

# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA



---

**RASTREADOR SOLAR DE EFECTO  
PERISTALTICO INVERTIDO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A**

**JAIMÉ IGNACIO NIETO CATER**

*24  
108*



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# I N D I C E

Introducción .....	pag. 1
Nomenclatura.....	pag. 3
Concepto y Antecedentes.....	pag. 5
Experimentos y Factibilidad.....	pag. 8
Pruebas en el Prototipo.....	pag. 13
Simulación .....	pag. 16
Modelo Matemático .....	pag. 18
Consideraciones Mecánicas .....	pag. 27
Reconocimientos .....	pag. 32
Referencias .....	pag. 33
Bibliografía .....	pag. 33

## INTRODUCCION

Dentro de las diferentes formas en que se presenta la energía para el hombre se encuentra la energía solar, con características especiales que favorecen su utilización y cuyo aprovechamiento ha tomado relevancia en las sociedades modernas.

La energía emitida por el sol llega a la superficie terrestre con una densidad relativamente baja, del orden de  $1 \text{ Kw/m}^2$  como máximo, razón por la cual, en ocasiones, es necesario concentrarla mediante espejos en un foco o eje focal. Por lo general los espejos empleados para esta tarea son de forma parabólica y requieren de una orientación precisa con respecto al sol para concentrar efectivamente la energía que incide sobre su superficie. Para este fin se emplean dispositivos llamados rastreadores solares, que proporcionan el movimiento de seguimiento del sol y que por lo mismo deben ser precisos, confiables y autónomos.

En el presente trabajo se presenta un novedoso dispositivo rastreador para espejos concentradores de forma cilíndrica-parabólica, el cual utiliza energía solar para producir la fuerza motriz requerida para impulsar a dichos concentradores en su movimiento de seguimiento

del sol. Asimismo se presentan los experimentos preliminares llevados a cabo para comprobar la factibilidad de funcionamiento del dispositivo, así como un prototipo experimental y el modelo matemático del sistema.

Se incluyen también los resultados obtenidos a partir de dicho modelo y los obtenidos en los experimentos con el prototipo.

Finalmente se obtienen algunas conclusiones sobre el diseño y funcionamiento del dispositivo y se establecen las medidas correctivas adecuadas.

## NOMENCLATURA

- A = área de la aleta
- $A_d$  = área de absorción de radiación difusa
- $A_p$  = área proyectada de sensor y aleta
- $A_s$  = área del sensor
- $A_1$  = área de la aleta de calentamiento
- $A_2$  = área de la aleta de enfriamiento
- $C_v$  = calor específico a volumen constante
- $F_1$  = factor de forma para radiación difusa captada por el sensor y las aletas
- $F_2$  = factor de forma para energía emitida por la aleta de enfriamiento
- $F_3$  = factor de forma para energía emitida por la aleta de calentamiento
- H = distancia entre placa sombreadora y sensor
- h = entalpía específica
- $h_c$  = coeficiente de transferencia de calor por convección
- I = energía interna
- $I_D$  = radiación directa
- $I_d$  = radiación difusa
- k = conductividad del cobre
- l = longitud del sensor y aleta
- m = masa del fluido
- $P_1$  = perímetro de la sección transversal de la aleta de calentamiento
- $P_2$  = perímetro de la sección transversal de la aleta de enfriamiento
- p = presión absoluta
- Q = cantidad de calor absorbida por el fluido
- s = ancho de aleta y sensor
- $\dot{T}$  = derivada de la temperatura con respecto al tiempo
- T = temperatura absoluta

$T_a$  = temperatura ambiente absoluta  
 $T_c$  = temperatura absoluta del cielo  
 $t$  = tiempo  
 $v$  = volumen específico  
 $W$  = peso del fluido  
 $W_k$  = trabajo  
 $\alpha$  = absorptancia de la pintura negra mate  
 $\epsilon$  = emitancia de la pintura negra mate  
 $\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann

## CONCEPTO Y ANTECEDENTES

La idea fundamental de este rastreador fluido-mecánico es la de emplear un diferencial de presión para accionar un mecanismo de efecto peristáltico invertido que permite el movimiento de seguimiento del sol.

El concepto puede entenderse refiriéndose a la Fig.1. El captador consta de un espejo 1 en forma de cilindro parabólico, el tubo absorbedor 2 así como la base 3. El espejo está montado en chumaceras soportadas en la base. El eje de giro del espejo coincide con el eje del tubo absorbedor.

El rastreador consta de los sensores tubulares 4, los tubos conectores 5, la manguera 6, el arco soporte 7, y las láminas sombreadoras 8, todos los cuales están montados rígidamente al espejo y por lo tanto giran con él. Parte esencial del rastreador es la rodaja 9, cuyo eje está fijo a la base 3 del captador así como su tornillo de ajuste 10.

Los sensores contienen, hasta un cierto nivel, un líquido de bajo punto de ebullición.

Si el eje del perfil parabólico está alineado con los rayos solares ambos sensores están expuestos al sol,



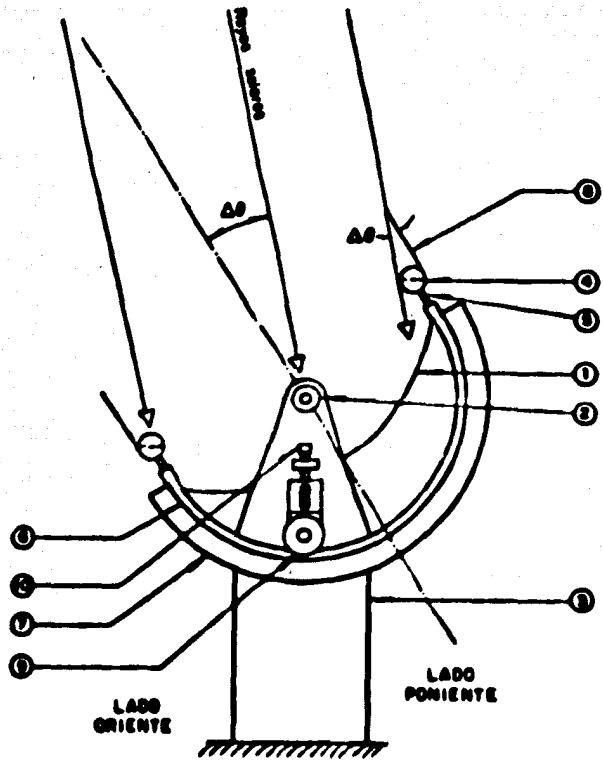


Fig. 1.-Rastreador solar de efecto peristáltico invertido

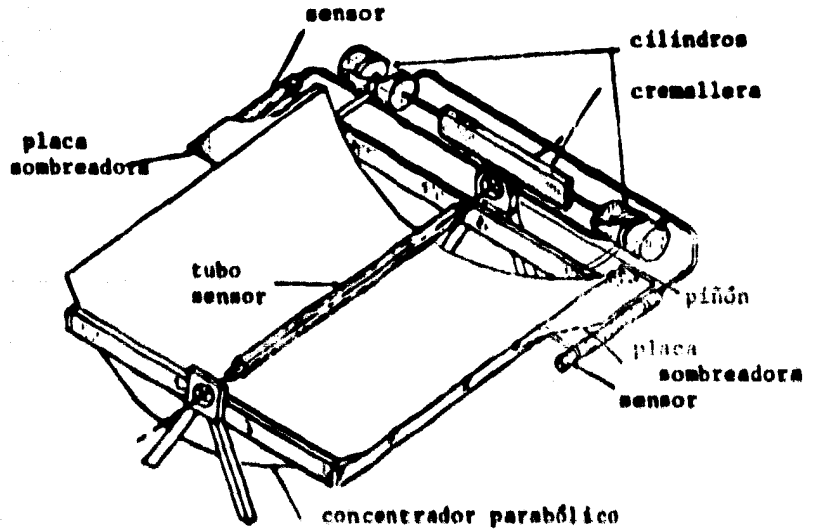


Fig. 2.-Rastreador solar de la Universidad de Florida

y por lo tanto, a temperatura y presión elevadas generando en la manguera fuerzas de la misma magnitud pero opuestas, actuando a uno y otro lado de la rodaja.

Consideramos ahora una desviación del eje del espejo respecto a la dirección de los rayos solares, concretamente un atraso, Fig. 1. La lámina sombreadora poniente produce una sombra sobre el sensor correspondiente bajando así su temperatura y produciendo una condensación del vapor, disminuyendo así su presión, reduciendo la fuerza de la manguera sobre la rodaja del mismo lado poniente, hasta un punto tal, que la diferencia de las fuerzas ocasiona un desplazamiento angular en la dirección de las manecillas del reloj, que prosigue hasta que ambos sensores vuelven a quedar expuestos, es decir, hasta que el captador vuelve a quedar orientado.

El dispositivo es una variante del que se desarrolla en la Universidad de Florida por Farber, Morrison e Ingle (Ref. 1.) Fig. 2, que utiliza freón 12 como fluido motor y en donde el movimiento se logra utilizando el diferencial de presión para accionar un mecanismo de pistón y cremallera. En este dispositivo se ha logrado disminuir la desviación máxima a 11° la cual consideran excesiva y que se debe principalmente a la fricción entre los pistones y los cilindros. Esta fue la razón que motivó la búsqueda del nuevo sistema motor que carece de dichos elementos.

## EXPERIMENTOS Y FACTIBILIDAD

Para determinar la factibilidad y normar criterios de diseño se llevaron a cabo los siguientes experimentos:

Experimento 1.- El arreglo se aprecia en la fotografía de la Fig. 3. Empujando el émbolo de la jeringa se impulsó a la barra de acero, la cual rodó sobre la manquera. A partir de los volúmenes de aire al principio y al final del proceso y utilizando las leyes de los gases perfectos se obtiene:

$$P_2 = P_1 = P_1 \left( \frac{V_1}{V_2} - 1 \right)$$

$$= 0.5 \text{ atmósferas}$$

$$F = A (P) = \frac{d^2}{4} (P) = 0.036 \text{ Kg.}$$

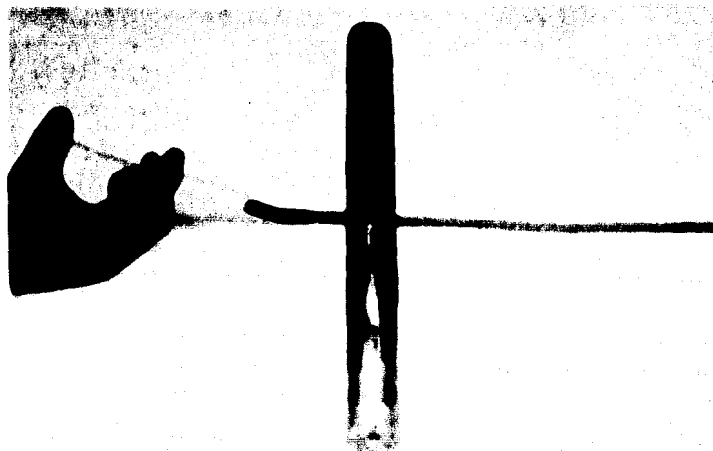


FIG. 3. Barra impulsada por el aire comprimido.

impulsado por el aire comprimido.

Experimento 2.- Posteriormente se fabricaron unos sensores de tubo de cobre los cuales se oxidaron mediante un proceso que incrementa la absorción a la vez que disminuye la emittancia (Ref. 2).

Los sensores se unieron mediante un tubo de látex Fig. 4, y se llenaron parcialmente con éter etílico. Se expuso el sensor oriente al sol a la vez que se mantenía a la sombra al sensor poniente, lográndose impulsar a la barra aproximadamente después de ocho minutos.

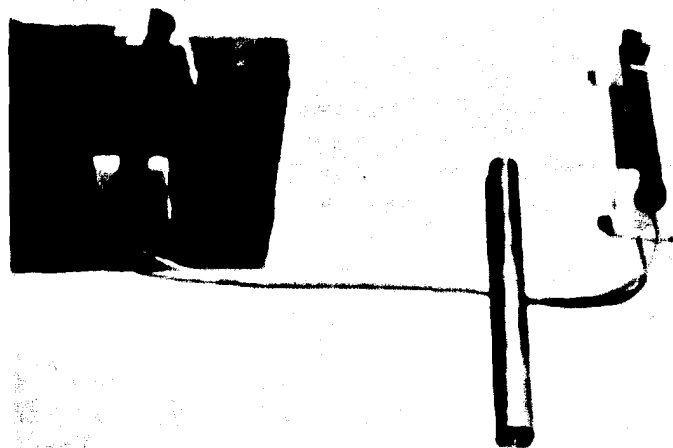


Fig. 4.- Experimento 2. Sensores con superficies selectivas, uno de ellos a la sombra.

Experimento 3.- Para mejorar el tiempo de respuesta se fabricaron sensores más largos y a uno de ellos se le metió dentro de un tubo de vidrio espartado median

te bridas de teflón formando una cámara cilíndrica anular en la cual se esperaba hacer vacío para disminuir las pérdidas por convección (Ref. 2). Sin embargo, se hizo la prueba sin vacío, Fig. 5.

La barra no se movió en esta ocasión debido a que no aplastó a la manguera, es decir, gracias al tubo de vidrio se logró aumentar la presión pero como la barra no tenía suficiente peso para obstruir el tubo no hubo fuerza que la impulsara.

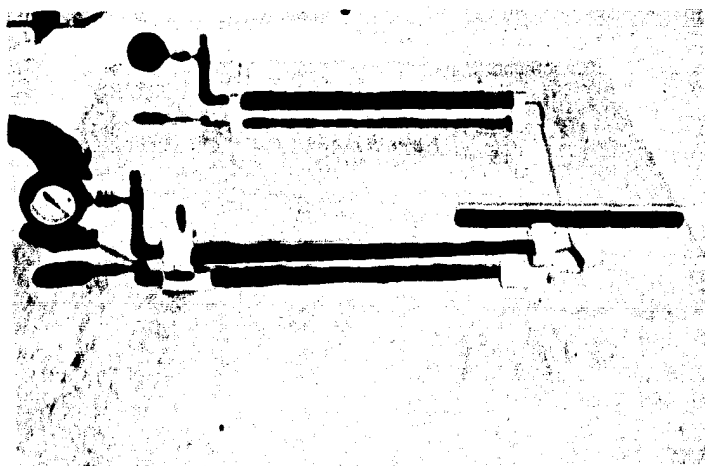


Fig. 5.- Experimento 3. Un sensor dentro de una cámara tubular de vidrio.

En vista de los resultados obtenidos en los experimentos anteriores se diseñó y construyó un primer prototipo del rastreador, Fig. 6. El rastreador está provisto de un contrapeso de altura ajustable para su correcto funcionamiento.

En un principio los sensores tubulares de cobre, pintados de negro mate, carecían de aletas; posteriormente fueron dotados de aletas horizontales para calentamiento y verticales para enfriamiento, así como de láminas sombreadoras de madera triplay, Fig. 7. Como se puede apreciar no se instaló ningún espejo.

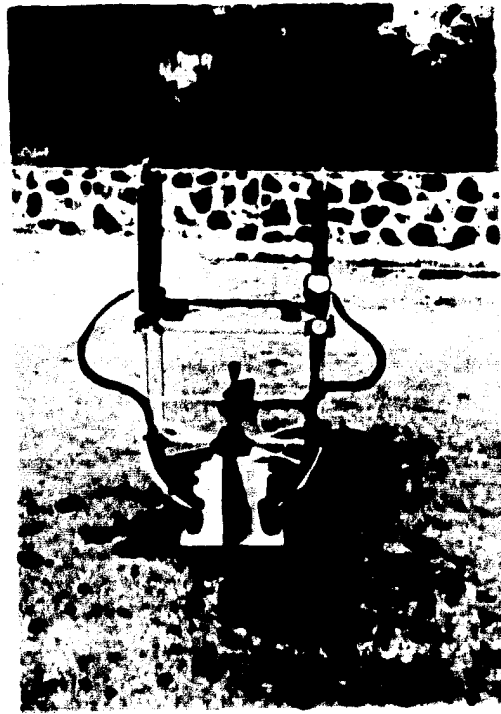


Fig. 6.-Prototipo, vista general.

La manquera, Fig. 899, debe poder aplastarse completamente con el rodillo sin dañarla por lo que debe ser muy flexible, sin embargo, debe resistir una presión -

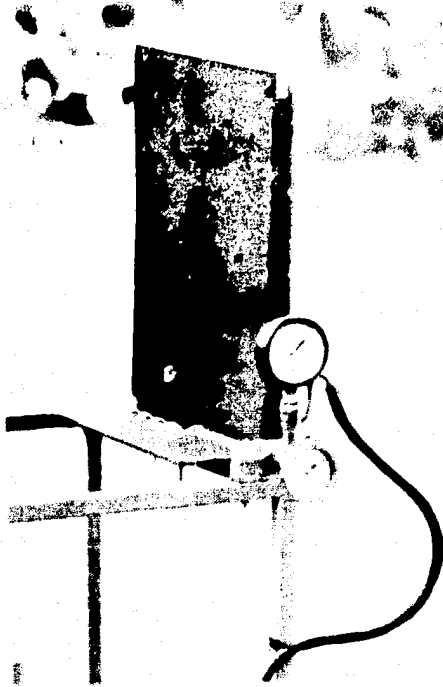


Fig. 7.-Prototipo: detalle de sensor, termómetro y manómetro.

Fig. 8.-Prototipo: porta-rodillo y tornillo de ajuste.



considerable. Desafortunadamente las mangueras que resisten alta presión son muy rígidas. Para superar esta dificultad se dotó a la manguera de una funda de tela, cosida en forma muy ceñida. Debido a que la tela presentaba arrugas, se desarrolló un conjunto de manguera y funda de hule reforzado, la primera muy deformable y la segunda muy resistente, Fig. 10.

### PRUEBAS EN EL PROTOTIPO

Se efectuaron pruebas al sol con los sensores parcialmente llenos de éter, habiéndose alcanzado una diferencia máxima de presiones de  $0.45 \text{ Kg/cm}^2$  correspondiente a las temperaturas de  $41^\circ\text{C}$  al sol y  $31^\circ\text{C}$  a la sombra, tabla 1, sin lograr ningún desplazamiento.

Hora del día	Temp. en el sensor derecho °C	Presión en el sensor derecho Kg/cm <sup>2</sup>	Temp. en el sensor izquierdo °C	Presión en el sensor izquierdo Kg/cm
13.00	39.5	0.62	30	0.60
13.03	43	0.62	"	0.6
13.06	44	0.64	30.5	0.37
13.50	"	0.65	"	0.38
13.53	45	0.65	"	"
13.55	46	0.65	"	"
14.00	43	0.70	"	"
14.05	43	0.65	"	"
14.10	"	0.66	"	"
14.14	46	0.65	31	"
14.20	43	0.6	"	"
14.25	41	0.75	30	0.37

Tabla 1.- Datos experimentales obtenidos en el prototipo.





Fig. 9.- Prototipo: rodillo y manguera  
(solo se usó en su fundar).

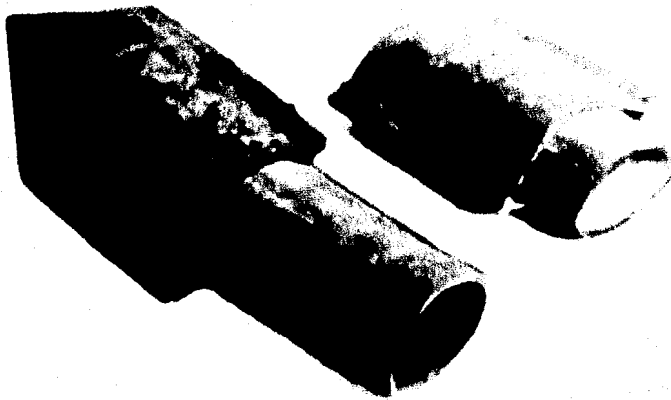


Fig. 10.- Componentes de la manguera.

Se efectuó una prueba con los sensores dentro de tubos de vidrio como los utilizados en el experimento 3 , manteniendo uno a la sombra y el otro expuesto al sol . Al cabo de unos siete minutos el bastidor se desplazó angularmente hasta su tope, 70° aproximadamente. Al invertirse el proceso, sombreando al sensor anteriormente expuesto, el bastidor no se movió. Esto se atribuye a la gran inercia térmica y efecto de invernadero que se propició mediante las superficies selectivas y las cámaras de vidrio respectivamente, razón por la cual fueron eliminadas.

Posteriormente se dotó a los sensores de aletas y se reemplazó la manguera de 3/16" de diámetro, por una cámara de bicicleta de 1" de diámetro con una funda de hule reforzado de 1/16", Fig. 10.

La idea al emplear aletas era la de aumentar el área de captación en el sensor expuesto y a la vez incrementar el área de emisión en el lado sombreado, para producir así diferencias de temperatura y presión mayores.

El uso de éter en lugar de freón se debe a que el segundo presenta algunos riesgos tales como daños a los ojos y lesiones en el sistema respiratorio. Se consideró también el uso de amoníaco pero presentaba dificultades para su manejo además de riesgos como los mencionados.

Por otro lado, al utilizarse éter no se requiere de un sistema para alta presión ya que las presiones obtenidas son reducidas.

También se realizaron pruebas en el interior de un edificio suministrando aire comprimido a uno de los sensores, habiéndose logrado desplazar angularmente al bastidor giratorio con una diferencia de presiones de  $0.5 \text{ Kg/cm}^2$ .

A la luz de los anteriores experimentos se considera que aumentando el diámetro de la manguera se logrará impulsar al aparato mediante la energía solar aún con un diferencial de presión menor que el de  $0.45 \text{ Kg/cm}^2$  ya alcanzado.

En vista de que el ancho del arco soporte resultó insuficiente se decidió rediseñar la unidad, aprovechando la ocasión para mejorar otras características.

## SIMULACION

Con el objeto de determinar los parámetros y la forma como afectan éstos el tiempo de respuesta, se emprendió un programa de simulaciones por computadora. De acuerdo con la información que se obtenga se procederá a rediseñar el dispositivo.

De acuerdo con la anterior consideración se estableció el modelo matemático para la simulación.

### MODELO MATEMATICO

Para establecer el modelo matemático se propone la siguiente hipótesis referente a los procesos termodinámicos.

En la Fig. 11 se presentan los procesos en un diagrama presión-volumen. Se hace notar que los siguientes procesos son simultáneos: 12 y ab, 23 y bc, 34 y cd. Normalmente ambos sensores están a la sombra, al exponerse uno de ellos al sol, la presión sube a volumen constante, proceso 12, mientras que en el sensor a la sombra el estado del fluido no cambia, proceso ab. Cuando la diferencia de presiones llega a un cierto umbral

$$\Delta p = p_2 - p_b = p_2 - p_1$$

la rodaja se desplaza sobre la manguera aumentando el volumen del lado expuesto al sol, proceso 23, y disminuyendo en cantidad igual el volumen del lado de la sombra, proceso bc. Se supone que dichos procesos son isotérmicos.

De las anteriores consideraciones se obtienen las siguientes relaciones:

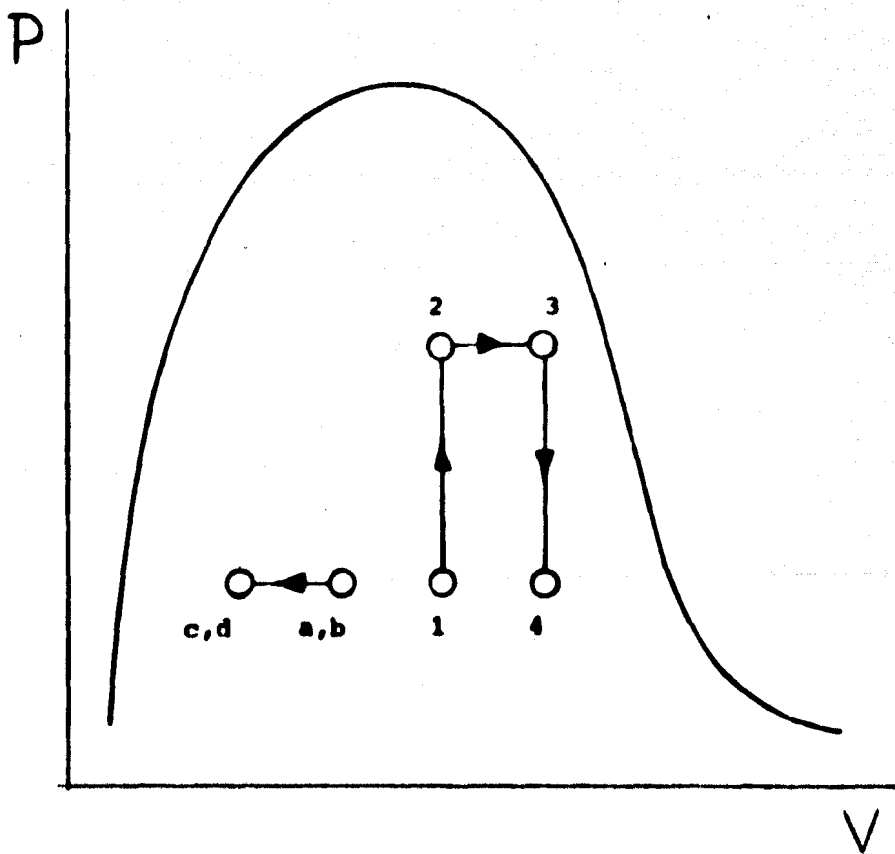


Fig. 11.-Diagrama presión-volumen. El proceso a,b,c,d y el proceso 1,2,3,4 corresponden a los sensores a la sombra y al sol respectivamente.

$$V_1 = V_2 ; V_4 = V_3 ; V_a = V_b ; V_c = V_d$$

$$V_1 + V_a = V_4 + V_c$$

$$V_c - V_a = V_1 - V_4$$

$$\Delta V_{\text{sol}} = \Delta V_{\text{sombra}}$$

$$W_{\text{sol}} = W_{\text{sombra}} = W = \text{constante}$$

$$T_1 = T_4 = T_a = T_b = T_c = T_d ; T_3 = T_2$$

$$P_1 = P_4 = P_a = P_b = P_c = P_d ; P_3 = P_2$$

Examinando el proceso 12 se puede estimar el tiempo de reacción así como la fuerza impulsora:

$$Q = \Delta I + Wk$$

$$Wk = 0$$

$$Q = \Delta I$$

$$q = \frac{dQ}{dt} = \frac{dI}{dt} = mC_v \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

$C_v$  es aproximadamente constante para el rango de temperaturas de interés por lo tanto se puede estimar de la siguiente manera:

$$C_v = \frac{\Delta I}{m\Delta T} = \frac{\Delta h + v\Delta p}{\Delta T} \quad (2)$$

$$C_v = \frac{(h_2 - h_1) + v(p_1 - p_2)}{(T_2 - T_1)} \quad (3)$$

$P_1$  ,  $P_2$  ,  $T_1$  y  $T_2$  son las presiones y temperaturas del fluido en los puntos correspondientes y se obtienen del diagrama presión-volumen Fig. 19;  $h_1$  y  $h_2$  se obtienen de la siguiente forma:

- con  $p_1$  se encuentra  $v_f$  y  $v_g$  del diagrama PV y se calcula la calidad de la mezcla

$$v = v_f + x(v_g - v_f) \quad (4)$$

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f}$$

en donde  $v = \frac{V}{m} = \frac{\text{vol. del sensor y manguera}}{\text{masa de éter suministrada}}$

- con la calidad de la mezcla se obtiene  $h$

$$h_1 = h_{f1} + x(h_{g1} - h_{f1}) \quad (5)$$

de la misma forma se procede para calcular  $h_2$  .

Mediante el balance de energía en el sensor y las aletas se determina el calor que absorbe el fluido por unidad de tiempo, de modo que:

$$\begin{aligned}
 q = & A_p \alpha I_D + F_1 A_d \alpha I_d - A_s h_c (T - T_a) - h_c P_1 K A_1 (T - T_a) \\
 & - h_c P_2 K A_2 (T - T_a) - F_2 A_2 \epsilon \sigma (T^4 - T_c^4) \\
 & - F_3 2 A_3 \epsilon \sigma (T^4 - T_c^4) - A_s \epsilon \sigma (T^4 - T_c^4). \quad (6)
 \end{aligned}$$

Se llevaron a cabo simulaciones con este modelo y se encontró que no era conveniente el uso de una placa en - friadora ya que no se obtenía la diferencia de temperatu ras esperada, lo cual se debía aparentemente a la pérdi- da excesiva de energía por convección al tenerse un área considerable de enfriamiento.

Estas simulaciones indicaron también la conveniencia de tener a los sensores normalmente a la sombra, ya que el proceso de calentamiento de los mismos, y por lo tan- to del fluido, es más rápido que el de enfriamiento.

Se propuso un arreglo de sensor y aleta con la pla- ca sombreadora en posición horizontal y paralela al sen- sor, Figs. 12 y 13. Al presentarse una desviación , los rayos solares inciden primero sobre el sensor y después sobre la aleta lo que contribuye a mejorar el tiempo de respuesta. A diferencia del arreglo anterior, éste no presenta ninguna resistencia al viento lo cual resulta ventajoso.



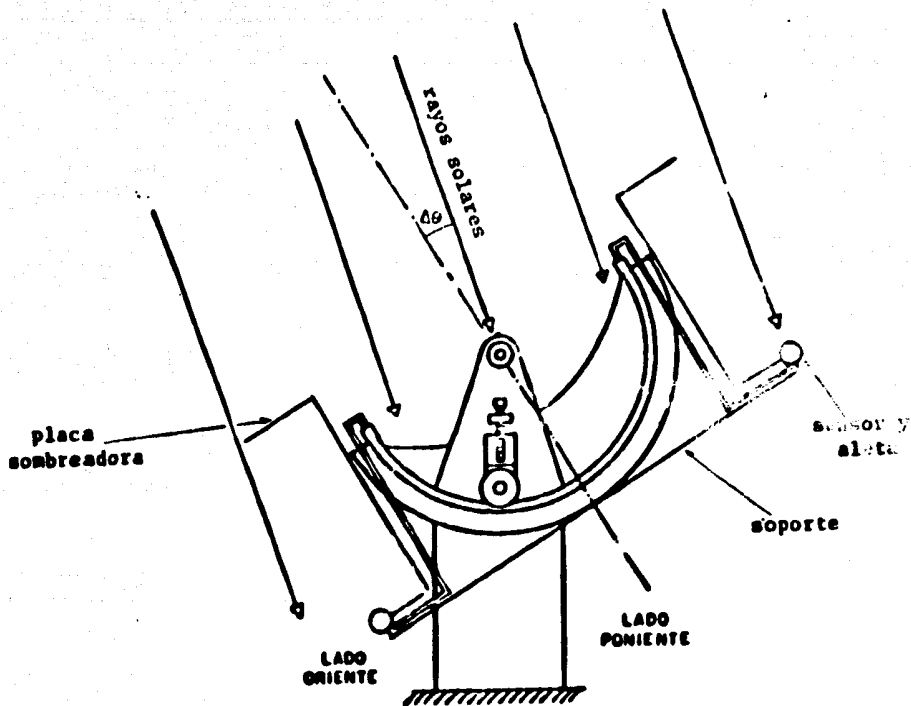


Fig. 12.- Rastreador con los sensores normalmente a la sombra..Placa sombreadora horizontal.

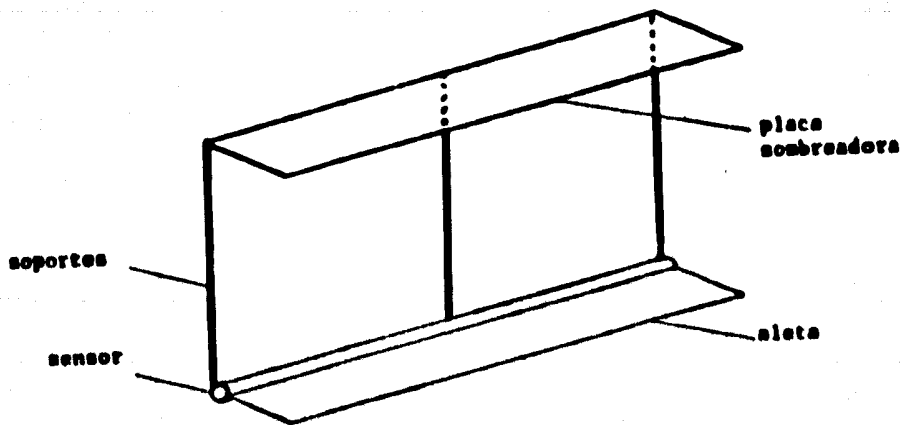


Fig. 13.- Arreglo de sensor y aleta con placa sombreadora horizontal.

El calor que se recibe por unidad de tiempo en el nuevo arreglo es:

$$q = A_p \alpha I_D + F_1 A_d \alpha I_d - A_s h_c (T - T_a) - h_c P_2 K A_2 (T - T_a) - A_s \epsilon \sigma (T^4 - T_c^4) - F_2 (2A) \epsilon \sigma (T^4 - T_c^4) \quad (7)$$

El modelo matemático para las simulaciones se obtiene substituyendo (1) en (7) y agrupando en potencias de T :

$$m C_v \dot{T} + a T^4 + b T = a T_c^4 + b T_a + A_p \alpha I_D + F_1 A_d \alpha I_d \quad (8)$$

en donde

$$a = (A_s + 2F_2 A) \epsilon \sigma$$

$$b = A_s h_c + h_c P_2 K A_2$$

En las simulaciones anteriores se utilizaron los siguientes valores fijos:

$$\alpha = 0.9 \quad (\text{Ref. 2})$$

$$\epsilon = 0.9 \quad (\text{Ref. 2})$$

$$\sigma = 5.6697 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$F_1 = 0.95$$

$$F_2 = 0.95$$

$$h_c = 11.4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad (\text{Ref. 4})$$

$$I_D = 700 \text{ W/m}^2 \quad (\text{Ref. 2})$$

$$I_d = 222 \text{ W/m}^2 \quad (\text{Ref. 4})$$

$$T_a = 295 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_c = 285 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$C_v$  = se obtuvo de la relación (3) a partir de valores de la Ref. 3.

Se hicieron varias corridas de simulación que se utilizaron para llevar a cabo una optimación del tiempo de respuesta por el método de Box, Ref. 5, con los siguientes valores limitativos:

$$h \leq 1.2 \text{ metros}$$

$$l \leq 0.8 \text{ metros}$$

$$s \leq 0.2 \text{ metros}$$

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en las corridas y en las Figs. 14 y 15 se presentan ejemplos de los resultados gráficos de dichas corridas.

Debido a que la optimación indicaba la conveniencia de incrementar la longitud del sensor y de la aleta, se efectuaron algunas corridas modificando esta dimensión y manteniendo constantes los demás parámetros.

Se observó que el tiempo de respuesta se estabilizaba para determinada longitud del sensor y a partir de entonces el incremento de la longitud no aportaba ningún cambio sensible en el tiempo de respuesta, razón por la cual los resultados de la corrida 30 se consideran como óptimos.

Tabla 2.- RESULTADOS DE LAS CORRIDAS DE SIMULACION

Punto	Altura de la sombra	Longitud de la sleta	Ancho de la sleta	Diam. del sensor	Tiempo de respuesta	Temp. final
	h	b	a	d	t	T
	metros	metros	metros	metros	minutos	°C
1	1.2	0.7	0.07	0.0127	10	41.6
2	1.1	0.7	0.06	0.0127	11.3	39.6
3	1.0	0.7	0.07	0.019	13.4	40.6
4	1.1	0.5	0.06	0.019	12.7	38.8
5	0.8	0.6	0.05	0.0254	18.7	36.2
6	0.8	0.5	0.06	0.0254	15.0	34.3
7	1.0	0.6	0.052	0.0127	13.5	38.1
8	1.2	0.6	0.05	0.0254	14.4	36.2
9	1.2	0.6	0.06	0.019	11.7	38.8
10	1.27	0.69	0.079	0.0212	10.9	41.9
11	1.19	0.66	0.071	0.0188	11.4	40.9
12	1.18	0.90	0.078	0.0141	10.2	42.8
13	1.3	1.00	0.081	0.0118	8.7	43.9
14	1.25	0.86	0.075	0.0138	14.9	33.5
15	1.2	0.8	0.06	0.0127	10.2	35.2
16	1.2	0.8	0.06	0.019	11.0	34.7
17	1.2	0.8	0.08	0.0127	9.7	43.6
18	1.2	0.8	0.08	0.019	11.0	42.3
19	1.2	0.8	0.09	0.0127	11.1	37.5
20	1.2	0.8	0.06	0.019	11.7	38.8
21	1.2	0.8	0.06	0.0127	10.4	39.6
22	1.2	0.8	0.09	0.0093	8.6	46.8
23	1.2	0.8	0.072	0.0017	---	---
24	1.2	0.8	0.074	0.0064	8.7	43.7
25	1.2	0.8	0.075	0.0091	9.1	43.7
26	1.2	0.8	0.109	0.0078	7.7	48.5
27	1.2	0.8	0.1	0.0127	9.0	46.7
28	1.2	0.8	0.13	0.0127	7.2	47.2
29	1.2	0.8	0.2	0.0127	5.5	33.2
30	1.2	0.8	0.106	0.0017	5.5	34.3

• viola temperatura inicial de referencia = 38 °C

• la temperatura final es aún mayor.

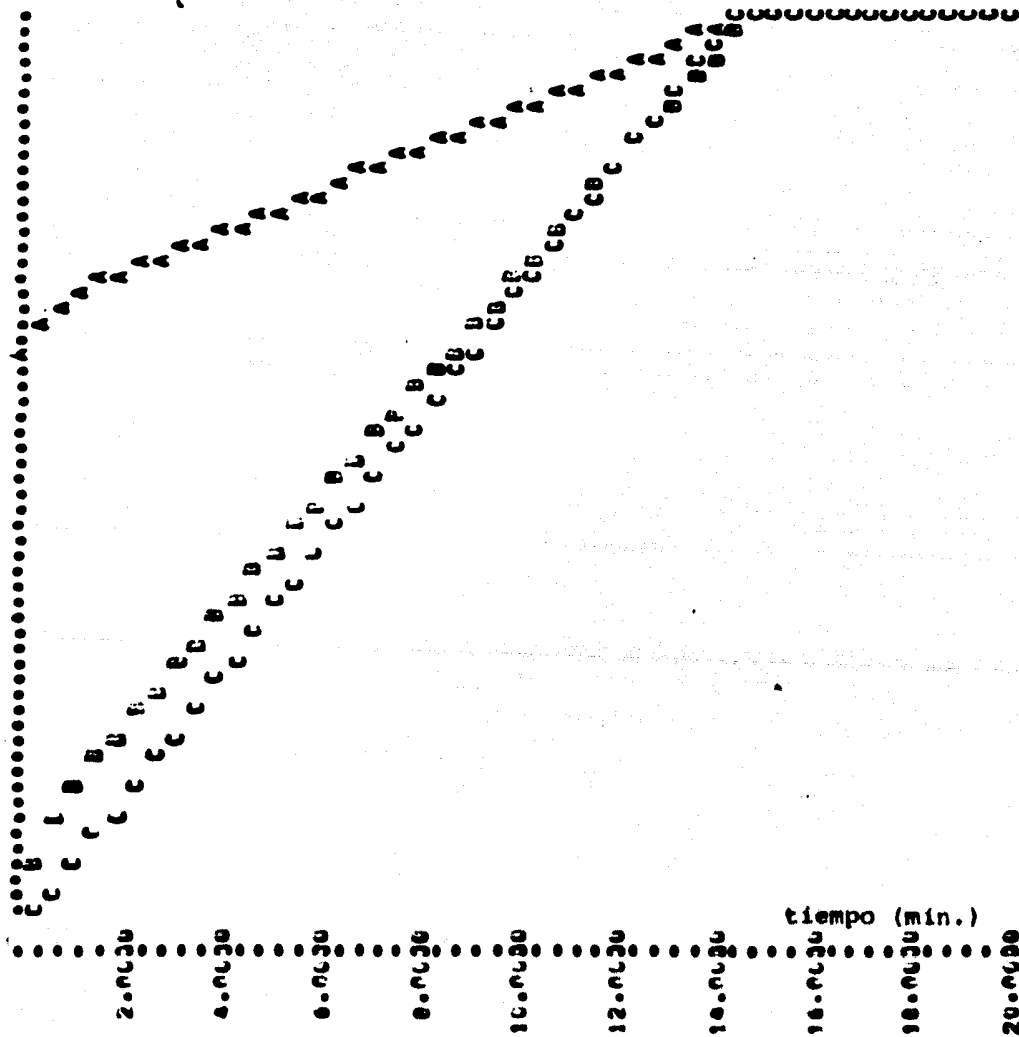


Fig. 14.-Gráficas correspondientes al punto 14.

- A Representa a la temperatura en °C
- B Representa el incremento de temperatura
- C Representa el área proyectada de la aleta y el sensor.

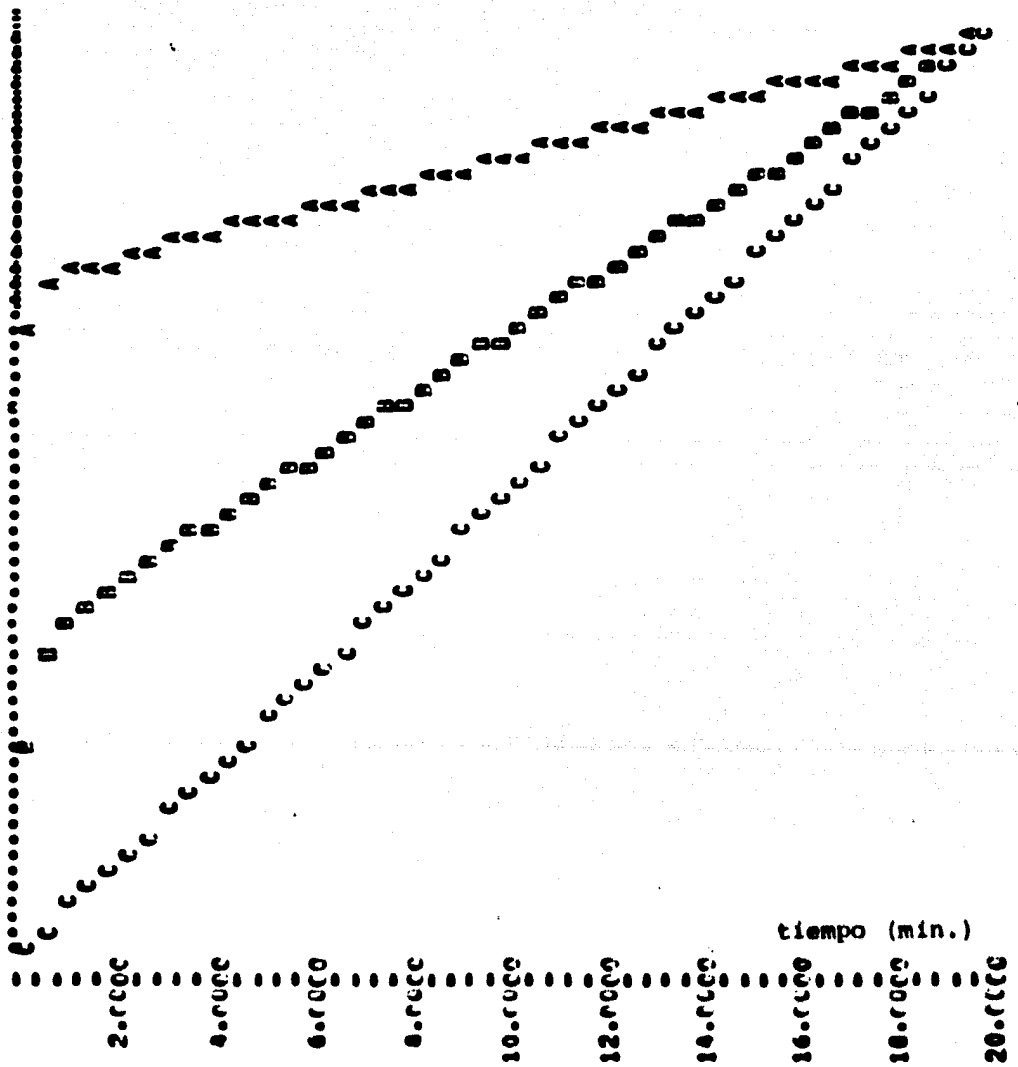


Fig. 15.-Gráficas correspondientes al punto 30.

- A Representa a la temperatura en °C
- B Representa el incremento de temperatura
- C Representa el área proyectada de la aleta y al sensor.

## CONSIDERACIONES MECANICAS

De acuerdo con los resultados obtenidos se proponen las siguientes modificaciones para el rediseño:

1).-Incrementar el área seccional de la manguera lo cual se traduce en un incremento de la fuerza impulsora  $P$ , de este modo se requeriría de una diferencia de presiones menor y por lo tanto una disminución en el tiempo de respuesta.

2).-Aumentar el radio del arco soporte para obtener un par motor mayor.

3).-Dado que la fuerza ejercida por el rodillo sobre la manguera no es del todo uniforme, debido a irregularidades en la superficie de la misma, se dotará al rodillo de soportes elastoméricos que absorban dichas irregularidades.

### Resistencia al rodamiento:

En la figura 16 se aprecia el efecto de compresión del rodillo sobre la manguera. La línea punteada indica la posición inicial de la manguera.

El efecto de resistencia al rodamiento puede entenderse con mayor facilidad si se supone fija la manguera

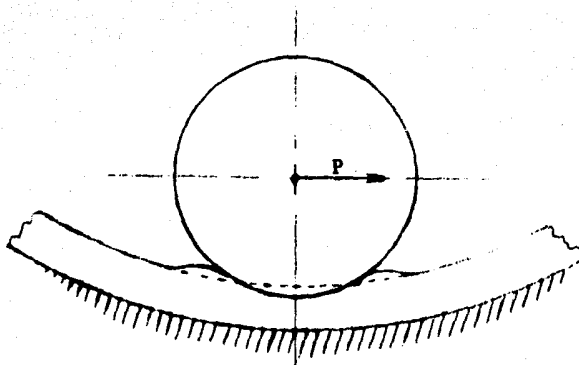


Fig. 16.-Deformación de la manguera debido a la compresión ejercida por el rodillo.

mientras que el rodillo se desplaza sobre ésta. Para este caso, el diagrama de cuerpo libre del rodillo se muestra en la Fig. 17, en donde  $P$  es la fuerza debida a la diferencia de presiones en la manguera, suficiente para impulsar al rodillo.  $W$  es la fuerza ejercida sobre el -

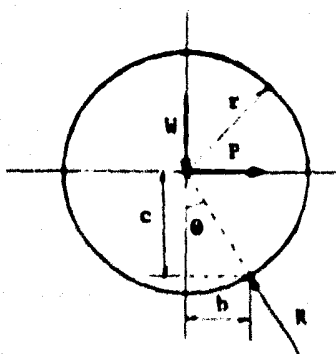


Fig. 17.-Diagrama de cuerpo libre del rodillo.



rodillo para evitar el paso del fluido de un lado a otro de la manguera. R es la resistencia que ofrecen la manguera y la funda, la cual se debe exclusivamente a la deformación del hule. La componente vertical de la fuerza debida a la presión en la manguera está considerada en la fuerza W.

De las ecuaciones de equilibrio

$$P = R \operatorname{sen} \theta$$

$$W = R \operatorname{cos} \theta$$

de donde

$$P = W \tan \theta = W \frac{b}{c}$$

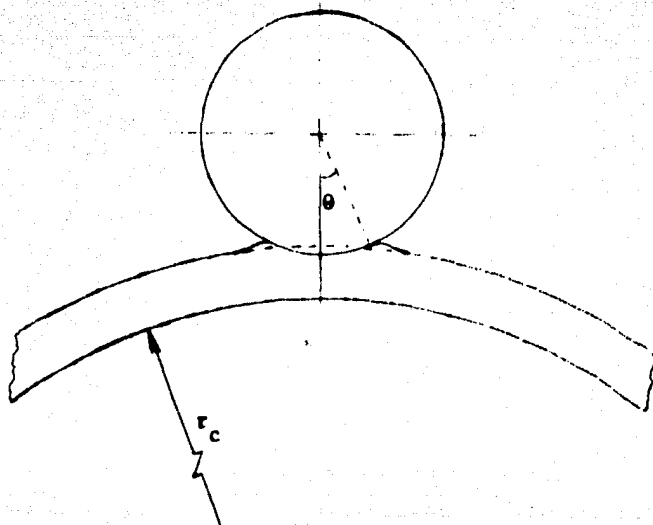
La distancia b es el llamado coeficiente de resistencia al rodamiento (Ref. 4).

Para reducir la resistencia al rodamiento se proponen las siguientes modificaciones:

a).-Aumentar el radio del rodillo para disminuir la relación  $\frac{b}{c}$ .

b).-Minimizar la fuerza W ejerciendo solo la indispensable para evitar el paso del fluido.

c).-Invertir el arco soporte colocándolo en forma convexa, Fig. 18, reduciendo así el ángulo  $\theta$  y por consiguiente el coeficiente b.



**Fig. 18.-Manguera sobre un arco soporte convexo.**

Estas modificaciones, así como las dictadas por los resultados de las simulaciones, se incluirán en el rediseño del prototipo, el cual se espera podrá ser impulsado con un diferencial de presión menor que el ya alcanzado.

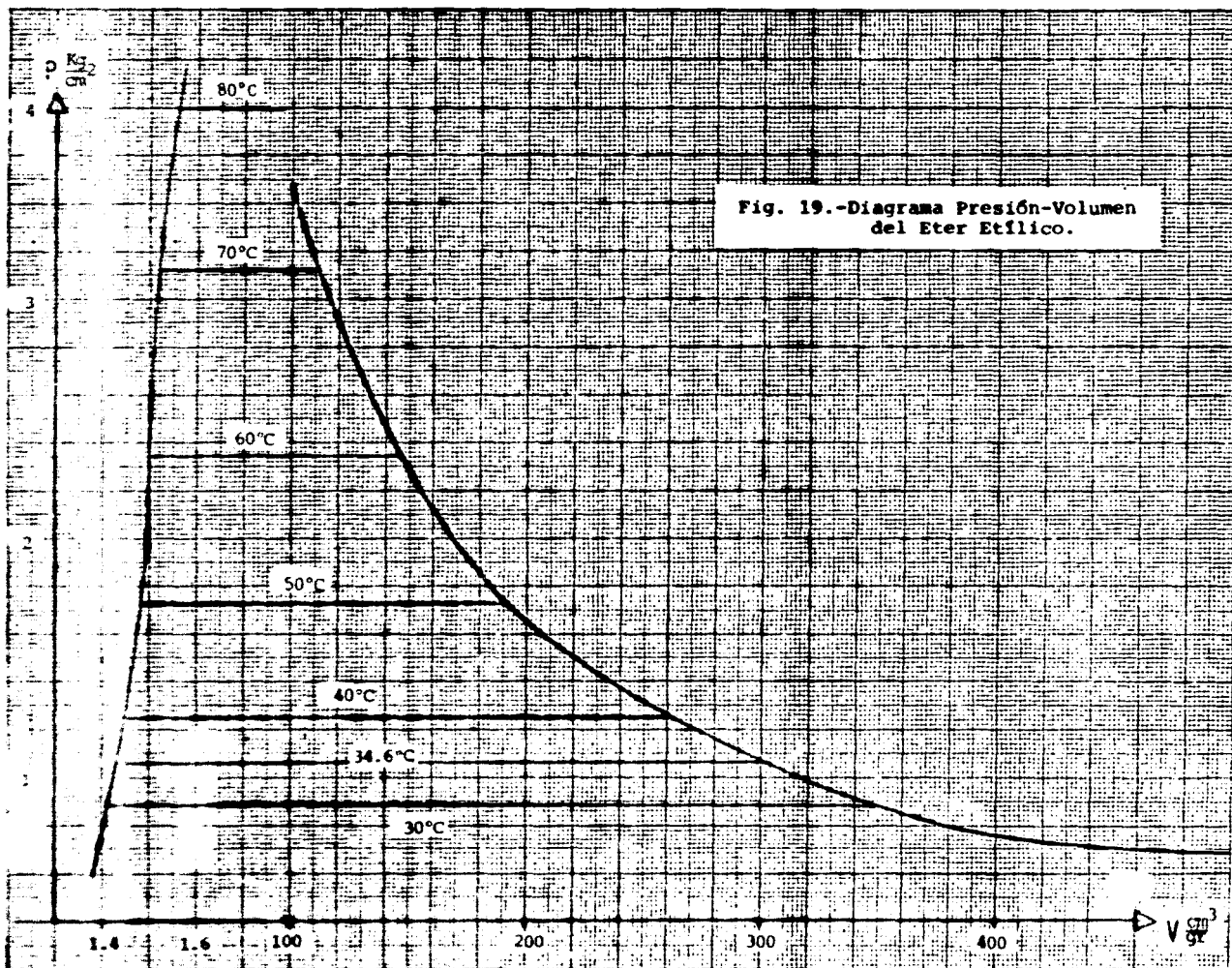


Fig. 19.-Diagrama Presión-Volumen del Eter Etilico.

## RECONOCIMIENTOS

Desco expresar mi agradecimiento a los Doctores Ricardo Chicurel Uziel, José Luis Fernández Zayas y Rafael Almanza Salgado, así como al M. en C. Ingeniero Manuel Aguirre Gándara , por su valiosa colaboración y sus importantes aportaciones en el desarrollo del presente trabajo.

En especial, agradezco al personal de los talleres del Instituto de Ingeniería su desinteresada e indispensable participación en la fabricación del prototipo que se presenta en este trabajo.

## REFERENCIAS

1. Farber E.A., Morrison C.A. e Ingley H.A. A Self Contained Powered Tracking Device. Folleto ASME 76-WA/H7-26 presentado en la Reunión Anual de Invierno del ASME, Nueva York, N.Y. Dic. 5 a 10, 1976.
2. Almanza R., López S. Utilización de las Superficies Selectivas en la Energía Solar. Instituto de Ingeniería, UNAM. México D.F., Sept. 1976.
3. Charles D. Hodgman. Handbook of Chemistry and Physical Data. Chemical Rubber Publishing Co. 1947.
4. Rigdon A., Stiles W.B. Engineering Mechanics Statics and Dynamics. Mc Graw Hill 1962.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Barnard W. N., Ellenwood P.O., Hirshfeld C.F. Heat Power Engineering. 3a Ed., J. Wiley 1926.
2. Box M.J. A New Method of Constrained Optimisation and a Comparison with other Methods. Computer J, 8: 42-52, 1965.

3. Chicurel E., Legarreta L. Manual para el Uso del Simulador Analógico SAS II (Simulador Analógico en Series). Facultad de Ingeniería UNAM, Octubre de 1971.
  
4. Chicurel E., González A. Consideraciones Preliminares en el Desarrollo de un Rastreador de Efecto Peristáltico Invertido. Memoria Tercer Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería A.C., Sept. 1977, Oaxtepec, Mor. México.
  
5. Chicurel E., Nieto J. Progreso en el Desarrollo de un Rastreador Solar de Efecto Peristáltico Invertido. Memoria Cuarto Congreso de la A.N.I.A.C. Octubre 1978. Mérida, Yuc. México.
  
6. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar Energy Thermal Processes. Edit. J. Wiley, 1974.
  
7. Kreith F. Principles of Heat Transfer. Tercera Edición, I.T.C. 1973.