

DISPOSITIVOS ELECTRONICOS PARA EQUIPOS SOLARES:

CONTROL DE TEMPERATURA Y RELEVADOR SOLAR

Abel González, Alejandro Roberti y Eduardo Rondelli

División Energía Solar, Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales

Av. Mitre 3100, 1663, San Miguel, Pcia. de Buenos Aires. Argentina.

1. Resumen

Se trata de un control SI NO que opera sobre una resistencia eléctrica calefactora, colocada en el interior de un tanque con capacidad para 100 litros de agua, utilizado como fuente a temperatura constante para un banco de pruebas de colectores solares.

El sistema de control opera sensando una señal correspondiente a una variación de temperatura de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ sobre un valor prefijado y disparando un triac que controla la resistencia calefactora.

Mediante una muy simple modificación, el sistema se puede convertir en control proporcional lo que lo hace muy versátil en diversas aplicaciones de investigación y desarrollo de equipos térmicos.

El relevador solar que se describe actúa sensando un valor de radiación prefijado y ajustable. Cuando la radiación supera este valor actúa un relevador de estado sólido que permite, por ejemplo, el encendido de un ventilador.

Al decaer la radiación por debajo del valor fijado, se pone en marcha un temporizador que desconecta la carga al cabo de un tiempo prefijado.

El relevador se diseñó para la acción de un ventilador del colector de aire de un secadero solar de frutas y hortalizas.

2. Control de temperatura para tanques termostatzados

El departamento de Energía No Convencional de la CNIE cuenta con una división de Energía Solar, entre cuyas actividades figura la construcción y uso de un banco de prueba de colectores solares.

Un requisito de ese banco es el hacer circular agua por los colectores a diferentes temperaturas estables a fin de evaluar el rendimiento térmico de ellos.

El circuito de circulación de agua, esquemático y real, se muestra en la figura 1.

La temperatura de la fuente, prefijada, debe mantenerse con un error de $\pm 0,25$ grado Celsius, para lo cual se desarrolla un control electrónico que acciona una resistencia eléctrica calefactora de 2 kW.

El sistema tiene que ser capaz de operar entre la temperatura ambiente y 90°C con caudales de extracción de 100 l/h.

El agua de reenvío se enfría 5°C por debajo de la temperatura nominal de entrega.

a. Consideraciones Termodinámicas.

El problema termodinámico consiste en un aporte de calor por medio de la resistencia eléctrica que se opone a la pérdida de energía producida por el

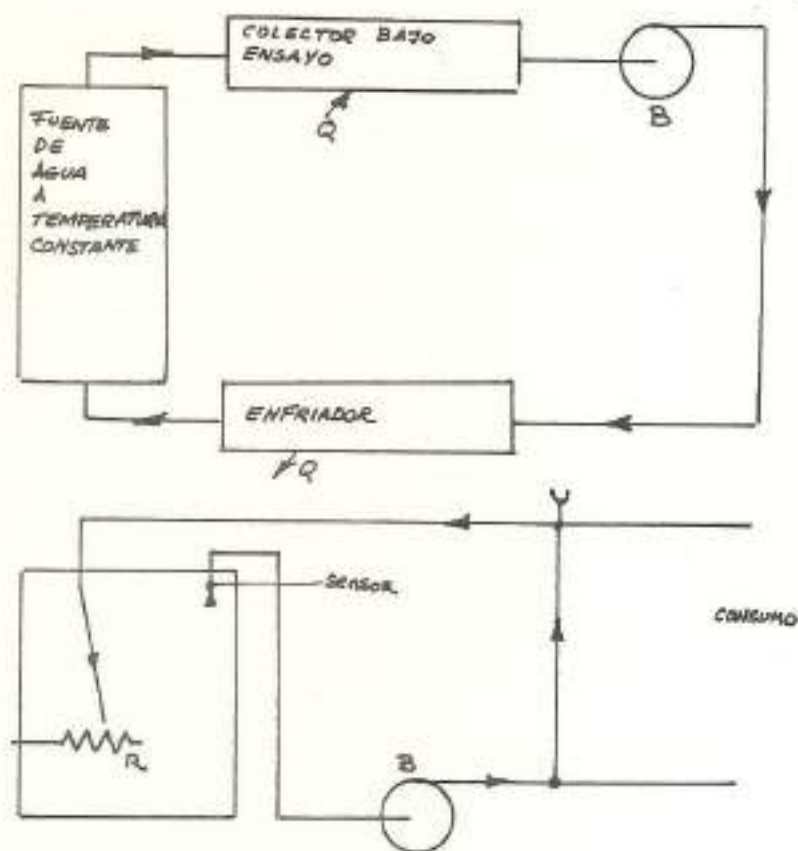


Fig. 1.- Circuito de circulación de agua en el banco de prueba.

flujo de calor a través de las paredes del tanque y de su aislante, y la pérdida de calor por la extracción de un caudal determinado de agua que reingresa a una temperatura inferior a la nominal.

Se representa el problema en la figura 2.

La ecuación que describe el comportamiento del sistema, establece que la variación de energía respecto del tiempo se representa como variación de temperatura de egreso respecto del tiempo.

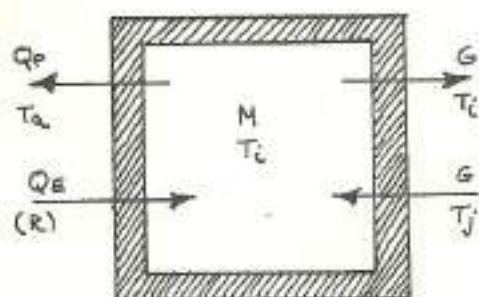
Este término será igual a las pérdidas por caudal extractivo más las pérdidas por aislación menos la potencia resistiva.

$$- M c \frac{dT_i}{dt} = (T_i - T_j) cG + (T_i - T_a) kA - P \quad (\text{EC. 1})$$

- M : masa a calefaccionar
- c : calor específico del agua
- T_i: temperatura de egreso del agua
- T_j: temperatura de reingreso

- G : caudal de extracción
- k : coeficiente de conductividad térmica del conjunto pared-aislante
- e : espesor del aislante
- A : área de transferencia de calor al ambiente
- P : Potencia resistiva.

Como lo que se busca es mantener la temperatura prefijada dentro de un límite de $+ 0,25^{\circ}\text{C}$, se establece la necesidad de tener una agitación casi ideal, teniendo en cuenta la masa de agua a termostatar frente a la masa del calefactor.



- M: Masa a termostatar
- Ta: Temperatura ambiente
- Tj: Temperatura de reingreso del agua
- Ti: Temperatura de egreso del agua. Es la temperatura de la masa M. VALOR DE LA MAGNITUD CONTROLADA.
- G : Caudal de extracción (o de reingreso)
- Qp: Energía perdida por las paredes.
- Qe: Energía ingresada por la resistencia

Fig. 2.- Balances de masa y energía del baño termostaticado.

El problema se resuelve con la instalación de una bomba de alto caudal que, en ausencia de consumo, recicla constantemente el agua del tanque y, en caso de consumo, recicla gran parte del caudal de extracción por medio de una válvula "by pass".

La bomba utilizada permite la circulación de 24 m^3 de agua por hora.

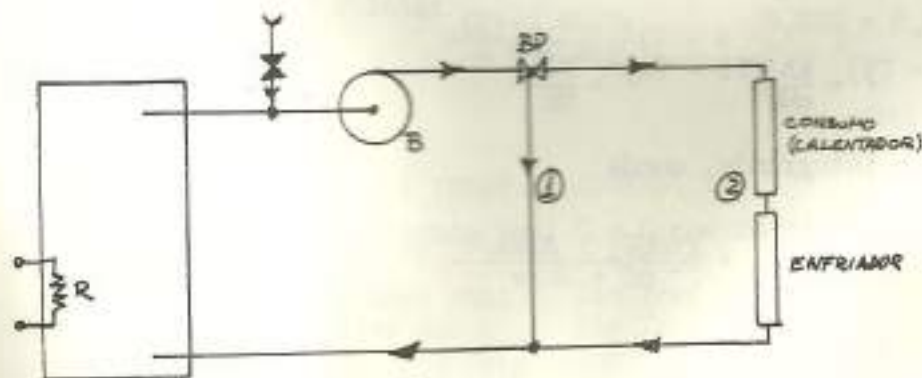


Fig. 3.- Esquema de instalación del tanque termostaticado.

En la figura 3 se muestra el esquema descrito. El agua circula sólo por el camino 1 para agitación sin consumo y por 1 y 2 con consumo.

Para mantener la banda de error deberá considerarse como temperatura superior la establecida como temperatura nominal del agua y como temperatura inferior a la temperatura nominal menos $0,20^{\circ}\text{C}$ (recuérdese que se especificaba un error de $+0,25^{\circ}\text{C}$). Con esto se gana $0,05^{\circ}\text{C}$ sobre la especificación del límite inferior y se deja sin controlar la porción superior ($T_{\text{ref}} + 0,25$) ya que el corte de potencia se produce justo en T_{ref} . Para evitar error por sobrecalentamiento se cuenta con la aislación del tanque (fibra de vidrio de una pulgada de espesor) de manera tal que permita un escape controlado de calor al medio ambiente, evitando así que la temperatura nominal sobrepase la especificada a raíz, por ejemplo, de inercia térmica de la masa metálica de la resistencia.

La ecuación 1 se dimensiona entonces:

- M : 100 kg
- c : 1 kcal/kg $^{\circ}\text{C}$
- G : (kg/h) es variable según las condiciones de operación.
- k : $0,04 \text{ kcal m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C h}$
- A : $1,4 \text{ m}^2$
- e : $0,03 \text{ m}$
- P : $2 \text{ kW} \times 860 \text{ kcal/h kW} = 1720 \text{ kcal/h}$

b. Modelo matemático de comportamiento.

Como la banda de control es excesivamente estrecha, antes de implementar el circuito electrónico de control se desarrolló un modelo matemático del sistema a fin de graficar el comportamiento en todas las condiciones, para determinar si el control SI NO es el adecuado (si no produce tableteo o no sobrepasa los límites).

Si partimos de la expresión que relaciona la variación de energía de la masa de agua en función del tiempo con el balance calórico.

$$- M c \frac{dT_i}{dt} = G c (T_i - T_j) + \frac{kA}{e} (T_i - T_a) - P \quad (\text{EC. 2})$$

$$- \frac{dT_i}{dt} = \frac{G}{M} (T_i - T_j) + \frac{kA}{eMc} (T_i - T_a) - \frac{P}{Mc} \quad (\text{EC. 3})$$

que reordenando e integrando, queda:

$$T_{i+\Delta t} = T_i \cdot e^{-(G/M + kA/ecM)\Delta t} + \frac{P+cG T_j + ATak/e}{cG + Ak/e} (1 - e^{-(G/M + kA/ecM)\Delta t})$$

Siendo $T_j = T_i - 5^{\circ}\text{C}$

La Ec. 4 describe la evolución de la temperatura interna del tanque (T_i) en función del intervalo de tiempo elegido (Δt).

Así se tiene, reemplazando los valores, una forma numérica con variables condicionantes que representan las diversas condiciones de operación.

El intervalo de tiempo elegido es el que tarda en calentarse y enfriarse (cediendo su calor al agua), la masa metálica de la resistencia. Este tiempo es de 15 segundos.

La forma numérica de la Ec. 4 es:

$$T_{i+1} = T_i e^{-(0,01G + 0,0186)\Delta t} + \frac{1720 + GT_j + 1,862 Ta}{1,862 + G} (1 - e^{-(0,01G+0,0186)\Delta t}) \quad (\text{EC. 5})$$

Se distinguen tres etapas de utilización:

1°) Calentamiento primario (llevar T_i a T_{ref}).

En este caso las condiciones son: $G = 0$

$$P = 1720$$

las condiciones iniciales son: $t = 0$

$$T_j = T_a = T_i$$

las condiciones finales son: $t = t$

$$T_i = T_{ref}$$

la ecuación a utilizar es:

$$T_{i+1} = T_i e^{-0,0186\Delta t} + \frac{1720 + 1,862Ta}{1,862} (1 - e^{-0,0186\Delta t}) \quad (\text{EC. 6})$$

2°) Enfriamiento dentro del rango de control

En este caso las condiciones son: $G = G$ nominal de extracción

$$P = 0$$

las condiciones iniciales son: $T_i = T_{ref}$

las condiciones finales son: $T_i = T_{ref} - 0,20$

la variación de T_i será: $T_{ref} - 0,20 \leq T_i \leq T_{ref}$

la ecuación a utilizar es:

$$T_{i+1} = T_i e^{-(0,01G+0,0186)\Delta t} + \frac{GT_j+1,862Ta}{G+1,862} (1 - e^{-(0,01G+0,0186)\Delta t}) \quad (\text{EC. 7})$$

3°) Calentamiento dentro del rango de control

En este caso las condiciones son: $G = G$ nominal de extracción

$$P = 1720$$

Las condiciones iniciales son: $T_i = T_{ref} - 0,20$

las condiciones finales son: $T_i = T_{ref}$

la ecuación a utilizar es: (EC. 8)

$$T_{i+1} = T_i e^{-(0,01G+0,0186)\Delta t} + \frac{1720+GT_j+1,862Ta}{G+1,862} (1 - e^{-(0,01G+0,0186)\Delta t})$$

Condiciones externas de operación

Se puede diseñar un esquema de operación basado en las condiciones externas que dependa de:

- a) temperatura ambiente (T_a)
- b) Para cada temperatura ambiente, cinco valores de extracción (G_i)
- c) Para cada caudal de extracción, tres valores de temperatura de referencia (T_{ref}).

Con esto se obtendrán 45 gráficos, detallados en la figura 4.

Utilizando un graficador se obtienen dichos gráficos y en ellos la información necesaria respecto a: 1) tiempo para llevar el sistema a régimen de operación.

- 2) caudal máximo que se puede extraer para cada condición $T_a \cdot T_{ref}$
- 3) relación de tiempo encendido/apagado de la resistencia en cada condición $T_a \cdot T_{ref}$.

Obviamente, las condiciones más severas serán aquellas dadas por:

$T_a = 0^\circ\text{C}$

$T_{ref} = 90^\circ\text{C}$

con altos caudales de extracción.

En los gráficos I, II y III se ensayan caudales de extracción de

- I) 100 l/h. Donde el comportamiento del sistema es casi ideal: igual tiempo de encendido que de apagado y sin error en los puntos límites de la banda de control.
- II) 200 l/h. Donde la relación encendido/apagado es de 2/1 y se ven pequeños errores de borde en la banda de control
- III) 250 l/h. Límite de extracción, con una relación encendido/apagado de 4/1 y errores de borde más notables.

Un caudal superior a 250 l/h es ingraficable por limitaciones del modelo utilizado, ya que el rango de control a graficar se ampliaría más allá de los $0,20^\circ\text{C}$ lo que cae fuera de lo especificado.

Por lo tanto se establece como caudal máximo de extracción el de 250 l/h.

Es lógico suponer que el período de calentamiento inicial más largo será aquel que, partiendo de $T_a = 0^\circ\text{C}$ se llega a una temperatura de referencia de 90°C .

Dicho tiempo se determina aproximadamente por la pendiente de la curva.

En el caso mencionado ($T_a = 0^\circ\text{C}$, $T_{ref} = 90^\circ\text{C}$) el tiempo de entrada en régimen será de 375 minutos (6 h 15 min), aunque éste valor, si bien indica una condición extrema, no es práctico ya que es muy difícil que el agua del tanque esté inicialmente a cero grado, o sea que puede simplificarse pensando que el salto térmico será de 72°C (temperatura del agua 18°C). En este caso el tiempo será de 300 minutos (5 h).

La relación de tiempo encendido/apagado para las peores condiciones son:

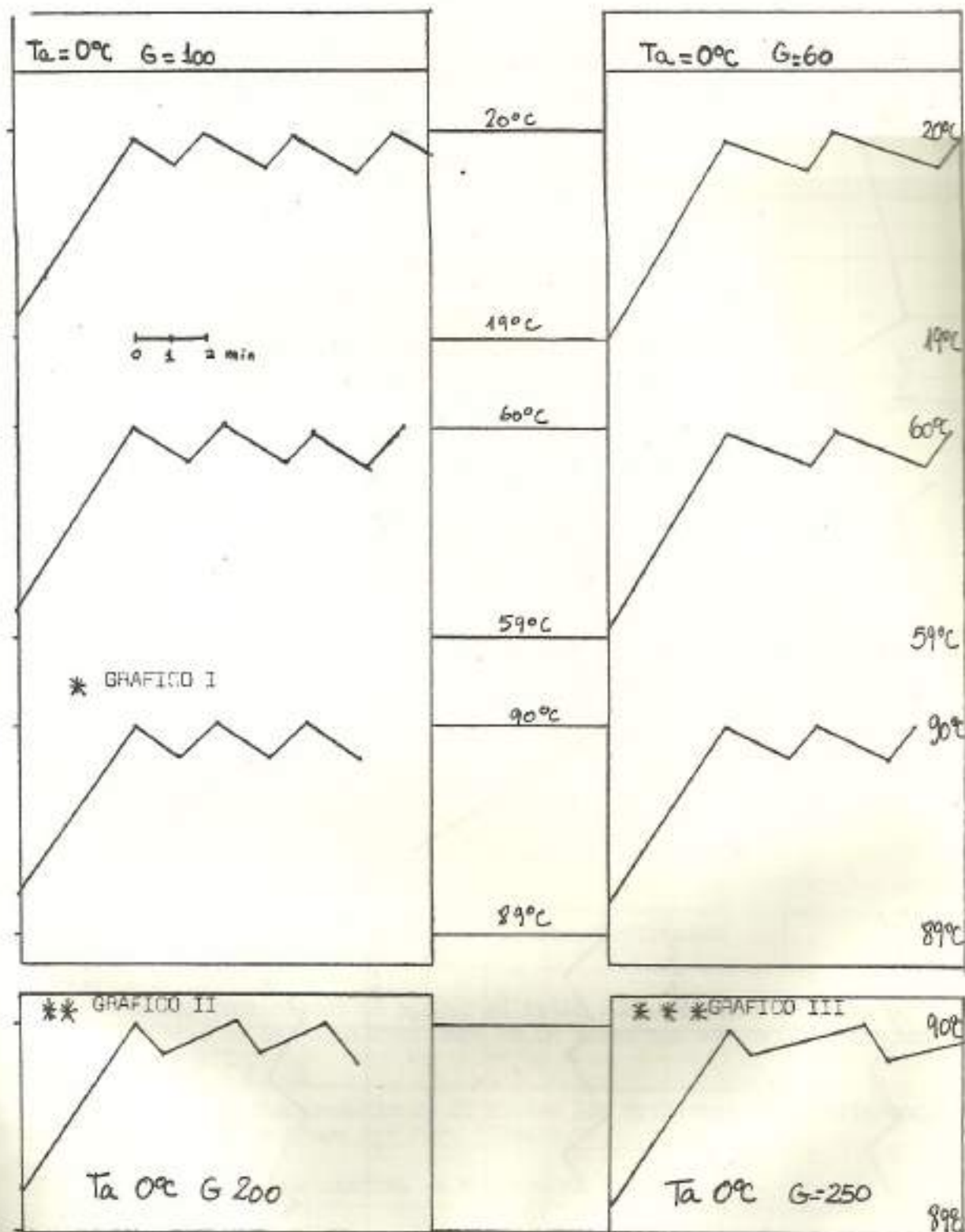
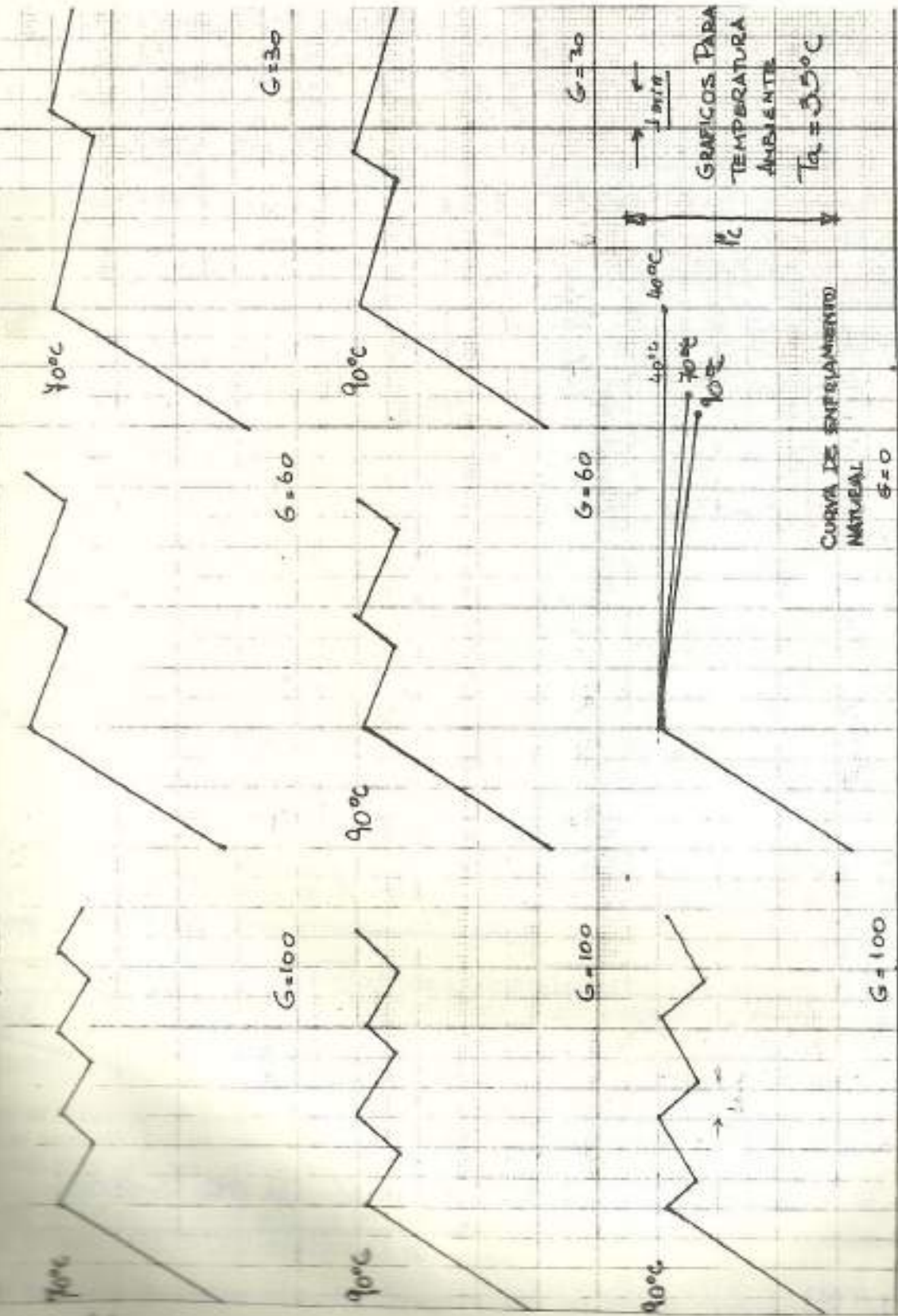


Fig 4 (a)

11
 10
 9
 8



CAUDAL 100 l/h
Tref 90°C
Ta 0°C
tiempo encendido/apagado: 1/1,33 (minuto/minuto)

CAUDAL 200 l/h
Tref 90°C
Ta 0°C
tiempo encendido/apagado: 2/0,9 (min/min)

CAUDAL 250 l/h
Tref 90°C
Ta 0°C
tiempo encendido/apagado : 3/0,33 (min/min)

Se toma un valor medio para ser utilizado como referencia de uso del control
CAUDAL 200 l/h
Tref 60°C
Ta 18°C
tiempo encendido/apagado: 1/1,33 (min/min)

c. Circuito electrónico y principio de operación.

Según se ha dicho, la potencia calefactora se aplica al agua por medio de una resistencia eléctrica de 2 kW, que es operada en forma ON OFF.

Esto se logra con un "triac" conectado como se muestra en la figura 5.



Fig. 5 - Conexión del sistema electrónico de control.

La función del controlador es operar el triac adecuadamente de forma de mantener la temperatura del agua constante en un valor que se prefija, con una tolerancia de 0,2°C.

Para impulsar el triac reduciendo al mínimo los problemas de interferencia se utiliza una llave de cruce por cero (72440).

El circuito completo de control se muestra en la figura 6.

La temperatura se detecta por medio de una resistencia de platino que forma parte de un puente constituido por resistencias de alta estabilidad que permiten obtener una buena exactitud a largo plazo. La resistencia de Pt asegura una gran precisión en la medición sobre el rango de temperatura de utilización del equipo, así como también buena linealidad y deriva despreciable con

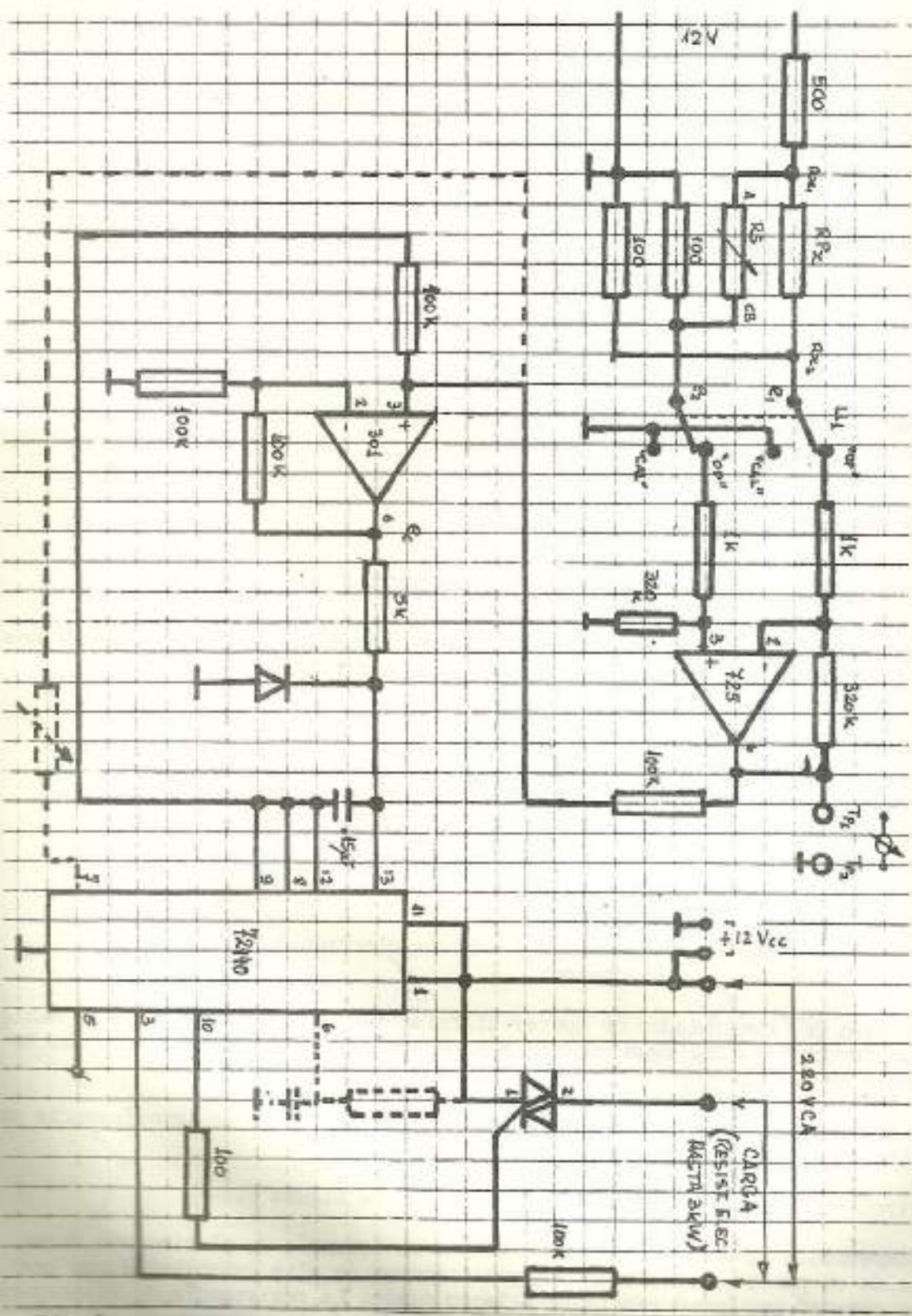


Fig. 6

el tiempo. La temperatura deseada se ajusta con un potenciómetro de 10 vueltas con una resistencia $R_s = 200 \text{ Ohms}$.

A los efectos de buena precisión en el control, el puente se alimenta con una tensión estabilizada de 12 V.

La regulación deseada exige un diseño cuidadoso del circuito. Nótese que siendo el coeficiente de la resistencia de Pt de $0,38 \text{ Ohm}/^\circ\text{C}$, a una variación de $0,2^\circ\text{C}$ en la temperatura corresponderá una variación de $0,076 \text{ Ohm}$ en la resistencia.

El análisis del circuito puente muestra que la variación de la tensión de salida del mismo con respecto a la variación de la resistencia sensora (suponiendo carga despreciable) es una función lineal de la temperatura, como se ve en la figura 7.

Esto significa que para una variación dada de la resistencia de Pt, la tensión de salida del puente dependerá de la temperatura a la que aquella se encuentre originalmente y será mayor en valor absoluto a temperaturas menores.

Por ejemplo, si el puente está estabilizado a 70°C , su tensión de salida es 0V . Si se produce una variación de temperatura de 1°C , la variación en la resistencia de platino será $0,38 \text{ Ohm}$ y la variación de salida del puente será

$$\Delta V_o = e_1 - e_2 = -4,3 \times 0,38 \times 10^{-3} = -1,63 \text{ mV} \quad (\text{EC. 9})$$

mientras que si la temperatura inicial fuera de 20°C , a la misma variación de resistencia correspondería

$$\Delta V_o = -4,8 \times 0,38 \times 10^{-3} = -1,82 \text{ mV} \quad (\text{EC. 10})$$

La diferencia no es grande, pero conviene tener esto presente al diseñar el resto del circuito.

Para variaciones de temperatura de $0,2^\circ\text{C}$ (que son las que deben detectarse como mínimas, para actuar el triac) las tensiones mencionadas como ejemplo más arriba se transforman en

$$\begin{aligned} \Delta V_o &= -0,326 \text{ mV} = -326 \mu\text{V} \quad (\text{a } 70^\circ\text{C}) \\ \Delta V_o &= -0,364 \text{ mV} = -364 \mu\text{V} \quad (\text{a } 20^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

Estas tensiones son insuficientes para impulsar la entrada diferencial del integrado 72440 que controla el triac. Es por lo tanto necesario proveer la adecuada amplificación.

La llave de cruce por cero tiene especificada una entrada de tensión de histéresis de 30 mV . En consecuencia es necesaria una ganancia del orden de 100 para alcanzar este valor de tensión.

Por otra parte, el amplificador a utilizar debe tener un corrimiento (deriva) térmico inferior a los valores apuntados, de salida del puente, en todo el rango de temperatura ambiente de utilización. Se elige con éste objeto un RC 725 que presenta un $\Delta V_{\text{offset}}/\Delta T = 2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ típico.

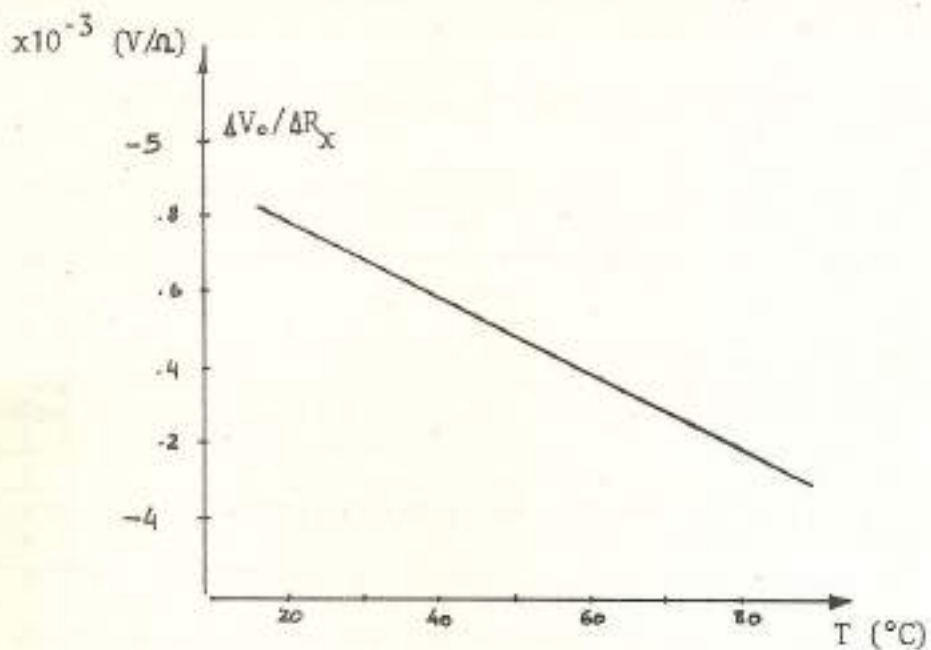


Fig. 7.- Variación de la tensión de salida del puente en función de la variación de la resistencia sensora.

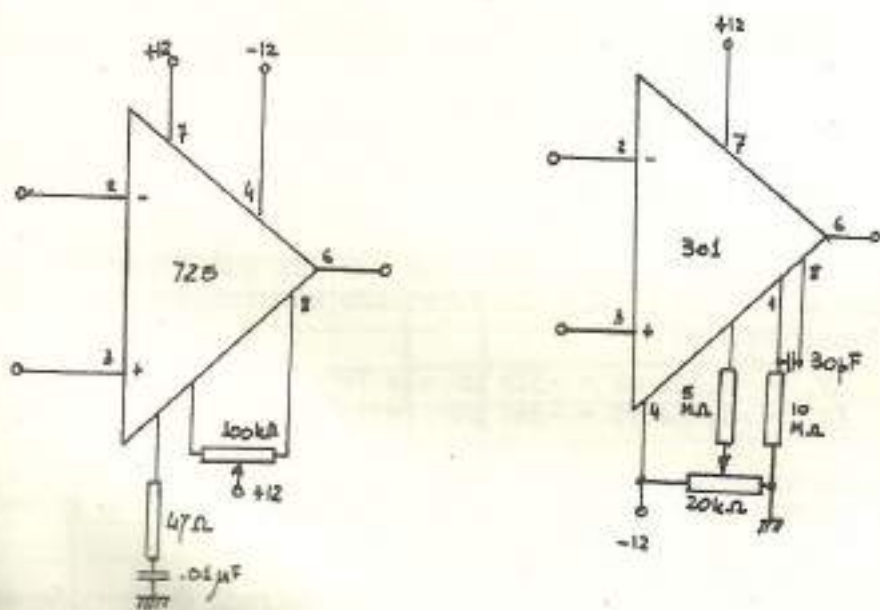


Fig. 8.- Corrección de offset y compensación de los amplificadores.

El amplificador operacional se conecta como amplificador diferencial y su ganancia será

$$A_v = e_o / (e_2 - e_1) \quad (\text{EC. 11})$$

Si se produce una disminución en el valor de la resistencia sensora como consecuencia de una disminución de temperatura, se tendrá que

$$\Delta V_o = e_1 - e_2 > 0 \quad (\text{EC. 12})$$

o sea $e_2 - e_1 < 0$

en consecuencia $e_o < 0$

Con esta tensión e_o debe impulsarse el 72440. Este integrado posee una entrada diferencial (terminales 12 y 13) y opera disparando el triac por el terminal 10 cuando la tensión en el terminal 13 es aproximadamente 30 mV inferior a la del terminal 12.

Al terminal "de referencia" (12) se conecta una tensión de 6 V obtenida del mismo integrado. Al terminal "entrada de sensor" (13) debe conectarse la tensión provista por el puente (convenientemente amplificada) además de un nivel de polarización fijo igual al terminal de referencia. De esta forma el amplificador diferencial interno del 72440 actuará en función de la tensión suministrada por el puente, $e_2 - e_1$.

Esto se ha implementado con un sumador no inversor constituido por un amplificador operacional AD301 y las adecuadas resistencias para obtener ganancia igual a uno. Así, la tensión de salida del AD301, denominada e_c será igual a

$$e_c = 6 + e_o \quad (\text{V}) \quad (\text{EC. 13})$$

La entrada "de referencia" del 72440 se dijo es de 6 V. En consecuencia la tensión diferencial de entrada será e_o (la tensión de referencia y la de polarización fija se han tomado del mismo punto, de manera que son iguales en todo momento).

Entonces, cuando la temperatura del sistema controlado desciende por debajo de la temperatura de referencia fijada por el potenciómetro R_s , aumenta la tensión e_1 , por lo que $e_2 - e_1 < 0$ y $e_o < 0$. Esto hace que el 72440 dispare el triac por medio de pulsos de corriente de unos 100 mA de amplitud y 200 μ s de duración, lo que conecta la tensión alterna a la resistencia calefactora.

Inversamente, si la temperatura del sistema aumenta por sobre la de referencia, $e_o > 0$ y el 72440 actúa inhibiendo los pulsos de disparo lo que permite el descenso de temperatura del sistema controlado hasta ubicarse dentro de la tolerancia deseada.

Consideraciones prácticas.

Para salvar la disminución de ganancia en el amplificador diferencial debida al desapareamiento en las resistencias, así como para asegurar la precisión

se ha dotado de mayor ganancia al amplificador diferencial implementado con un RC725. El valor elegido es de 300, aproximadamente.

A fin de simplificar el dibujo no se ha representado en la figura 6 los circuitos de corrección de offset. Ellos se muestran en la figura 8.

Las fuentes de alimentación para el circuito (+12 y -12 V) se han construido con reguladores integrados y el circuito se muestra en la figura 9.

Para no afectar la precisión de la detección de la temperatura del sistema controlado, se utilizan tres cables iguales para la conexión de la termoresistencia. Esto agrega resistencias iguales en ramas adyacentes del puente lo que elimina errores ocasionados por la resistencia de los cables. El esquema se muestra en la figura 10.

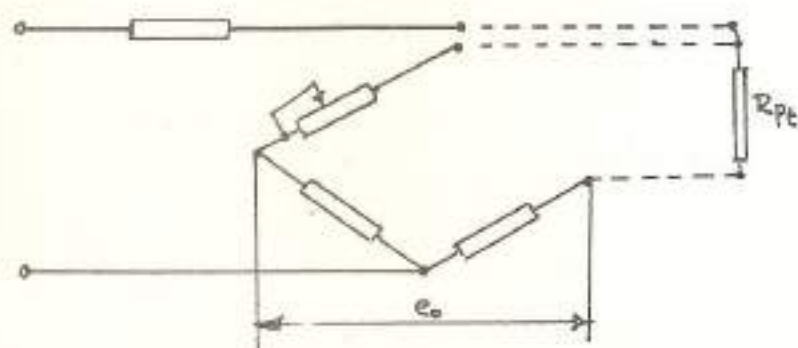


Fig. 10.- Esquema de conexión del puente y la resistencia sensora.

Ajuste a una temperatura determinada.

Para que el sistema regule a una temperatura dada, ésta debe preposicionarse con el potenciómetro R_s . Este potenciómetro es de 10 vueltas, y siendo su valor máximo de 200 Ohm, se tiene que cada vuelta corresponde a una variación de 20 Ohm. A fin de permitir la visualización de la posición del cursor, se colocó al eje un dial digital cuya lectura divide a la resistencia del potenciómetro de precisión en 1.000 partes. Se optó por esta solución para evitar complicar el sistema con un display o instrumento y sus componentes adicionales.

Como a una vuelta del potenciómetro corresponden 20 Ohm de variación de resistencia y el dial divide la vuelta en 100 "cuentas" o "partes", es evidente que a una "cuenta" del dial le corresponden $20 \text{ Ohm}/100 \text{ cuentas} = 0,2 \text{ Ohm/cuenta}$. En consecuencia, ajustando mecánicamente el dial al eje del potenciómetro, se puede preposicionar éste con una resolución de 0,2 Ohm.

Puede construirse una tabla de correspondencias entre los valores del dial y la resistencia presentada por el potenciómetro al punto de medición. Si a 0 Ohm se ajusta el 000 del dial, es obvio que a 100 Ohm corresponderá el valor

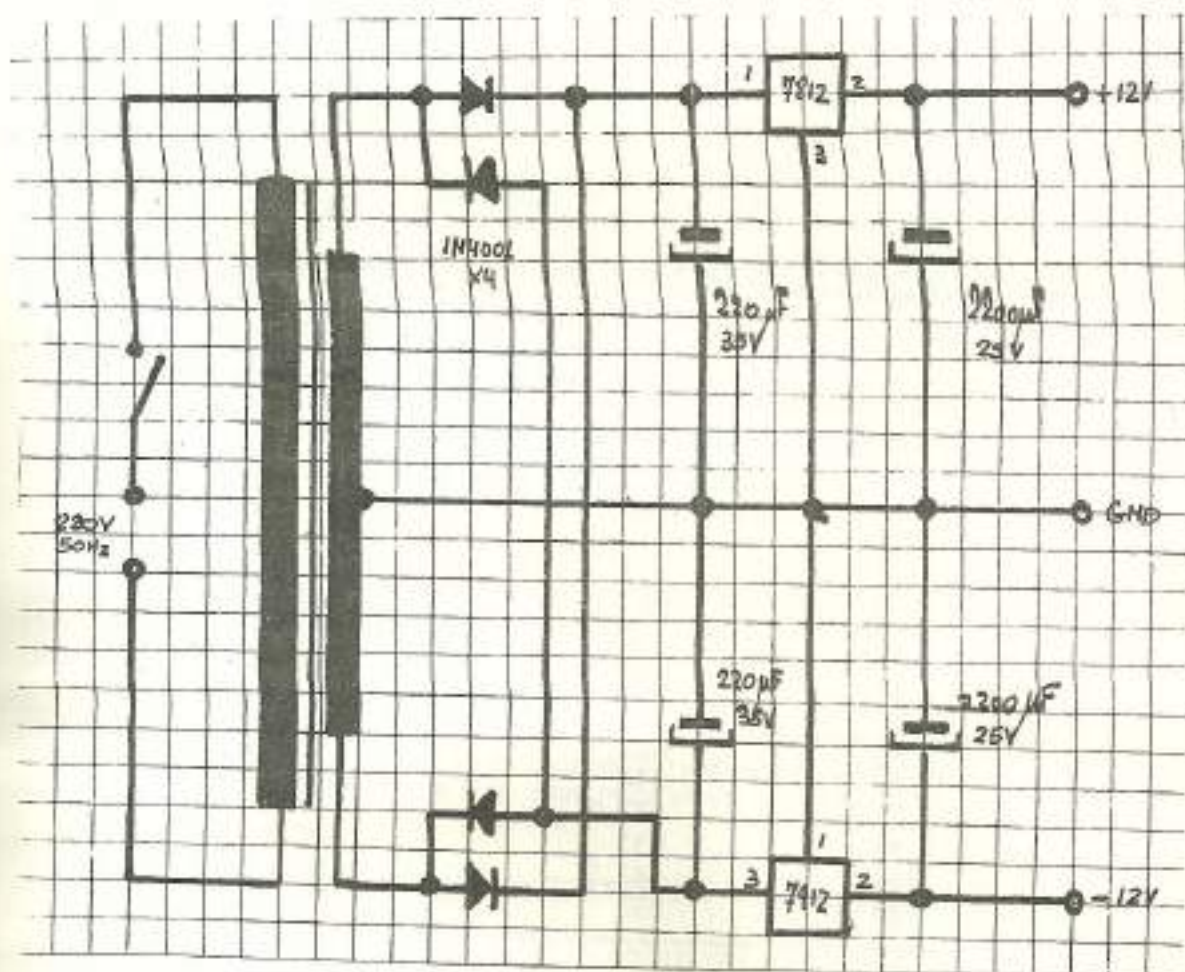


Fig. 9.

500 y, en general, a un valor de dial N corresponderá una resistencia R, tal que $R = 0,2N$

Igualmente, a un valor R de resistencia corresponderá una lectura de $N = 5R$

Para transformar las lecturas del dial a valores de temperatura, puede observarse que para que el puente esté en equilibrio, $R_s = R_{pt}$, sabiendo que

$$R_{pt} = 100 + 0,38 T \quad \begin{matrix} (\text{Ohm}) \\ (T) : ^\circ\text{C} \\ T = 0^\circ\text{C} \end{matrix} \quad (\text{EC. 14})$$

En base a esto se ha construído la tabla que sigue. Otras correspondencias pueden obtenerse teniendo en cuenta lo expresado anteriormente.

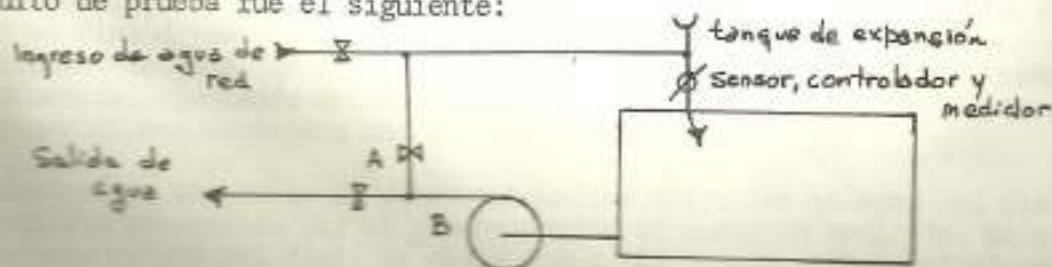
TABLA DE EQUIVALENCIAS RESISTENCIA-TEMPERATURA

Tref °C	Lectura de Dial	R _s Ohms
20	538	107,6
25	547,5	109,5
30	557	111,4
35	566,5	113,3
40	576	115,2
45	585,5	117,1
50	595	119,0
55	604,5	120,9
60	614	122,8
65	623,5	124,7
70	633	126,6
75	642,5	128,5
80	652	130,4

NOTA: El inconveniente de preposicionar fracciones de cuenta no es importante en la presente aplicación, ya que no importa tanto el valor de la temperatura ajustada como la precisión del control.

d. Experimentación.

El circuito de prueba fue el siguiente:



Donde el tanque expansor fue colocado a fin de evitar presencia de aire en el circuito. Las dos válvulas A cumplen la función de una by-pass.

El caudal de extracción se simuló desechando agua termostatzada y reemplazándola por agua de red a una temperatura de 18°C.

La medición de temperatura fue realizada con un termómetro electrónico, con escala expandida, sensor a termoresistencia, graduado de 0,2 en 0,2°C con rangos de 10°C a fondo de escala.

El sensor del controlador se colocó en el mismo sitio que la termoresistencia en el punto de salida del agua del tanque.

Las medidas efectuadas permitieron establecer el rango de control dentro de los valores especificados.

e. Conclusiones

El controlador propuesto es apto para el rango especificado, y resulta de un costo moderado, ya que no posee elementos sofisticados. La estabilidad en temperatura es buena.

En el momento de construir el prototipo definitivo se agregó en el diseño de la plaqueta impresa un ramal de conexiones que, en caso de ser conectadas convierten al control de SI NO a PROPORCIONAL por si este tipo de acción es requerida.

Finalmente, el prototipo fue instalado, y se halla en funcionamiento en el control de un tanque que, provisoriamente, alimenta tres colectores en paralelo. Están en construcción los controladores individuales para cada tanque.

2. RELEVADOR ACCIONADO POR RADIACION SOLAR

En aplicaciones del Grupo de Energía Solar del Departamento, se hace necesario accionar dispositivos de potencia por medio de señales provenientes de la detección de determinados estados de radiación solar.

Tal es el caso del encendido de ventiladores de circulación en colectores de aire que alimentan un secadero de frutas, cuando se está por encima de una cierta cantidad de flujo de energía radiante y su apagado, si éste flujo se interrumpe, por ejemplo, por condiciones atmosféricas. Otras aplicaciones son accionamiento de válvulas by pass, de circuitos de protección, etc.

Este informe describe un relevador accionado por radiación solar que conecta o apaga un motor con una llave. Esta llave consiste en un triac que puede manejar cargas de 220 V y hasta 16 A rms.

Los requerimientos de control son: el relevador debe conectar la carga si la radiación solar ambiente es igual o mayor que un valor predeterminado. El rango de preselección de los valores de radiación incidente puede variarse cambiando algunos componentes. Primariamente se especificó como sensibilidad de respuesta el rango entre 20 y 50 mW/cm².

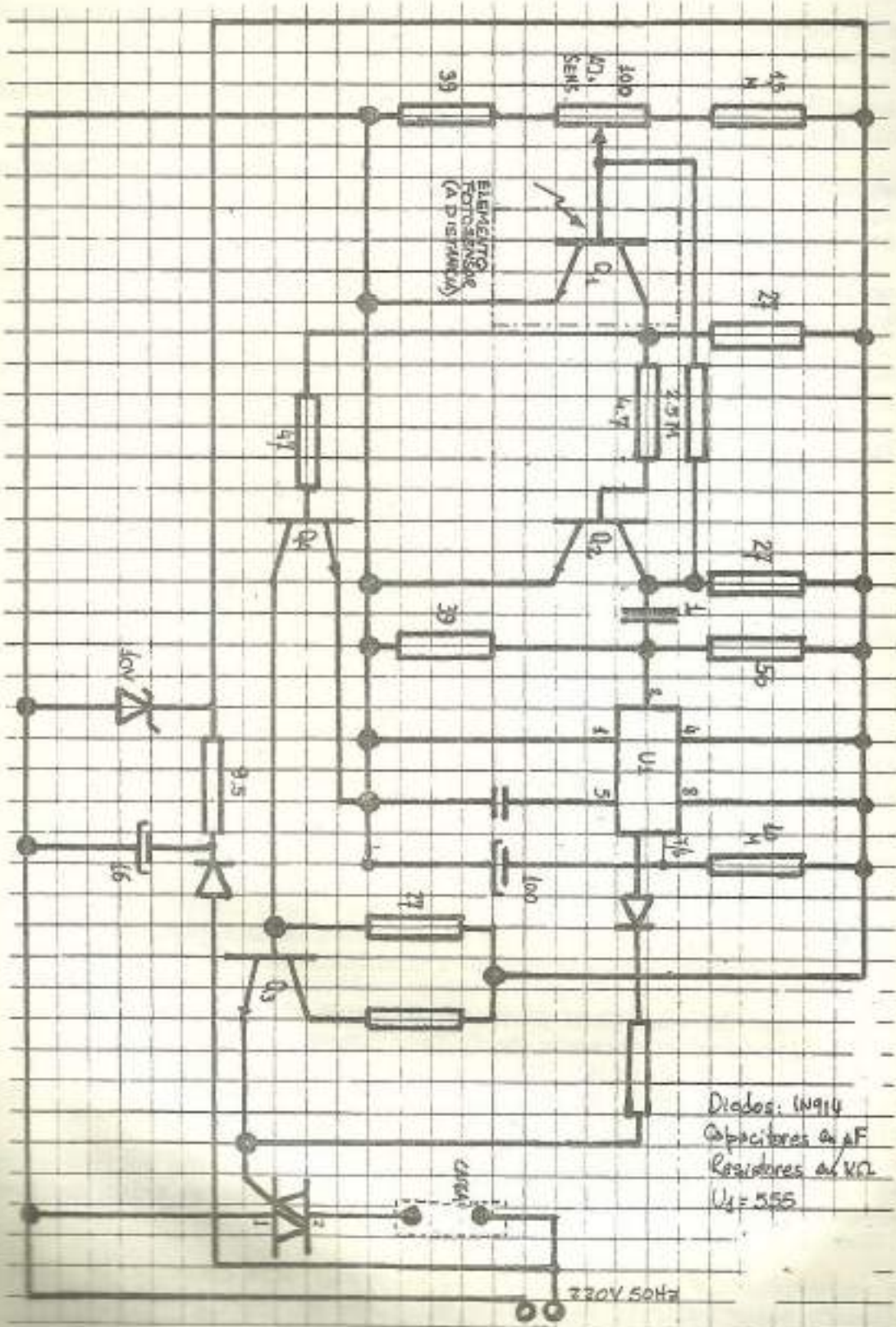


Fig. 11

Si éste valor desciende momentáneamente, (por ejemplo por efecto de nubes pasajeras u obstrucción momentánea del sensor) el relevador debe seguir accionado y sólo debe desconectar la carga si la disminución de radiación persiste durante un tiempo previamente seleccionado. Este tiempo también puede prefijarse con el cambio de componentes. En el equipo construido es de 20 minutos.

El circuito completo del controlador se muestra en la figura 11.

Como sensor de radiación se utiliza un fototransistor de silicio L14HZ (Q1) con encapsulado epoxi transparente, montado con sus terminales doblados 90°, de manera tal que su respuesta relativa en corriente en función del ángulo de incidencia es el mostrado en la figura 12.

El circuito de polarización está provisto de un potenciómetro que permite regular la respuesta del fototransistor a la intensidad de la radiación.

Principio de operación.

Si la radiación incidente tiene el nivel deseado (preajustado con el potenciómetro) Q1 conduce, tendiendo a disminuir la corriente I_{c2} de Q2. A su vez V_{ce2} tiende a aumentar y, por la realimentación a Q1 a través de 2,5 MOhm, hace conducir aún más a Q1, lo que provoca un adicional aumento de V_{ce2} , lo que aumenta I_{c1} , etc. En otras palabras, la realimentación positiva por 2,5 MOhm acelera la respuesta de Q1, que en presencia de la radiación para la cual se desea conectar la carga, pasa rápidamente a saturación. Esto hace que Q4 pase al corte, lo que provoca la conducción de Q3, que a su vez hace conducir al triac.

El resto del circuito cumple la función de temporización requerida. En presencia de la radiación para la cual Q1 satura, Q2 está al corte, por lo que el capacitor de 1 uF se carga a unos 6 V con la polaridad indicada.

Si se produce un descenso en la radiación incidente por debajo del valor umbral ajustado, Q1 se corta, provocando el paso a saturación de Q2 y Q4. Esto corta a Q3 y simultáneamente aplica un impulso a la entrada de disparo del temporizador 555, que se opera en forma monoestable.

El terminal de salida del 555 mantiene la corriente de disparo del triac durante un tiempo fijado por la resistencia de 4,7 MOhm y el capacitor de 220 micro faradios (aproximadamente 20 minutos). Pasado ese tiempo, y si no existe la radiación incidente suficiente, la carga se desconecta.

Con el objeto de simplificar el circuito, la tensión de alimentación se obtiene de un sencillo rectificador de media onda provisto de un diodo zener que fija el nivel de aquella en 10 V.

El sensor se coloca, por medio de un conector y cable en el lugar apropiado. El conector tiene un seguro que inhabilita el equipo si el sensor no está conectado. Por último, la caja tiene un sistema de tuerca-contratuerca asociado al potenciómetro con el que se prefija el valor de radiación seleccionado como umbral.

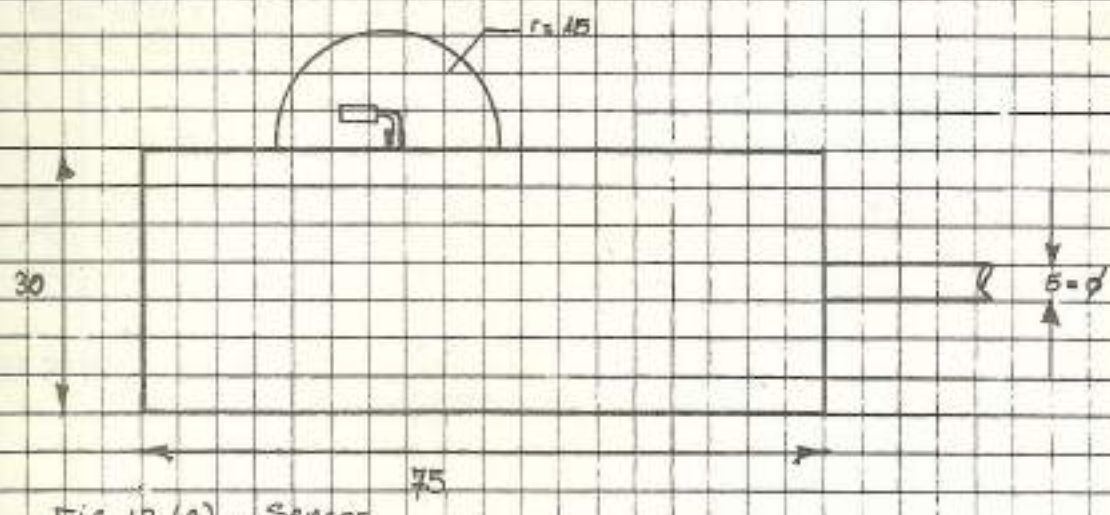


FIG. 12 (a) - Sensor

Gráfico de
Resposta
relativa a
la luz

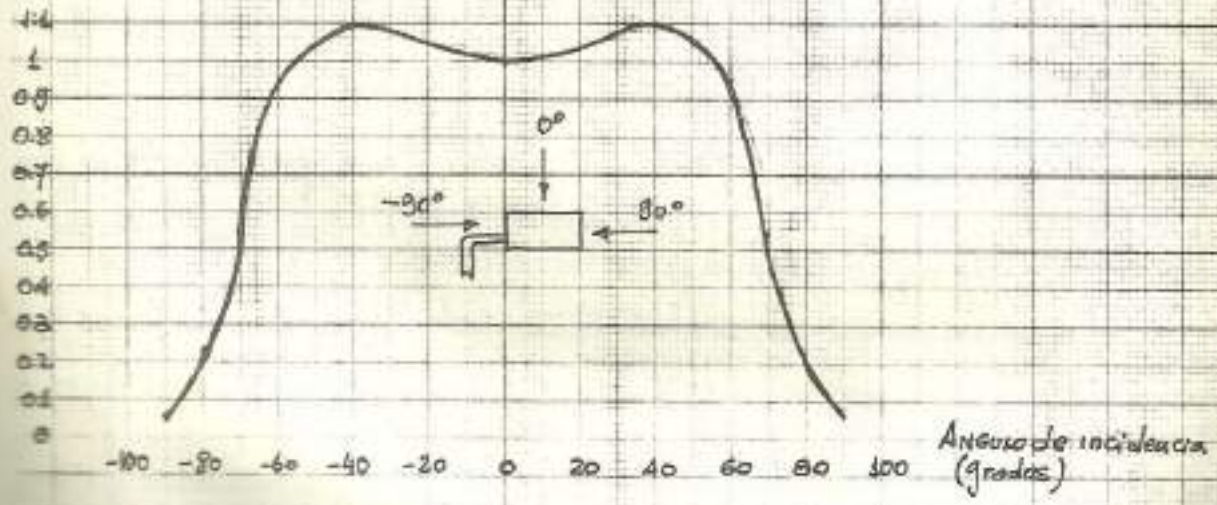


Fig 12 (b). Resposta do fotosensor