el tubo de cobre $E_{co} = 17 \times 10^6$ Lb/in.

Para la varilla invar $E_{in} = 21.4 \times 10^6$ Lb/in.

Con estos datos nos da un módulo de resorte para el cobre de 232 000 Lb/in y para el invar de 111 000 Lb/in. Como ambos módulos de resorte están ensamblados en serie, el módulo de resorte del sensor es:

$$R_s = \frac{(R_{cu})(R_{in})}{R_{cu} + R_{in}}$$

$$R_s = 75000 \text{ lb/in}$$

Pruebas experimentales del módulo de resorte para el sensor de tubo y varilla mostraron un valor promedio de 55 000 Lb/in. La discrepancia entre el valor teórico y experimental se debe probablemente, a la rosca empleada en la terminal fija de la varilla invar y a la configuración final del tubo de cobre.

III.2.-COMPONENTE DE SELECCION Y DISTRIBUCION DE TEMPERATURA.

Como se vió en el capitulo anterior, el componente de selección y distribución de temperatura consta de una palanca que está fija a la varilla invar en su extremo libre, y en el extremo que está unido al tubo se tiene una rosca de paso muy fino. Mediante el movimiento angular de la palanca el usuario ejerce control sobre la señal de error (movimiento diferencial) que se transmite al componente de transmisión y amplificación de movimiento.

En este movimiento angular de la palanca se distinguen dos regiones. La primera, que tiene un valor aproximado de 80 grados y que sirve para el encendido y apagado en forma manual del sistema. La segunda región de giro angular corresponde a la región de selección de temperatura deseada (set-point) y si la palanca se mantiene en cualquier punto de esta región, el funcionamiento del sistema de temperatura será automático.

Para esta segunda región, el componente de selección de temperatura se diseñó de manera que con una rosca de paso 48 en el extremo donde se unen el tubo de cobre y la varilla invar, y con un giro de 17 grados angulares en el extremo libre de la varilla invar, nos de un movimiento vertical aparente de 0.001 in que corresponde con el movimiento diferencial máximo del elemento sensor de temperatura.

Este giro de 17 grados angulares debe ajustarse con el cierre y apertura de la válvula a 136 ± 1 °F y 115 ± 1 °F respectivamente.

Al reducir el ángulo de giro de 17 grados a otro más pequeño, el efecto que se obtiene es el de disminuir esta diferencial máxima de movimiento a otro más pequeño, lo que da por resultado una disminución en la planta de la diferencial de temperatura y una disminución de su límite superior (figura III.2).

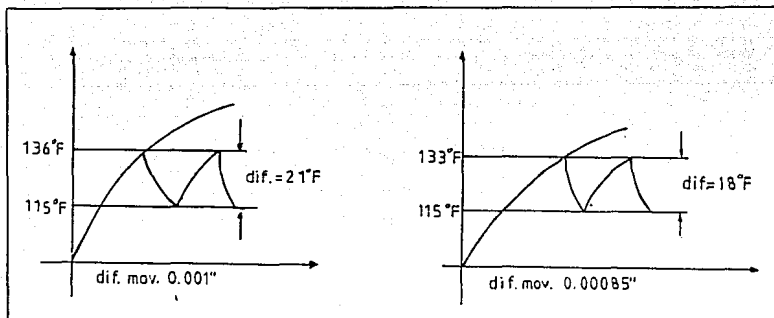


figura III.2. Efectos del incremento del movimiento diferencial

III.3.-COMPONENTE DE TRANSMISION Y AMPLIFICACION DE MOVIMIENTO.

Este componente también se conoce como mecanismo de accionamiento y las funciones principales que realiza son:

- Junto con el sensor de temperatura, proporciona la brecha diferencial al sistema.

- Transmite y amplifica la señal de error a la válvula principal.

- Convierte una señal de tipo proporcional en una de tipo encendido-apagado, que es la que finalmente está en contacto con la válvula principal.

Todas estas funciones las cumple el mecanismo de accionamiento cuando los componentes de éste actúan conjuntamente para proporcionar el resultado deseado.

La figura III.3 muestra el mecanismo de accionamiento Honeywell. Este consiste de un apoyo que transmite la señal de error a la palanca que está en contacto con el resorte de disco. La palanca y el resorte de disco están asentados en dos apoyos que evitan la fricción.

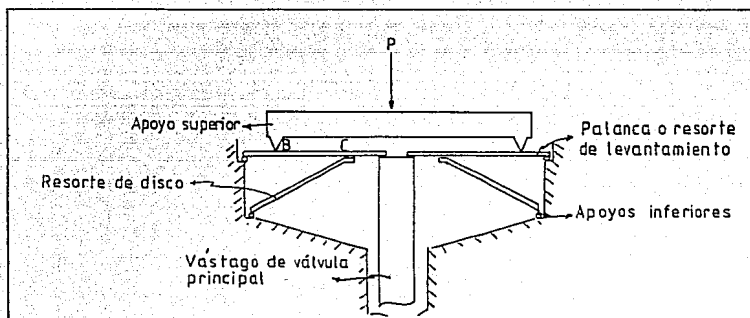


figura III.3. Mecanismo de accionamiento.

3.3.1.- Resorte de disco.

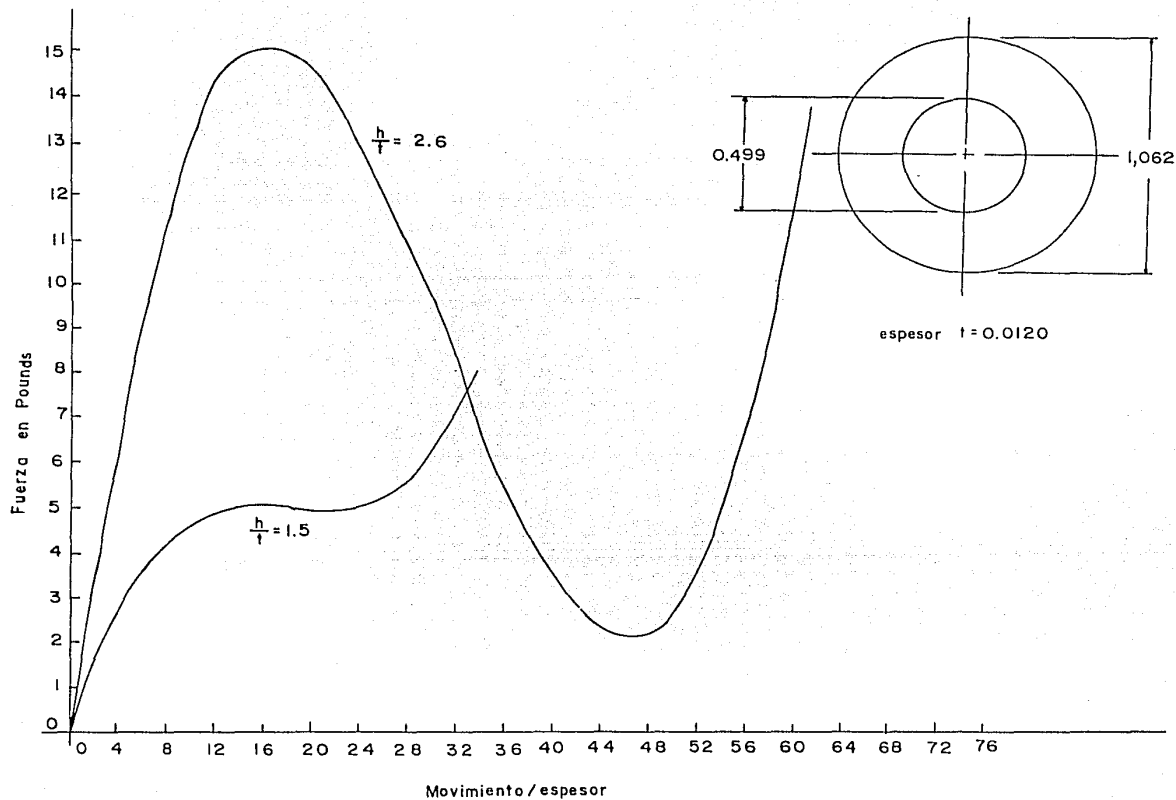
El elemento mecánico encargado de convertir una señal proporcional en una de tipo encendido-apagado es un resorte de disco. Este funciona como un amplificador mecánico no lineal de alta ganancia que nos da un desplazamiento grande e instantaneo cuando la fuerza aplicada llega a cierto límite. Los resortes que cumplen estas características son los que están situados entre $h/t = 2.6$ y $h/t = 2.8$.

En la gráfica III.1 se muestra la curva característica del resorte de disco empleado en los termostatos Honeywell con las dimensiones de éste. También se muestra la curva característica de un resorte de disco con $h/t = 1.5$.

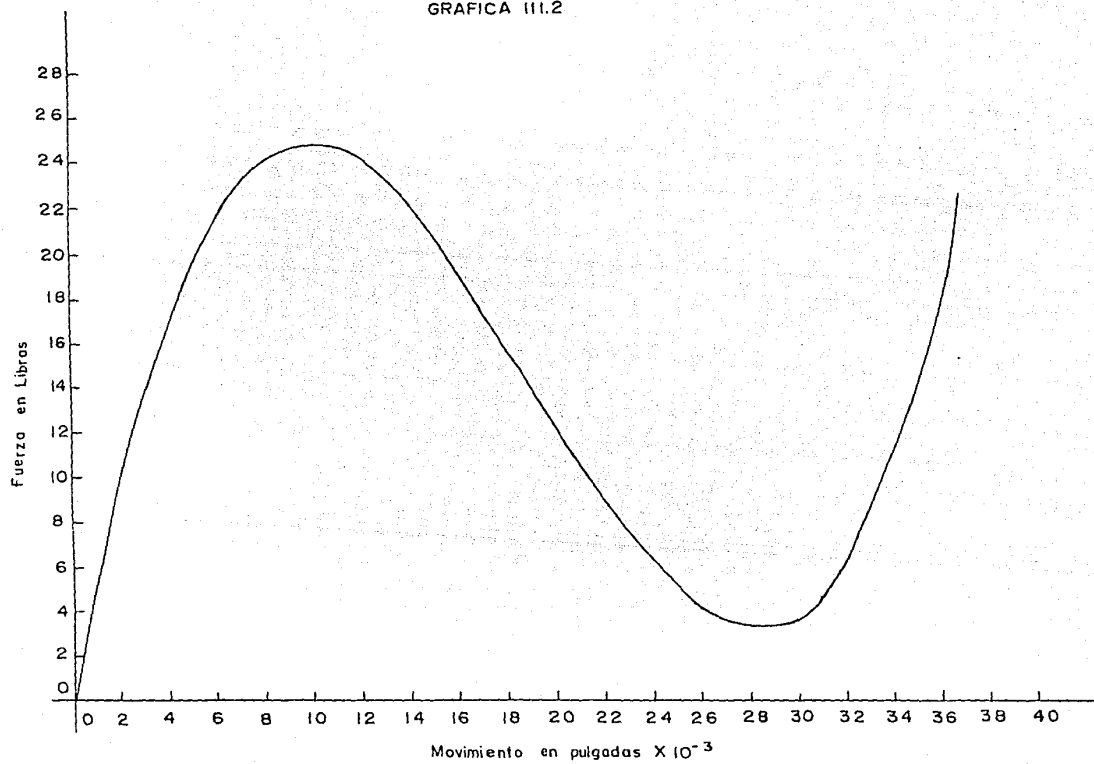
Los datos básicos necesarios para iniciar el diseño del resorte de disco son: el espacio disponible para alojar el mecanismo de accionamiento, el comportamiento mecánico deseado y la apertura mínima de la válvula.

En la gráfica III.1, se considera que la fuerza para deformar el resorte está aplicada en su diámetro interior, y el apoyo del resorte en su diámetro exterior. El procedimiento usado para convertir los diferentes diámetros de apoyo es el siguiente:

GRAFICA III.1



GRAFICA 111.2



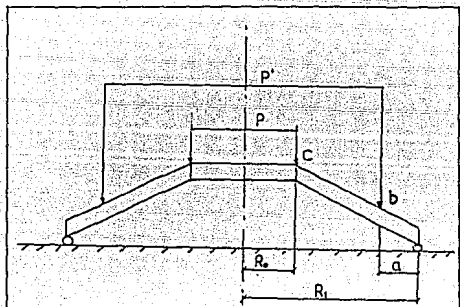


figura III.4. Resorte de disco.

$$\delta' = \delta \frac{a}{R_o - R_i}$$

$$P' = P \frac{R_o - R_i}{a}$$

δ = deformación en P.

δ' = deformación en P'.

R_o = radio interior.

R_i = radio exterior.

a = nueva diferencia entre puntos de apoyo.

P = fuerza en b.

P' = fuerza en c.

La gráfica III.2 es la curva caracteriztica del resorte discoidal que resulta cuando se considera que la fuerza está aplicada a 0.700 diá y 1.04 diá. Este es el modelo final de resorte discoidal que se utiliza actualmente en el control de temperatura Honeywell.

3.3.2.- Palanca o resorte de levantamiento.

La palanca funciona como una viga simple (figura III.5) que transmite fuerza y movimiento proveniente del apoyo (punto B), al resorte de disco (punto C).

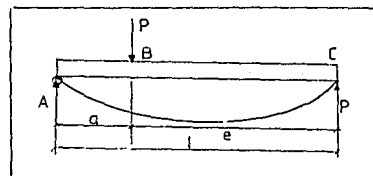


Figura III.5. Resorte de levantamiento.

$$\frac{P}{\delta} = \frac{3EI}{a^2 c^2}$$

P = fuerza.

δ = deflexión.

E = módulo de elasticidad.

I = momento de inercia.

La acción de palanca tiene la función de incrementar el desplazamiento y de disminuir la fuerza que se aplica en el punto B. Esta palanca tiene un módulo de resorte que actúa conjuntamente en serie con los módulos de resorte del sensor y del resorte de disco. El módulo de resorte de la palanca se considera constante, ya que la sección transversal no varía a lo largo de su longitud.

Para el cálculo del módulo de resorte de la palanca, se toma como punto de referencia el punto B, donde se aplica la fuerza P. Para referir este mismo módulo de resorte al punto C, que es el punto donde se aplica la fuerza del resorte de disco, se emplea la siguiente relación.

$$R_c = \frac{R_B}{r^2}$$

R_B = módulo de resorte en el punto B.

R_c = Módulo de resorte en el punto C.

r = razón de palanca. $r = \frac{1}{a}$

La figura III.6 muestra el diseño final de la palanca (resorte estrella), con sus dimensiones y las longitudes de los brazos de palanca. La reducción de la base de la sección transversal se usa para distribuir los esfuerzos uniformemente a lo largo de ésta y se toma como ancho promedio 0.2165 plg.

Esta palanca contiene tres patas en las cuales se distribuye la razón total de la palanca y conjuntamente proporcionan fuerza y movimiento al resorte de disco. Las extensiones que van fijas a las patas de la palanca sirven para accionar la válvula principal;

ya que son las que finalmente están en contacto con ésta, además de que proporcionan un desplazamiento adicional a la válvula en el ciclo de apertura.

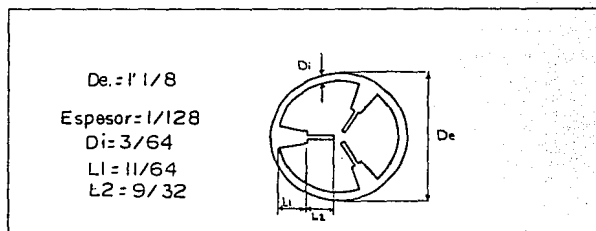


figura III.6

3.3.3.- Mecanismo de accionamiento.

Como se ve en la gráfica III.2 del resorte de disco, éste por sí solo no es capaz de proporcionar la brecha diferencial al sistema. Para lograr que el mecanismo de accionamiento proporcione esta función, se le necesita agregar una palanca y un apoyo, que además transmiten y amplifican el movimiento proporcional proveniente del sensor.

Para poder visualizar el funcionamiento conjunto del mecanismo de accionamiento se tomará como referencia dos puntos del sistema (figura III.7).

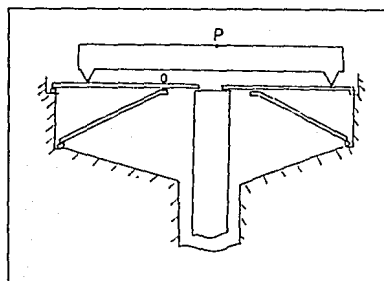


figura III.7.

-Punto o.

La curva que se muestra en la gráfica III.3 es la que se obtendría si se observa el comportamiento del mecanismo de accionamiento en el punto de referencia 0.

Como se ve en la curva del resorte de disco, cuando se pasa adelante del punto P_1 , se vuelve inestable y se mueve más allá de la posición plana $s/h_0 = 1$ (figura III.8). La posición plana se conoce como centro del mecanismo total.

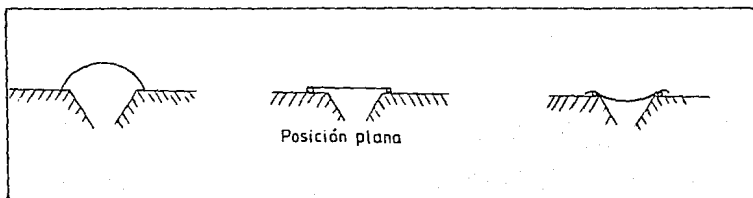


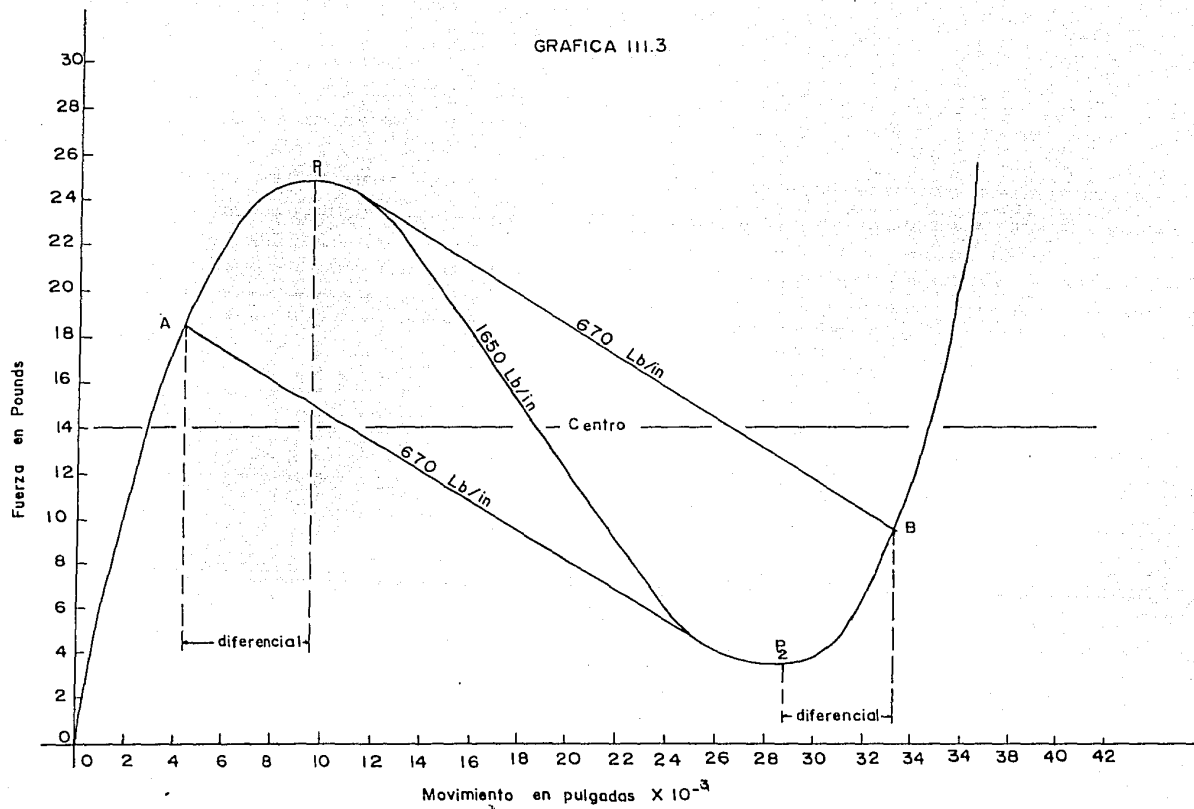
figura III.8.

Observe que la pendiente de la curva es positiva de 0 a P_1 , negativa de P_1 a P_2 y positiva de nuevo mas allá de P_2 . Estos intervalos los conoceremos como fases 1, 2 y 3. El módulo de resorte o pendiente de la curva en la vecindad del centro es negativa y vale 1650 Lb/in.

La palanca tiene un módulo de resorte lineal de 670 Lb/in y está colocado en serie con el resorte discoidal de manera que la fuerza y movimiento es aplicada al resorte de disco a través de la palanca.

Durante la fase 1 el sistema es estable debido a que los módulos de resorte están en la misma dirección.

GRAFICA III.3



Para P_1 , la fuerza alcanza un máximo y un movimiento adicional produciría un decremento en la fuerza opuesta por la palanca. Al pasar a la fase 2, la fuerza del resorte de disco inicia un decremento rápido, de tal manera que la fuerza opuesta por la palanca y la energía que libera éste lo lleva en forma instantanea más allá del centro hasta el punto P_2 .

El resorte de disco tiene un desplazamiento adicional hasta el punto B de la gráfica debido a la acción de la palanca, punto en el que el sistema se vuelve estable y las fuerzas de la palanca y el resorte se hacen iguales.

Al reducirse la fuerza aplicada por la palanca, el ciclo se hace reversible por si mismo y se completa el ciclo en el punto A.

La energía disponible para el trabajo es el área P_1P_2B . La diferencial de apertura y cierre de la válvula es la distancia horizontal entre P_2 y B y P_1 y A.

La pendiente del resorte de disco, referido al centro, al compararlo con la pendiente de la palanca P_1B o AP_2 es lo que nos da la magnitud de la diferencial y son características de las piezas que se deben controlar, ya que si se exceden las 1650 lb el resorte de disco no cerraría. La fricción tiende a incrementar esta pendiente y a reducir la diferencial acercando los puntos B y A, reduciendo el área P_1P_2B y por tanto la energía disponible para el trabajo.

La pendiente de la palanca que se observa es un módulo de resorte constante que se obtiene al combinar en serie los módulos de resorte del sensor de tubo y varilla y el módulo de resorte de la palanca, ambos referidos al punto o de la palanca (figura III.7).

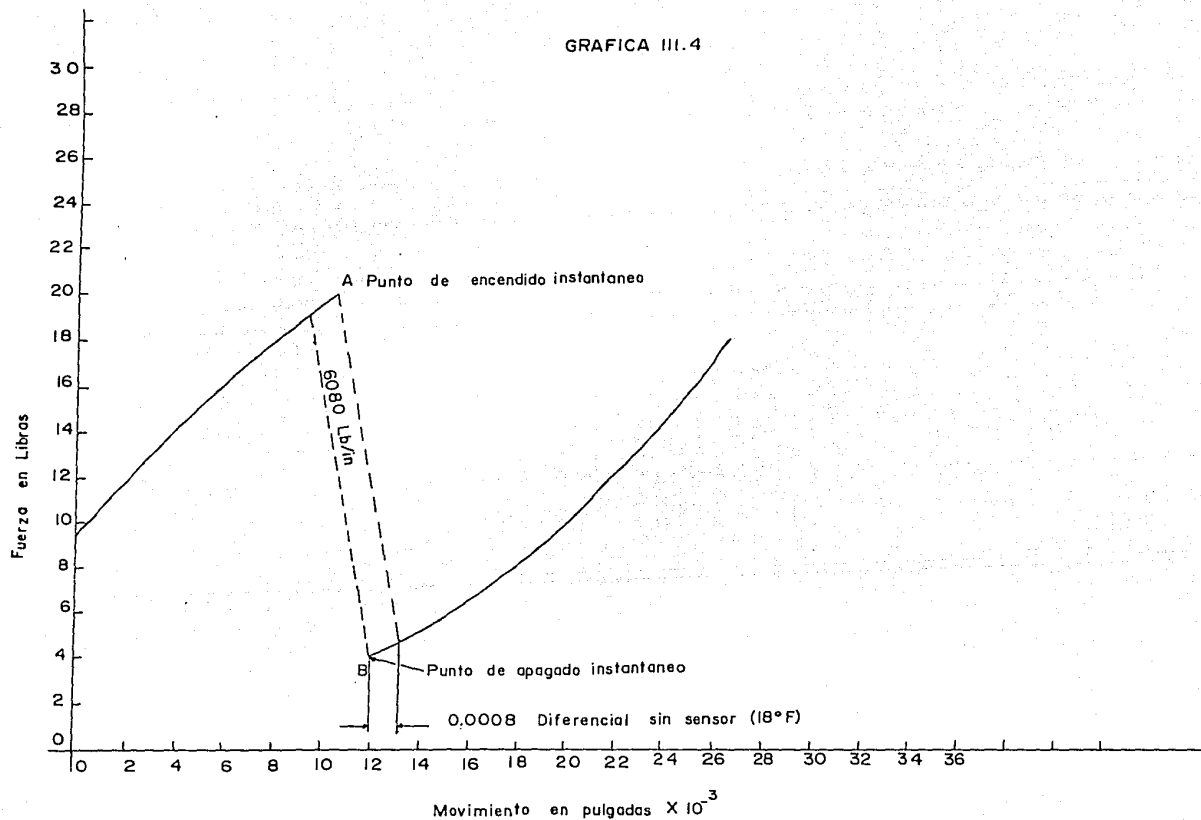
Se deben de tomar en cuenta para el cálculo de dicho módulo, los efectos de los módulos de resorte de los apoyos inferiores del resorte de disco y palanca, el módulo de resorte de el asiento del mecanismo de accionamiento y el módulo de resorte de el resorte de la válvula principal, ya que en este caso se tienen deformaciones pequeñas que pueden alterar el valor del módulo de resorte final. Estos módulos se obtienen en forma experimental.

Punto P

Cuando se cambia el punto de referencia del punto O al punto P la curva de comportamiento que se obtiene es la que se muestra en la gráfica III.4. Esta es la curva que se obtiene al trazar fuerza y desplazamiento de la palanca y del resorte de disco, y al referir ambos al punto B de la palanca.

Esta es la curva que se utiliza para calibrar el mecanismo de accionamiento al comprobar que los valores de movimiento diferencial y módulo de resorte equivalente (6080 lb/in) se encuentran dentro del intervalo indicado.

GRAFICA III.4



III.4.-VALVULA PRINCIPAL.

Otro factor que afecta el comportamiento del resorte de disco al actuar (abrir o cerrar) es la válvula y el resorte de la válvula. Hemos discutido la cantidad de trabajo que requiere un resorte de disco y éste está directamente relacionado con la apertura de la válvula. El diámetro del asiento de la válvula es en éste aparato de 0.967 in con un área de 0.759 in^2 . Esta pensado que para cada pulgada de columna de agua (0.0361 lb/in^2) o de aire a presión, habrán 0.0274 lb de fuerza actuando para cumplir con el cerrado de la válvula. Esta fuerza se sumará a los 0.22 lb de fuerza del resorte de válvula. A una presión de prueba de 4 in de agua el peso total que inicialmente debe levantar es de 0.33 lb y para una presión de prueba de 11 in de agua el peso total es de 0.52 lb.

Cuando el resorte de disco comienza a moverse para abrir la válvula, puede existir un espacio entre las lenguetas y la superficie del vástago de la válvula. Si el vástago se ajusta apropiadamente, el mecanismo de accionamiento podrá desarrollar la suficiente energía para vencer la fuerza de presión del gas y del resorte de la válvula, mientras estén las lenguetas del resorte estrella en contacto con el vástago de la válvula principal.

El ciclo de cerrado de la válvula es igualmente importante. Con la válvula abierta, el resorte de la válvula presiona sobre las lenguetas de la palanca (resorte estrella). Esta fuerza, sumada a la que se crea encima de la válvula por la caída de presión debido al flujo a través de ésta, tiende a cerrar la válvula. Estas fuerzas, se suman a la fuerza de cierre del resorte de disco. La gráfica III.4 muestra el efecto de el resorte de la válvula únicamente sobre la curva del resorte de disco, lo que da por resultado el acortamiento de la diferencial sobre el ciclo de cierre.

Todos las válvulas principales tienen integrado un vástago que se ajusta al mecanismo de accionamiento. Si el vástago de la válvula es ajustada de manera que el mecanismo de accionamiento esta cerca del punto de encendido, la válvula puede abrir parcialmente (encendido gradual) o puede abrir solamente cuando se tenga un enfriamiento adicional en el sensor (doble click). Un mal ajuste similar puede hacerse con el vástago también alejado del mecanismo de accionamiento (lenguetas del resorte estrella). En este caso, las fuerzas que actuan sobre la válvula pueden cerrar ésta antes de que el resorte de disco haya pasado el punto mínimo de la curva para el ciclo de calentamiento del sensor (cierre gradual).

Para este tipo de válvula se implementó un indicador para medir la longitud del vástago de la válvula y otro para medir el vástago después de que ha sido cortado el flujo por la válvula. El primer indicador se utiliza para tomar una medida del lado del cierre del ciclo, esta medida se diseñó para asegurar una apertura de la válvula sobre el sello de 0.010 in en el momento de apertura. El indicador utilizado es un indicador estandar, teniendo un valor de fuerza de 100 gr equivalentes al resorte de la válvula. Ajustando a ceros la lectura del indicador, para una lectura verdadera de 0.10 in. Esta lectura puede ser usada para calibrar la longitud verdadera del vástago de la válvula.

CAPITULO IV

DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA

IV.1.- INTERRELACION ENTRE COMPONENTES Y DIMENSIONES PRINCIPALES.

En la figura IV.1 se muestra el diagrama de bloques completo del sistema de control de temperatura encendido-apagado.

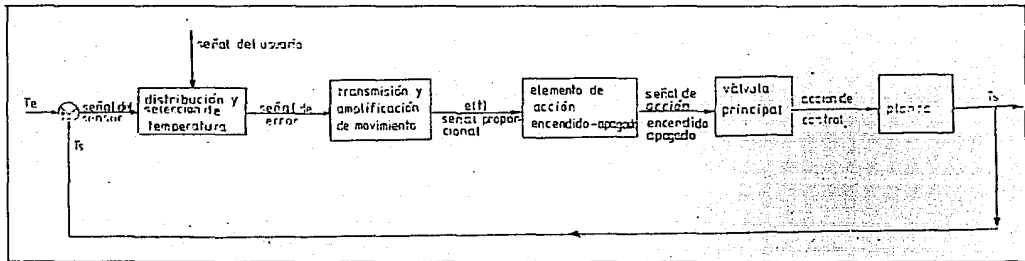


figura IV.1

A continuación se describirán los componentes del sistema de control de temperatura:

4.1.1.- Sensor de temperatura.

Este modelo está diseñado para que no haya peligro de fugas de agua hacia el mecanismo de accionamiento, además de que tiene integrado un ECO (Interruptor de corriente eléctrica), figura IV.2.

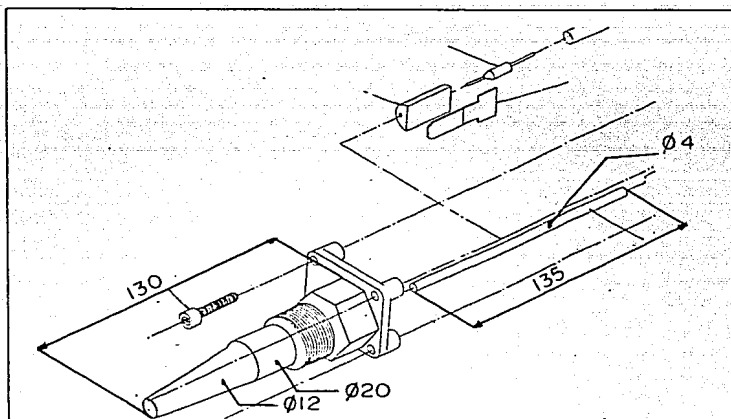


figura IV.2.

La fabricación de esta pieza se realiza mediante extrusión ya que este proceso se usa para obtener piezas de gran profundidad en relación con su diametro, este proceso permite exactitud y rapidez de fabricación. Una vez obtenida la pieza se maquina la cuerda para instalación en el tanque de depósito.

En este tipo de sensor la fabricación y ensamble es menos complicada ya que solamente se manejan dos piezas. Además de que el mecanismo de selección de temperatura forma un conjunto independiente al sensor de temperatura.

La varilla invar en este modelo no lleva maquinado de rosca, y ningún tipo de fijación al sensor, lo que facilita el ensamble y calibración.

El rango de temperaturas para apertura de la válvula principal es de 46°C y para cierre de 58°C lo cual nos da una diferencial de temperatura de 12°C con estos datos se calculan las dimensiones del sensor de temperatura.

Para este sensor se utilizó una longitud efectiva de tubo de cobre y de varilla invar de 135 mm , lo cual nos da una diferencial de movimiento (diferencial de dilatación lineal del tubo de cobre y la varilla invar) de 0.025 mm .

Con las dimensiones indicadas en la figura IV.2, para los diámetros de tubo del tubo de cobre y la varilla invar, resulta una constante de resorte teórica de $13.12 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}}$.

4.1.2.- Componente de distribución y selección de temperatura.

Las piezas que integran el componente de selección y distribución de temperatura se muestran en la figura IV.3.

Perilla de selección de temperatura.-Se encuentra ubicada en la parte frontal del termostato, permitiendo mayor facilidad en la selección de temperatura.

El material usado para la perilla es un termoplástico ABS, el cual es procesado en un moldeo por inyección.

La perilla tiene unos topes que limitan su giro dentro del rango de temperatura adecuado (giro de 50° para un rango de selección de temperatura de 46°C a 58°C , y un rango de 90° para operar el mecanismo de accionamiento), además de evitar la descalibración del sistema.

Tornillo regulador de temperatura.-La señal del usuario se transmite por medio del avance del tornillo de regulación hacia la palanca.

Este tornillo se fabrica mediante forjado en frio para posteriormente realizar el maquinado de la rosca. Tiene la cabeza en forma hexagonal con rosca interior para fijarla a la perilla y una terminación en forma de punta redondeada para tener buen contacto con la palanca. El paso usado para este tipo de tornillo es de 46 hilos por pulgada lo cual nos dá un giro de perilla de 50° para la regulación de temperatura y un giro de perilla de 90° para el encendido del termostato.

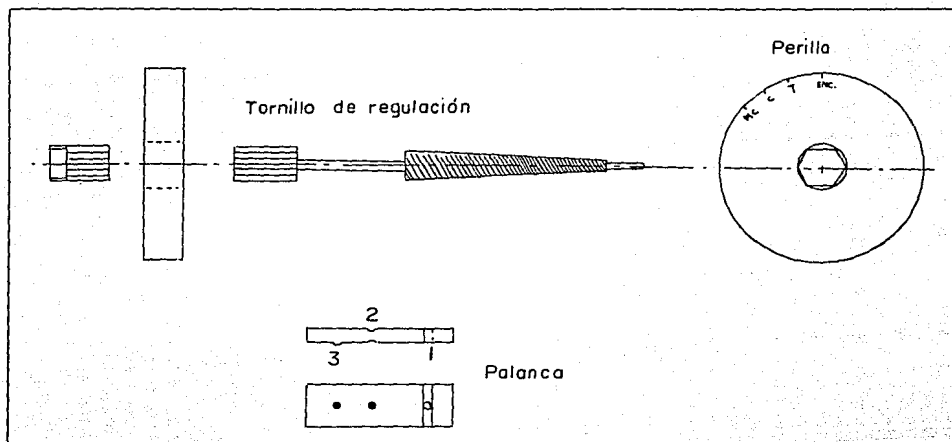


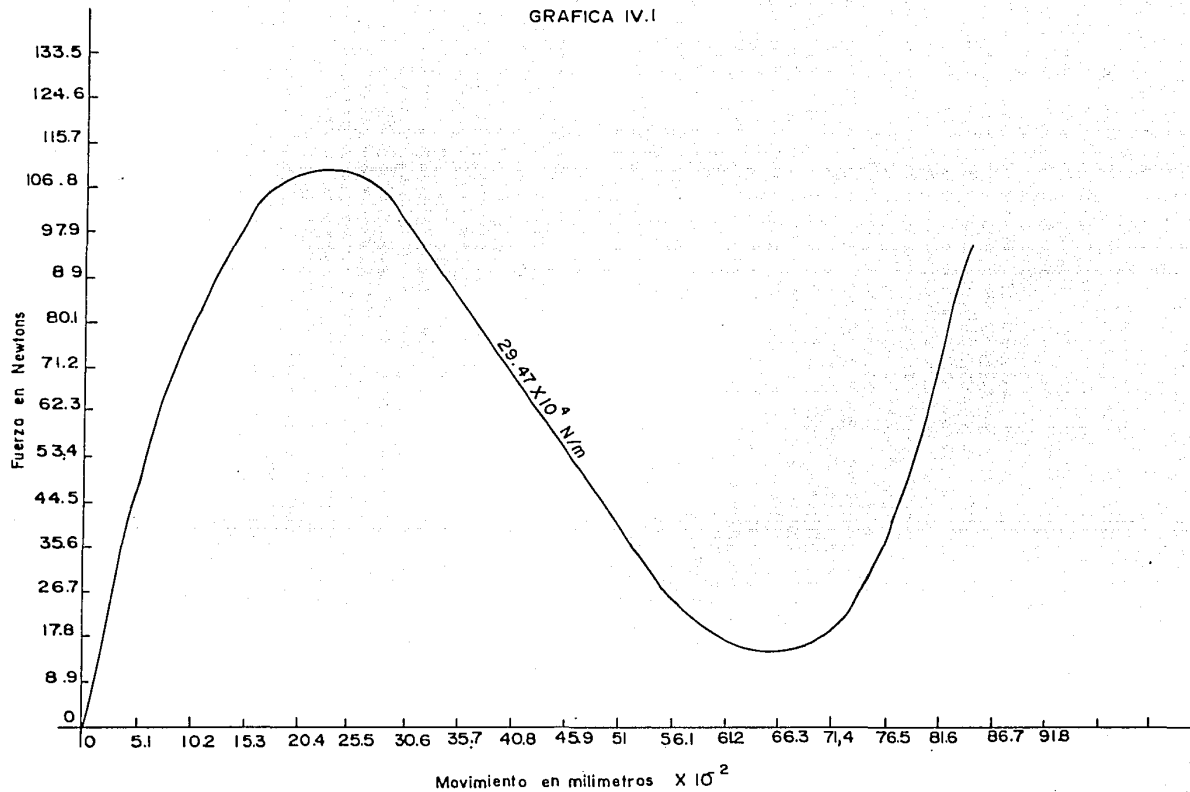
figura IV.3

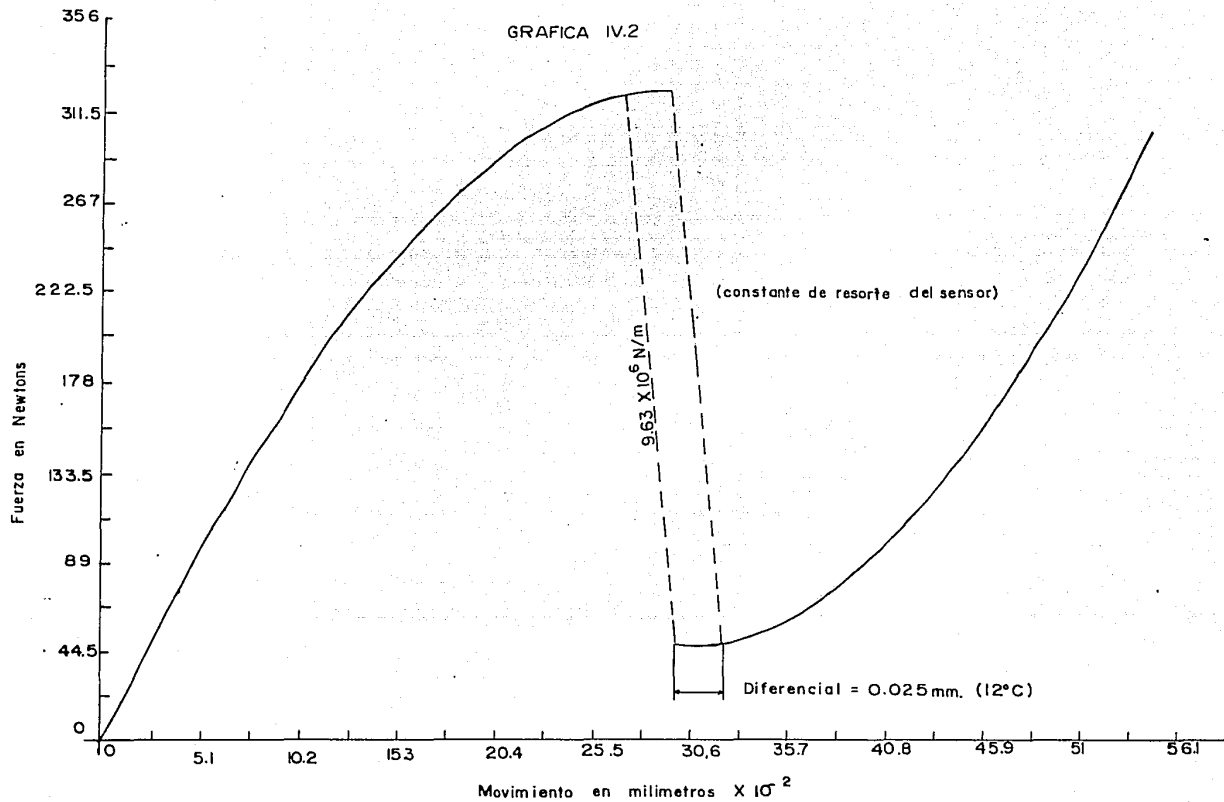
Palanca.-Esta pieza es de un acero forjado en frío con 3 muescas de apoyo, una muesca concava (1) ubicada en la parte inferior que es la que está en contacto con el tornillo regulador, una muesca concava (2) ubicada en la parte superior que está en contacto con la varilla invar y una muesca (apoyo) convexa (3), que es la que transmite el movimiento al mecanismo de accionamiento.

La palanca fue diseñada para que diera una diferencial de movimiento en el mecanismo de accionamiento 0.038 mm (giro de perilla frontal de 50° con rango de calibración de temperatura de 46 a 58°C). Y para obtener una constante de resorte de $3.68 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ en la terminal que está en contacto con el mecanismo de accionamiento y una constante de resorte de $8.44 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ en la parte de la palanca que está en contacto con la varilla invar (2).

Tuerca calibradora.- La tuerca va fija al termostato y tiene una rosca interior que permite la calibración adecuada del componente de distribución y selección de temperatura, además de ahorrar maquinados en el cuerpo del termostato.

GRAFICA IV.1





4.1.3.- Mecanismo de accionamiento. El mecanismo de accionamiento se diseñó tomando como referencia las dimensiones del resorte de disco indicados en la figura IV.4. En la gráfica IV.1 se aprecia la variación del módulo de resorte del resorte de disco. Como puede verse, existe un módulo de resorte constante ($29.47 \times 10^4 \frac{N}{m}$) del punto A al punto B de la gráfica que es precisamente la región de encendido-apagado del control de temperatura.

Tomando como referencia esta constante de resorte, se diseñaron las piezas complementarias del mecanismo de accionamiento (resorte estrella, accionador, apoyos y palanca del componente de selección de temperatura). Se hizo esto con el objeto de que la diferencial de temperatura fuera función únicamente de la constante de resorte de el sensor de temperatura (ver gráfica IV.2). Como resultado, la calibración del movimiento diferencial durante el ensamble se realiza únicamente en los puntos C del mecanismo de accionamiento o D de la palanca. Este tipo de calibración es la que actualmente utiliza Honeywell en su planta de fabricación.

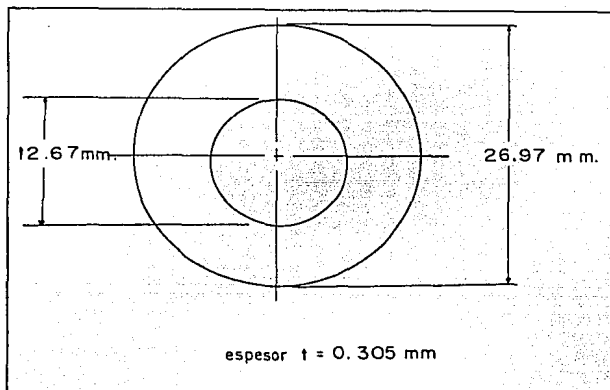


figura IV.4

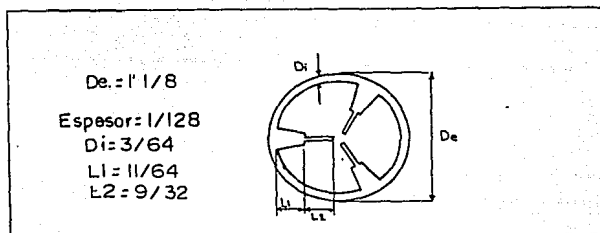
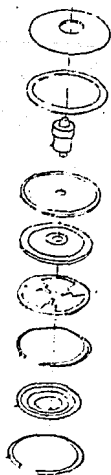


figura IV.5

Con las dimensiones indicadas para el resorte estrella y tomando en cuenta los efectos del accionador, los apoyos y deformación de la base, nos da una constante (suma de resortes en serie) de $3.68 \times 10^4 \text{ N/m}$ en el punto C, una constante equivalente de $8.27 \times 10^4 \text{ N/m}$ en el punto D y una constante de resorte equivalente de $29.47 \times 10^4 \text{ N/m}$ en el punto E del mecanismo de accionamiento, que es el que se quería obtener.

La figura IV.5 muestra el mecanismo de accionamiento del nuevo diseño. Este se ha adaptado para funcionar con perilla de selección de temperatura frontal; dicho mecanismo se encuentra alojado en la cavidad del termostato.

Las funciones que realizan las piezas mostradas son:

Sello de presión, arillo sello y sello de latón, evitan las fugas de gas hacia el ambiente cuando la válvula principal se encuentra en la posición abierta.

Accionador (fulcrum). Transmite la señal de error (diferencia de movimiento del sensor de temperatura y del componente de selección de temperatura). Esta pieza tiene un apoyo en la parte superior para realizar el acoplamiento con la palanca.

Palanca y resorte de disco. Reciben la señal de movimiento del accionador transmiten y amplifican la señal de error a la válvula principal. Estas piezas convierten una señal de movimiento proporcional en una de tipo encendido-apagado.

El resorte de disco es fabricado en dados de carburo de tungsteno de forma conica. Las prensas de formado deben tener presión de cierre ajustable y tiempo de aplicación de presión controlado para despliegue uniforme de fuerzas sobre la pieza (control de la relación h/t del resorte de disco).

La palanca también se fabrica en dados de carburo de tungsteno equipados con botador. Tanto el resorte de disco como la palanca son de acero inoxidable 420.

4.1.4.- Válvula principal.

La válvula principal consta de 3 partes principales: 1 vástago, 2 cuerpo de la válvula, 3 resorte.

El vástago recibe el movimiento del mecanismo de accionamiento. Este vástago se ensambla al cuerpo de la válvula por medio de troquelado.

El cuerpo de la válvula tiene un sello que evita fugas cuando la válvula se encuentra cerrada, además tiene un resorte que se acopla al cuerpo de la válvula; es el que proporciona la fuerza de cierre a la válvula principal, figura IV.6.

Características de la válvula principal

Diámetro del asiento de la válvula 25 mm .

fuerza total para levantar la válvula principal 2.3 N .

Presión del gas 2730 N/m^2 .

Apertura de la válvula 2.5 mm .

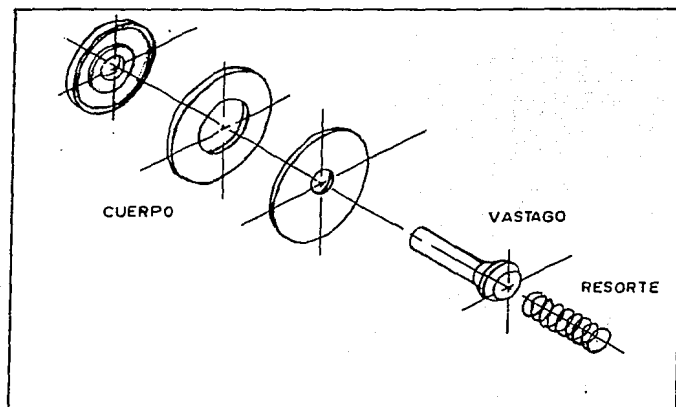
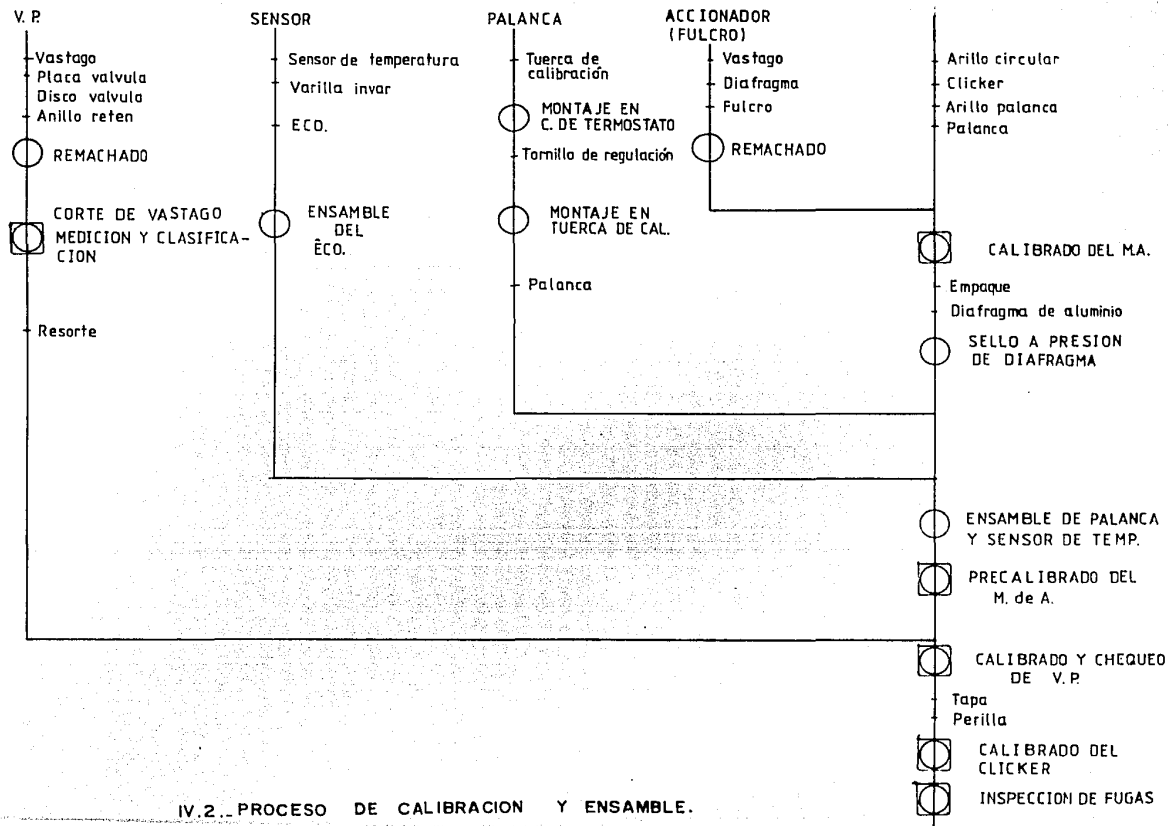


figura IV.6



IV.2. PROCESO DE CALIBRACION Y ENSAMBLE.

IV.3.- DISEÑO FINAL

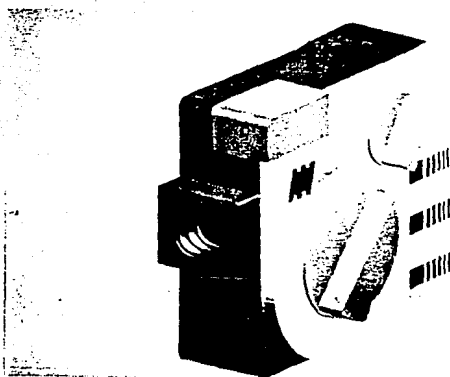


Figura IV.7. Apariencia exterior.

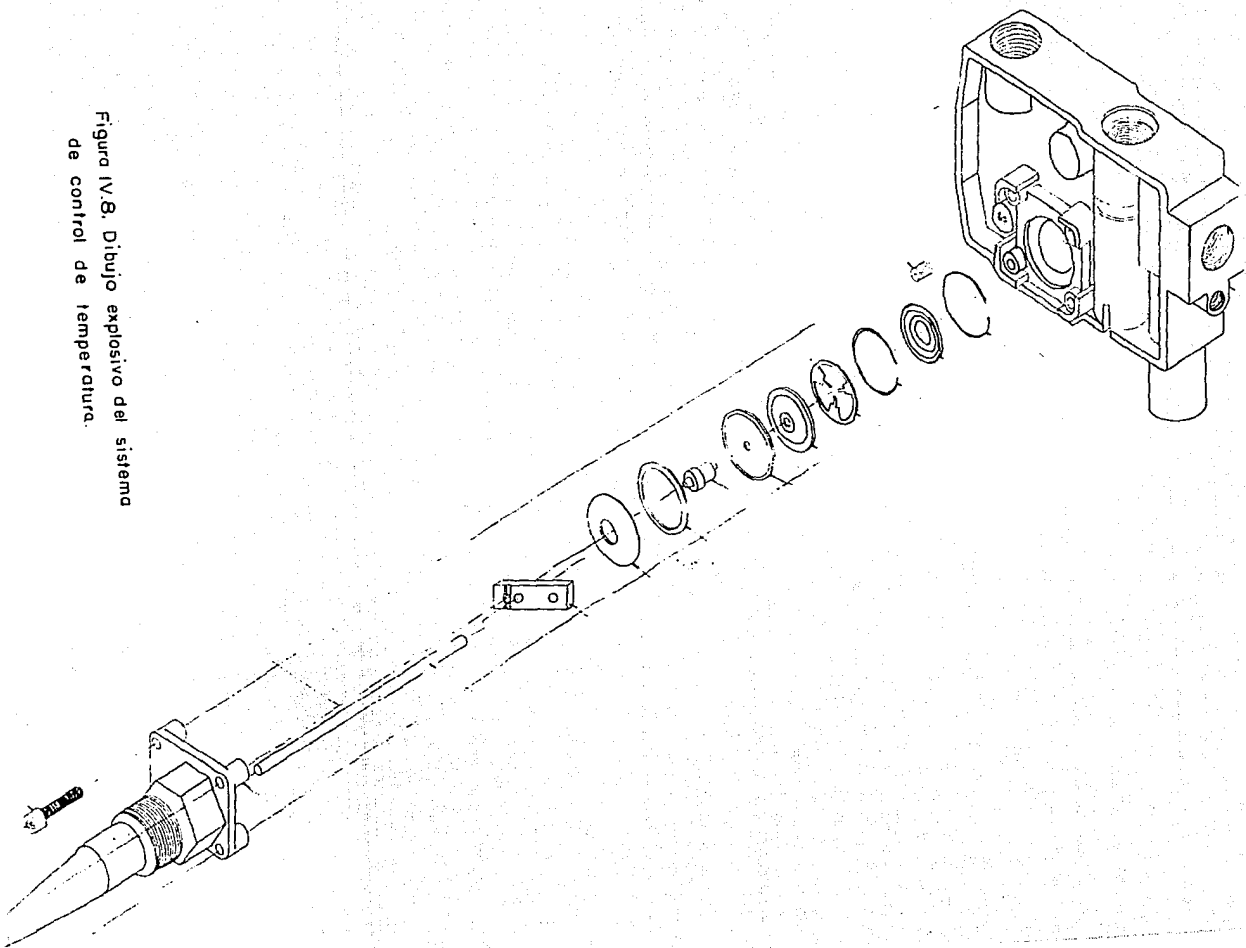


Figura IV.8. Dibujo explosivo del sistema
de control de temperatura.

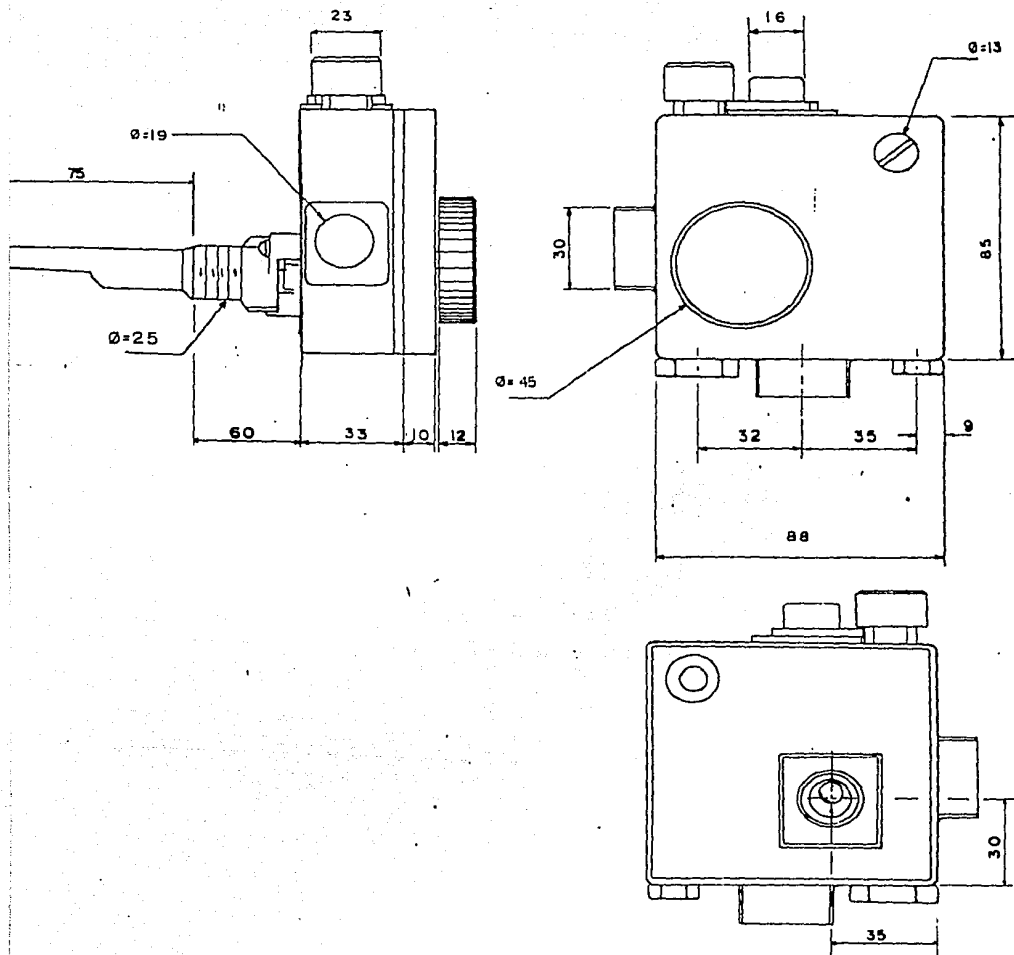


Figura IV.9. Vistas ortogonales

CONCLUSIONES

La instalación del sensor de temperatura es más sencilla y se requieren menor número de piezas para realizar el ensamble (únicamente 2 piezas). Este tipo de sensor es más seguro que las versiones utilizadas en otros termostatos, no hay posibilidades de fugas de agua hacia el mecanismo de accionamiento, debido a que el tubo de cobre y la base del sensor forman una sola pieza.

La palanca es un dispositivo que amplifica la diferencial de movimiento proveniente del sensor, su relación es de 2 a 1 (la distancia de aplicación de la fuerza en el sistema de accionamiento es con respecto al sensor de temperatura y al tornillo regulador el doble).

En el modelo obtenido el paso del tornillo del componente de selección y distribución de temperatura, depende de la relación de la palanca, afectando la fabricación de el tornillo y modificando el giro de la perilla seleccionadora de temperatura.

Para este modelo se tiene un rango de control de temperatura más "fino" que otros termostatos (12°C), lo cual da por resultado, un tiempo de calentamiento menor, mejor rapidez en respuesta (encendido más rápido) y un control de temperatura mas exacto (no se tienen calentamientos o enfriamientos excesivos).

El mecanismo de accionamiento fue modificado sólo en el accionador que es donde se apoya la palanca; y en el sello de presión que evita la descalibración del mecanismo de accionamiento.

Con este arreglo se logra una reducción de fuerzas para accionar el sistema encendido-apagado; además de simplificar la calibración de dicho sistema, así como mayor facilidad de manejo para el usuario con la colocación de perilla frontal, mayor seguridad y una instalación rápida en los tanques de depósito.

BIBLIOGRAFIA

INGENIERIA DE CONTROL MODERNA
KATSUHIKO OGATA
PRENTICE HALL
1a. EDICION
MEXICO 1985

THERMOSTATIC CONTROL
PRINCIPLES AND PRACTICE
V. C. MILES
NEWNES - BUTTERWORTS
SECOND EDITION

MECHANICAL SPRINGS
A. A. D. BROWN
OXFORD UNIVERSITY PRESS
ENGINEERING DESIGN GUIDES N° 42

DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA
JOSEPH E. SHIGLEY
MC GRAW HILL
CUARTA EDICION

MANUAL DE OPERACION
CALENTADORES DOMESTICOS HONEYWELL
HONEYWELL INC.

NORMAS CONSULTADAS

ANSI	Z.21.22	1972....AUTOMATIC RELIEF VALVES AND AUTOMATIC SHUT OFF DEVICES FOR USE ON HOT WATER SUPPLY SYSTEM.
ANSI	Z.21.23	1980....GAS APPLIANCE THERMOSTATS
DGN	NOM X - 30 - 1986....	TERMOSTATO PARA INMERSION EN AGUA, CON VALVULA DE SEGURIDAD INTEGRADA.
DGN	NOM X - 7 - 1986....	GAS LP. O NATURAL. VALVULA SEMIAUTOMATICA DE SEGURIDAD INTEGRADA.