



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE UNA MAQUINA DE
EXPANSIÓN TERMICA PARA HACER PRUEBAS MECÁNICAS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

FÍSICO

PRESENTA:

SALINAS Y CHAPA, CLAUDIA HORTENSIA LUCINDA

ASESOR: MENDOZA ALLENDE, ALEJANDRO

Ciudad Universitaria, 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.

22/51

T E S I S P R O F E S I O N A L
que para obtener el título de
F I S I C O
p r e s e n t a

CLAUDIA HORTENSIA LUCINDA SALINAS Y CHAPÁ

MEXICO, D.F.

1989

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INDICE

Hoja

Resumen

CAPITULO I.....1

Pruebas mecánicas e instrumentos de medición.

1.1	Introducción.....	1
1.2	Prueba de tensión.....	2
1.3	Prueba de compresión.....	13
1.4	Prueba de dureza.....	15
1.5	Prueba de impacto.....	17
1.6	Prueba de fatiga.....	18
1.7	Termofluencia y ruptura bajo esfuerzo.....	20
1.8	Instrumentos de medición.....	23
1.9	Objetivo de una medición.....	25
1.10	Sistemas de medición.....	26
1.11	Elementos transductores.....	29

CAPITULO II.....36

Necesidad de una máquina axil de tension y compresion de velocidad constante.

CAPITULO III.....43

Definición del problema y su solución

3.1	Exigencias impuestas a la maquina.....	43
3.2	La idea inicial.....	45
3.3	La propuesta final.....	51
3.4	Casos particulares.....	60
	I Caso ideal.....	60
	II Máquina libre.....	62
	III Trabajando contra fricción estática (fricción seca).....	67
	IV Probeta tipo resorte.....	70
	V Caso general	80
3.5	Los prototipos.....	83

Primer prototipo.....	81
Segundo prototipo.....	86
Tercer prototipo.....	88

CAPÍTULO IV 97

Pruebas y resultados.

4.1 Pruebas con el tercer prototipo.....	97
4.2 Estimación de los parámetros de la máquina.....	98
4.3 Comparación del comportamiento de la máquina contra las características exigidas.....	104
4.4 Comportamiento de la máquina en pruebas típicas.....	115

ANEXO 1.1

Programa para obtener gráficas de $t \ v_s \ \epsilon$ 119

ANEXO 1.2

Programa para obtener gráficas de $P \ v_s \ t$ 125

ANEXO 1.3

Programa para obtener gráficas de $t \ v_s \ \epsilon$ 128

ANEXO 1.4

Programa para ajustar por mínimos
cuadrados los puntos experimentales de
 $t \ v_s \ \epsilon$ a una función $\epsilon = A(1 - e^{-Bt})$ 133

.....Bibliografía.....

R E S U M E N :

Este trabajo presenta el diseño y construcción de una máquina para hacer pruebas de deformación axial de compresión y tensión, que aprovecha el efecto de expansión térmica de un tubo de acero, para conseguir el movimiento del cabezal.

El capítulo I es un resumen de las diferentes pruebas que comúnmente se usan para ensayar materiales y se describen los principales métodos de medición de fuerza y desplazamiento. Es un antecedente útil a quienes no tengan un conocimiento del tema y puede servir como referencia para comparar la máquina que proponemos, con las existentes.

En el capítulo II se exponen las razones que motivaron el diseño y construcción de esta máquina, se destaca la dificultad que tienen otras máquinas convencionales para hacer pruebas que permitan investigar mecanismos de interacción "dislocación - impureza" en pequeños cristales de halogenuros alcalinos, que exigen velocidades de deformación entre 10^7 seg⁻¹ y 10^4 seg⁻¹, que necesitan hacer rápidos cambios de velocidad del cabezal, que los transitorios en los cambios de velocidad sean breves (duren menos de 1/10 seg.) y que el movimiento sea suave, libre de vibraciones a lo largo de toda la prueba.

En el capítulo III se desarrolla éste trabajo, se especifican las características que debe tener la máquina:

- a) Debe poder aplicar fuerzas mayores de 30 kg fuerza.
- b) Debe poder deformar las probetas por un recorrido de más de 3mm.
- c) La velocidad de desplazamiento del cabezal debe ser constante, entre 10^{-6} cm/seg. y 10^{-2} cm/seg.
- d) Debe poder cambiar de velocidad de desplazamiento del cabezal, con transitorios que duren menos de 1/10 seg.

Se plantea la idea original de aprovechar la expansión térmica de una barra metálica y que resuelve el problema, se describe el desarrollo de los diversos diseños y prototipos, se propone que el calentamiento del tubo de acero sea directo inyectándole una corriente eléctrica, se establece el modelo teórico que permite el diseño y estudio de la máquina, se analiza su posible comportamiento ante diferentes condiciones de trabajo, se predice que su funcionamiento no es lineal, se encuentra que el movimiento del cabezal es una función del tiempo y de las características de la probeta.

En general, la relación entre el desplazamiento del cabezal y el tiempo es:

$$t = \int_0^{\epsilon} \frac{\frac{C}{A} + f(\epsilon)}{P - K(\epsilon/A)} d\epsilon \quad (\text{Ecuación 3.10, pag 57})$$

en que $f(\epsilon)$ es una función que expresa la carga ejercida por la probeta y $K(\epsilon/A)$ es una función que representa al aislamiento térmico. Se recomienda que el diseño se haga en términos de una máquina "libre" (sin probeta) y suponiendo un aislamiento térmico constante ($K(\epsilon/A) = K(\epsilon/A)$), con lo que el comportamiento de la máquina es:

$$\epsilon = \frac{AP}{K} \left(1 - e^{-\frac{k}{ct}} \right) \quad (\text{Ecuación 3.15, pag 63})$$

Para una potencia (P) constante, la dilatación de la barra tiende asintóticamente a un máximo, esto es inconveniente pues muchas pruebas exigen deformar la probeta hasta un porcentaje de su longitud original y la región de comportamiento lineal de la máquina dura sólo 1/5 de veces el tiempo propio (pág. 67 ecuación 3.18), limitando el recorrido del cabezal cuando éste ha de moverse a una velocidad constante, ésta dificultad se superó al cambiar el diseño proponiéndose que la barra se forre con una "Guarda Térmica" u horno que envuelve a la barra y que se calienta a una temperatura próxima a la de la barra, esto consigue que la región lineal se extienda casi indefinidamente.

En el capítulo IV se describen las pruebas a que se sometió el prototipo y se reportan los resultados. Se comprueba que la "máquina libre" se comporta como lo predice el modelo teórico, se propone un método gráfico para calibrar la máquina y determinar los parámetros fundamentales de su funcionamiento ($C_1, C_2 = \frac{AP}{K}$ y $t_p = C_2 = K/C$ pág. 102.). Se verifica que sus características superan a las que se le pidieron:

- Puede aplicar fuerzas mucho mayores a los 30 Kg fuerza.
- Tiene un recorrido lineal mayor a los 3 mm.
- Puede funcionar a velocidades constantes, entre menos de 10^{-6} cm/seg. y más de 10^{-2} cm/seg.
- Puede hacer cambios de velocidad de desplazamiento del cabezal, con transitorios que duran menos de 1/10 seg.

Finalmente se propone un diseño con simetría coaxial para evitar los problemas de alineación y facilitar su construcción.

CAPITULO I

CAPITULO I

PRUEBAS MECANICAS E INSTRUMENTOS DE MEDICION.

1.1 INTRODUCCION.

El uso específico que se le da a los diferentes materiales, dependerá de sus propiedades mecánicas, tales como: resistencia, dureza, ductilidad, etc. Se pueden obtener valores numéricos que describen el comportamiento del material según sus propiedades mecánicas, es decir, su resistencia a las diferentes pruebas patron, realizándose pruebas de tracción, dureza, impacto, fluidez, fatiga, etc. .

Es necesario entender el significado de la información obtenida por medio de las pruebas, para esto, haré una breve descripción de algunas de ellas.

Por medio de una prueba de tensión o compresión se puede medir o determinar la capacidad de un material para soportar una carga estática. Las pruebas de dureza nos informan sobre la

CAPITULO I

resistencia del material a deformarse permanentemente; con las de impacto se determina la tenacidad del material con respecto a cargas de choque. Cuando éstas pruebas se hacen en un intervalo de temperaturas se puede determinar la existencia de cualquier transición de comportamiento dúctil a frágil, en función de la temperatura. Las pruebas de fatiga miden el período de vida útil de un material sometido a cargas o deformaciones cíclicas; las pruebas de termofluencia y ruptura bajo carga, se realizan para observar el comportamiento de un material sometido a una carga y una temperatura elevada por un lapso largo.

1.2 PRUEBA DE TENSION .

La prueba de tensión consiste en estirar un material hasta su ruptura. Esta es una prueba muy útil para evaluar propiedades mecánicas.

CAPÍTULO I

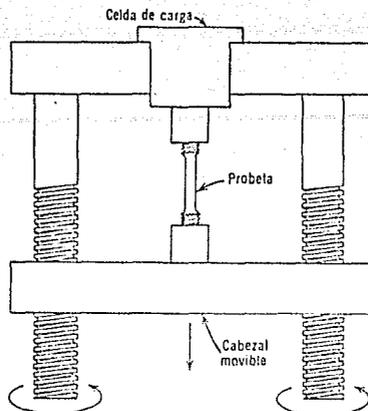


Fig. 1.1

En ésta prueba la muestra se estira a velocidad de cabezal constante midiéndose, como una variable independiente, la carga necesaria para producir una velocidad de alargamiento especificada (ver fig. 1.1).

Los resultados de la prueba de tensión se grafican en una curva de carga versus alargamiento y se registran como valores de esfuerzo y deformación ingenieriles unitarios que son independientes de la geometría de la muestra.

El llamado esfuerzo ingenieril S , se define como la razón de la carga aplicada a la muestra P , a la sección transversal original A_0 :

$$S = \frac{P}{A_0} \quad \text{---(1.1)}$$

Se define la deformación ingenieril e , como la razón del cambio en la longitud de la muestra, a su longitud original :

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \text{---(1.2)}$$

Como se muestra en la fig.1.2, al iniciar una prueba de tensión el material se deforma elásticamente, es decir, si la carga se elimina, la muestra recupera su longitud original.

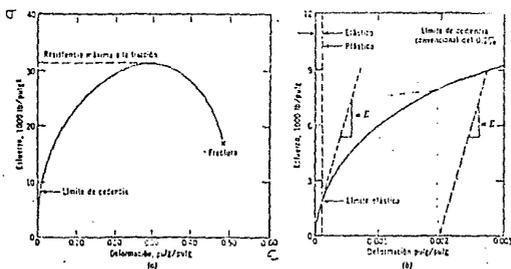


Fig. 1.2

El material sobrepasa su límite elástico cuando la magnitud de la carga es tal que se inicia el proceso de deformación plástica, que consiste en que el material no recupera su longitud original aún cuando se haya eliminado la carga aplicada (Siempre existe una deformación elástica o

reversible, que se recupera al retirar la carga, pero durante la deformación plástica, se conserva un alargamiento neto). A medida que la muestra continua alargándose, el esfuerzo ingenieril aumenta y se dice que el material ha sufrido un endurecimiento por trabajado o endurecimiento por deformación (que es un aumento en dureza y esfuerzo de deformación que ocurre al aumentar la deformación plástica).

El esfuerzo alcanza su valor más alto cuando la resistencia a la tensión es máxima. En el momento en que el esfuerzo llega a éste valor se forma en la probeta una constricción o cuello, es decir, hay una concentración de deformación plástica en una región localizada de la muestra y como consecuencia se observa una reducción del área de la sección transversal, en esta región se localiza todo el alargamiento posterior, el esfuerzo ingenieril disminuye continuamente al aumentar la deformación hasta que se rompe la muestra. Existen algunos materiales que se rompen sin formar cuello, entonces se dice que el valor de resistencia máxima a la tensión y el valor de

CAPÍTULO I

esfuerzo de fractura son iguales. Sin embargo cuando hay formación de cuello, la carga para fractura es menor que la carga para resistencia máxima a la tensión (como el área en el cuello es menor, entonces se necesita una fuerza menor).

En la figura 1.3 se muestran las curvas de esfuerzo contra deformación ingenieriles de varios metales.

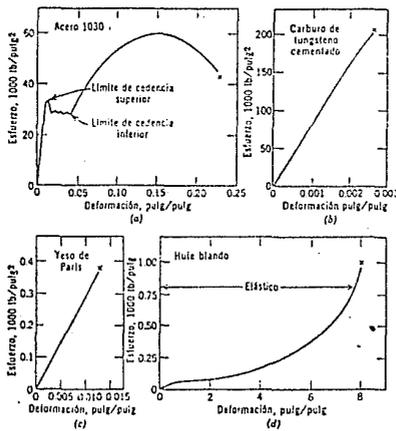


Fig. 1.3

Para metales y materiales cerámicos, la relación entre esfuerzo y deformación en la región elástica es lineal y la ecuación que la describe es la Ley de Hooke:

$$S = E e \quad \text{---(1.3)}$$

en donde "E" es una constante llamada "Módulo de Young". En metales y materiales cerámicos la máxima deformación elástica que se puede obtener es menor al 0.5 %. En materiales como el hule y los elastómeros, la relación entre esfuerzo y deformación no es lineal y se pueden producir deformaciones elásticas en varios cientos de porcentaje.

El valor de esfuerzo en el cual la deformación ya no es elástica sino plástica (ver fig 1.2) es aquel en el cual la pendiente de la curva de esfuerzo contra deformación ingenieril se desvía del módulo elástico. Existen muchas dificultades para medir con exactitud estos datos por lo que frecuentemente se usan diversas aproximaciones. La que comúnmente se usa es la del esfuerzo de cedencia convencional, definido por el valor del esfuerzo que produce una deformación plástica del 0.2 % (aunque es función de \bar{l} y t_1). En aceros de bajo carbono y otras aleaciones la deformación plástica principia en el punto mínimo de cedencia

CAPITULO I

(ver fig 1.3a). Este comportamiento se presenta cuando la deformación no es homogénea y principia en un área de concentración de esfuerzos (generalmente cerca de las quijadas que sostienen a la probeta) y se propaga a través de la muestra formando bandas visibles a simple vista, se llaman bandas de Lüder.

Durante la deformación elástica se observa un ligero cambio en el volumen del metal o de la muestra del material cerámico. Durante la deformación plástica no hay cambio en el volumen de la muestra siempre y cuando éste se mida sin aplicar la carga. Esto se representa matemáticamente :

$$A l_0 = A_i l_i = Cte \quad \text{---(1.4)}$$

Entonces cuando un material se alarga su sección transversal disminuye. En la deformación elástica éste cambio es despreciable, mientras que durante la deformación plástica la reducción del área transversal puede ser considerable. por ésta razón cuando se trata de deformación plástica, se prefiere volver a definir "deformación" y

"esfuerzo" y emplear las expresiones "deformación real" y "esfuerzo real". El esfuerzo real está definido como la razón de la carga aplicada a la muestra, al valor instantáneo del área mínima soportando esta carga:

$$\sigma_T = \frac{P}{A_t} \quad \text{---(1.5)}$$

donde P es la carga aplicada.

La deformación real se define como la integral de la razón de un incremento de longitud a la longitud instantánea de la muestra :

$$\epsilon = \int_{l_0}^{l_i} \frac{dl}{l} \quad \text{---(1.6)}$$

En una probeta deformada plásticamente con longitud inicial l_0 y longitud instantánea l_i (se mide cuando no hay carga actuando en ella) la deformación real se calcula integrando la ecuación anterior :

$$\epsilon = \epsilon(t) - \epsilon_0 = \ln \left(\frac{l_i}{l_0} \right) \quad \text{---(1.7)}$$

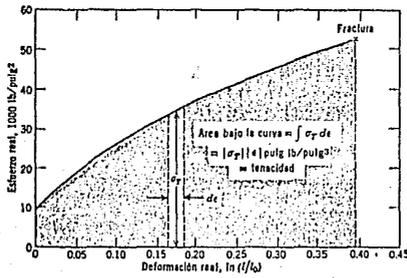
Cuando las mediciones se efectúan habiendo una

CAPITULO I

carga que actua sobre la muestra, es necesario corregir por el valor de la deformación elástica el cual contribuye siempre al valor del alargamiento observado. Esta corrección se obtiene con la siguiente expresión :

$$\epsilon_{\text{CARGA}} = \ln\left(\frac{l_f}{l_0}\right) - \frac{F_f}{E} \quad \text{---(1.8)}$$

La fig. 1.4 muestra una curva de esfuerzo contra deformación real para cobre policristalino.



Comparando esta gráfica con la realizada en la fig. 1.2 para el esfuerzo y la deformación ingenieriles, para el mismo material, se observan ciertas diferencias básicas entre estas dos curvas en la región plástica de la curva de esfuerzo y deformación ingenieril Fig. 1.2.

CAPITULO I

El esfuerzo real no alcanza su máximo valor en el punto de iniciación de la constricción o cuello como sucede con el esfuerzo ingenieril, realmente, el esfuerzo real se acrecenta al aumentar la deformación y llega al máximo al romperse la muestra. Una vez formado el cuello, la deformación de la muestra se localiza ahí, y por lo tanto no da información global sobre propiedades de la muestra, Siendo la deformación real durante la formación de la constricción :

$$\epsilon = l_n \left(\frac{A_o}{A_i} \right) \quad \text{---(1.9)}$$

donde A es el área mínima y A es el área inicial.

Para continuar con la deformación del material es necesario aumentar el esfuerzo que queda compensado al aumentar el esfuerzo aplicado debido

a la sección transversal decreciente , el material forma un cuello , o principia a deformarse localmente con cargas decrecientes . Se expresa matemáticamente así :

$$dP=0=\sigma_T dA+A d\sigma_T \quad \text{---(1.10)}$$

donde P es la carga aplicada a la muestra , fuerza o peso.

$$\frac{d\sigma_T}{\sigma_T} = -\frac{dA}{A} = d\epsilon \quad \text{---(1.11)}$$

$d\epsilon$ es la diferencial de la deformación real durante la constricción.

El endurecimiento por deformación es el aumento en dureza y estuerzo de deformación que ocurre al aumentar la deformación plástica. En muchos metales el endurecimiento por trabajo sigue aproximadamente una dependencia con la deformación, fenomenologicamente de carácter exponencial que se puede representar por :

$$\sigma_T = K\epsilon^n \quad \text{---(1.12)}$$

en donde K es una constante y n es el exponente de endurecimiento por trabajo (siempre menor que 1). En los materiales de comportamiento descrito por la ecuación anterior la formación de la constricción se inicia cuando la deformación real es igual al exponente de endurecimiento por trabajo.

En la prueba de tensión el área bajo la curva de esfuerzo y deformación representa la energía que se absorbe antes de la fractura e indica la tenacidad del material.

1.3 PRUEBA DE COMPRESION .

Los materiales frágiles generalmente son débiles a la tensión debido a fisuras submicroscópicas en estos materiales. El esfuerzo de tensión ayuda a la propagación de las fisuras que están orientadas perpendicularmente al eje de la fuerza aplicada. Estos materiales presentan una resistencia baja a la tensión y una alta resistencia a la compresión. La Fig. 1.5 muestra una comparación de la resistencia a la compresión

y a la tensión para fundición de hierro gris y concreto que son materiales frágiles .

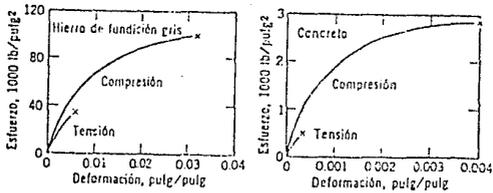


Fig. 1.5

La Fig. 1.6 muestra un diagrama esquemático de una prueba típica de compresión .

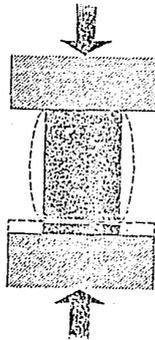


Fig. 1.6

En la prueba de compresión nunca se forman constricciones debido a que aumenta el área de la

sección transversal de la muestra. Los materiales muy diles raramente se prueban en compresión porque la fricción restringe la muestra en las zonas de contacto con las platinas del aparato, y ésta restricción produce una distribución de esfuerzos compleja analizable sólo en forma aproximada .

1.4 PRUEBA DE DUREZA .

La prueba de dureza mide la resistencia de un material a la penetración de un punzón o una cuchilla . El penetrador es una esfera, pirámide o cono de un material más duro que el que se ensaya. En éstas pruebas la carga se aplica al oprimir lentamente el penetrador perpendicularmente a la superficie ensayada durante un período determinado. De los resultados se puede obtener un valor empírico de dureza, conociendo la carga aplicada y el área de la sección transversal o la profundidad de la impresión . Estas pruebas nunca se hacen cerca del borde de la muestra , o cerca de otra penetración ya existente , la distancia mínima para efectuar una nueva penetración es de tres veces el

CAPITULO I

diámetro de la impresión anterior y el grueso de la probeta deberá ser por lo menos 10.5 veces la profundidad de la impresión .

La mayoría de las pruebas de dureza producen deformación plástica en el material y todas las variables que influyen en la deformación plástica la afectan . La prueba de dureza se realiza fácilmente y la información obtenida se evalúa inmediatamente, se emplea frecuentemente en control de calidad en producción.

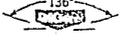
Prueba	Punta	Forma de penetración Vista lateral	Vista superior	Carga	Fórmula para número de dureza
Brinell	Esfera de 10mm de acero o carburo de tungsteno			P	$NOB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Pirámide de diamante			P	$NDV = 1.72 P/d_1^2$
Microdureza Knoop	Pirámide de diamante	 $l/b = 7.11$ $b/t = 4.00$		P	$NDK = 14.2 P/l^2$
Rockwell					
A } C } D }	Cono de diamante			60 kg 150 kg 100 kg	$R_A =$ $R_C =$ $R_D =$ } 100-500t
B } F } G }	Esfera de acero de 1/16" diámetro			100 kg 60 kg 150 kg	$R_B =$ $R_F =$ $R_G =$ } 130-500t
E }	Esfera de acero de 1/16" diámetro			100 kg	$R_E =$

Fig 1.7

1.5 PRUEBA DE IMPACTO .

La prueba de impacto mide la energía necesaria para romper una barra con muesca patrón por una carga bajo impulso y por tanto indica la tenacidad de un material en presencia de muescas y sometido a cargas de choque.

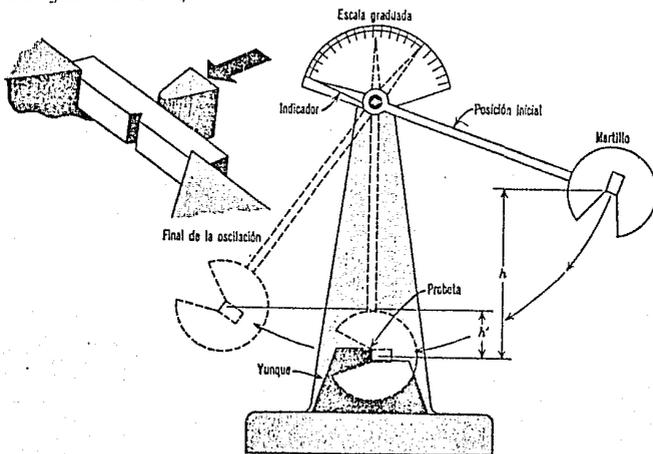


Fig. 1.8

En ésta prueba se libera un pesado péndulo p desde una altura conocida, golpeando y rompiendo la muestra antes de continuar su oscilación ascendente (fig. 1.8). Conociendo la masa del péndulo y la diferencia entre la altura inicial y final se puede

calcular la energía que se absorbe en la fractura .
 La concentración de esfuerzo en la base de la
 muesca produce una fractura con muy poca
 deformación plástica .

1.6 PRUEBA DE FATIGA .

la prueba de fatiga determina los esfuerzos de
 flexión que una muestra de un material con medidas
 patrón puede resistir durante un número determinado
 de ciclos .

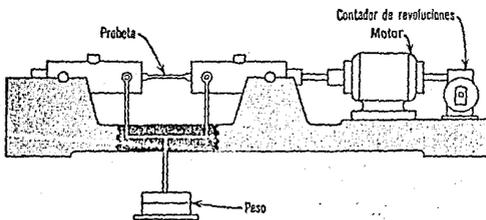


Fig. 1.9

En esta prueba la muestra se carga en flexión
 pura mientras gira, pasando así todos los puntos de
 la circunferencia de la sección transversal de la
 muestra, de un estado de compresión a uno de

tensión, constituyéndose así cada revolución en un ciclo completo de regresión de esfuerzos. En pruebas normales esto sucede varias miles de veces por minuto. Las probetas se prueban hasta romperse usando distintas cargas y se registra para cada una el número de ciclos antes de la ruptura, luego se trazan los datos en una gráfica de esfuerzo contra logaritmo del número de ciclos antes de la ruptura.

El límite de fatiga de un material es el valor de esfuerzo debajo del cual un material puede deformarse cíclicamente, por un número infinito de veces, sin romperse.

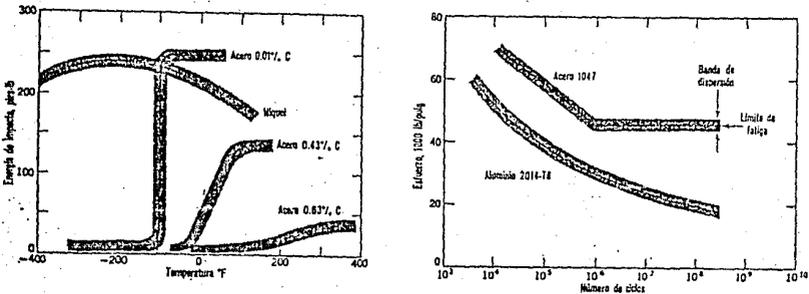


Fig. 1.10

Los valores obtenidos en la prueba de fatiga se ven afectados por varios factores y la curva S

CAPITULO I

vs N generalmente muestra una gran dispersión. Entre las variables que más influyen en la resistencia a la fatiga, probablemente el acabado superficial sea la más significativa. Las fisuras de fatiga se inician en la superficie de la muestra y a medida que se dá a esta un pulido más fino, la resistencia de la muestra a la fatiga aumenta. La resistencia a la fatiga aumenta si la superficie de la probeta se endurece por medios químicos o mecánicos que produzcan esfuerzos superficiales de compresión. Los límites de fatiga son más bajos en un medio corrosivo que en uno no corrosivo. Si se aplica un esfuerzo constante cuando la muestra se flexiona en forma alternada en tensión y compresión, la resistencia a la fatiga cambia. Un esfuerzo de tensión reduce la resistencia a la fatiga mientras que un esfuerzo constante de compresión la aumenta.

1.7 TERMOFLUENCIA Y RUPTURA BAJO ESFUERZO .

A la deformación como función del tiempo que sufren los materiales sometidos a un esfuerzo constante por períodos largos se le llama

termofluencia. La prueba de termofluencia se le considera de alta temperatura, es decir, a temperaturas absolutas arriba del 40% del punto de fusión. Una curva de termofluencia representa el alargamiento de una probeta de tracción contra el tiempo, para una temperatura y condiciones de carga o esfuerzo constantes.

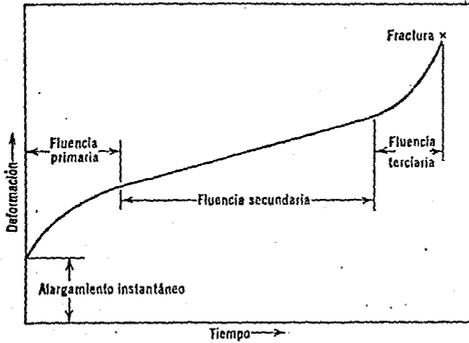


Fig. 11

La figura 1.11 representa una curva de deformación que muestra cuatro regiones de alargamiento: 1) alargamiento inicial, inmediato a la aplicación de la carga, 2) deformación transiente o primaria, 3) deformación a rapidez

constante o secundaria y 4) deformación terciaria. El proceso de fluencia puede considerarse como una interacción entre dos mecanismos : el endurecimiento por deformación y el de ablandamiento debido a procesos de recuperación como escalamiento de dislocaciones y deslizamiento cruzado activado térmicamente y difusión de vacancias.

La fluencia es sensible a la carga aplicada y temperatura de prueba. Aumentando el esfuerzo se eleva el nivel de la curva de fluencia, aumentando la temperatura se aumenta la velocidad de fluencia que aumenta el proceso de recuperación.

1.8 INSTRUMENTOS DE MEDICION .

Las pruebas mecánicas descritas en las secciones anteriores , requieren de instrumentos de medición que informen al investigador qué esfuerzo actúa sobre la muestra, qué deformación ha sufrido y a qué temperatura, etc. En esta sección describiremos brevemente las condiciones generales que implica una medición con énfasis en los instrumentos a utilizar, para el caso de pruebas mecánicas.

Una medición física es el acto de obtener información cuantitativa respecto a un objeto o acción física , mediante la comparación con una referencia . Esta definición señala tres elementos esenciales de la medición :

- a) objeto a medir -Cantidad o propiedad física a medir.
- b) Referencia o patrón -Cantidad o propiedad física respecto a la cual se hará la comparación .
- c) Comparador -Forma o modo de

contrastar el objeto
a medir y a la
referencia para
poder rendir un
juicio.

Hay varios tipos de mediciones , en unos se sobrepone o compara el objeto a medir con el patrón y sobre él se estima el valor o la medida del objeto , es una medición directa y requiere del uso de referencias calibradas. Otro tipo de medición consiste en usar un patrón para que haciendo algún tipo de proyección indirecta , por la cual se compare al objeto a medir , éste procedimiento se conoce como "medición de nulos" (o por comparación con cero) . Un ejemplo de éste método es el empleado para medir la intensidad luminosa de un foco , en él se compara contra un foco patrón , que no puede cambiar su intensidad , variando las distancias tanto del patrón como del foco, a una pantalla o a un detector , hasta que ambos producen efectos que no se pueden distinguir o que sus efectos puestos en contraposición se cancelan ; también es el caso de los vóltmetros

CAPITULO I

potenciométricos que comparan los efectos de una diferencia de potencial contra los efectos que causa la diferencia de potencial de una pila patrón, haciendo ajustes a un circuito hasta que un instrumento indicador marca cero . La medición es indirecta por que requiere de una teoría que explique el funcionamiento del proceso de medición y además la lectura numérica se hace interpretando el valor numérico de otro parámetro , por ejemplo : en el fotómetro se leen distancias para que por medio de la teoría del instrumento , se interpreten como intensidades luminosas; en el potenciómetro se leen resistencias para interpretarlas como voltajes.

1.9 OBJETIVOS DE UNA MEDICION.

a) INFORMACION:

-Cuantificar el objeto a medir .

b) REGISTRO:

-Proporcionar un perfil histórico del objeto estudiado para contrastarlo con lo que ha ocurrido en otros tiempos o en otras condiciones .

c) CONTROL:

-Cuando la medición se emplea como

criterio para retroalimentar un circuito cerrado de un sistema de control automático .

1.10 SISTEMAS DE MEDICION.

Un sistema de medición es el resultado del ajuste o acoplamiento de tres operaciones distintas:

- i- ADQUISICION DE INFORMACION.
- ii- PROCESAMIENTO DE INFORMACION.
- iii- SALIDA (o entrega) DE LA INFORMACION.

En la operación de adquisición de información , los sistemas de medición raramente responden directamente al objeto a medir y frecuentemente es conveniente, para el procesamiento de la información, que la cantidad física a medir se convierta a otra cantidad física por mediación de un "Transductor".

Un transductor es un instrumento que convierte una cantidad física en otra , por ejemplo una distancia en un voltaje , y se considera como la conjugación de una pieza de conversión ideal ,

CAPITULO I

unida a un elemento de pérdida o ganancia que introduce errores característicos. Los transductores son una parte esencial de los sistemas electromecánicos de medición.

En la Fig. 1.12, se muestra un diagrama de bloques de un sistema electromecánico de medición.



Fig. 1.12.

y consiste de :

Un transductor electromecánico - que responde a la excitación mecánica produciendo una señal eléctrica.

Equipo de acondicionamiento de la señal - que proporciona la referencia, la comparación y la

CAPITULO I

ganancia , si son requeridas .

Mostrador de salida (Readout) - que entrega al observador , la información resultante de la comparación entre referencia y objeto a medir.

Un Transductor Electromecánico, tiene dos partes : un elemento sensible y un elemento transductor . El elemento sensible responde a la excitación del objeto o cantidad a medir (por ejemplo la presión) y la convierte en otra cantidad física (si es necesario) , compatible con el transductor (por ejemplo desplazamiento).

EJEMPLO:

Tubos de Bourdon.

Fuelles.

Diafragmas.

Anillos de prueba.

Piñones y cremalleras.

Etc.

El elemento transductor , convierte la señal de salida del elemento sensible a una señal eléctrica .

1.11 ELEMENTOS TRANSDUCTORES.

Los elementos transductores pueden clasificarse en dos grupos generales :

Activos. -Que no requieren de una entrada eléctrica para producir una salida eléctrica- y Pasivos. -Que requieren de una entrada eléctrica para producir una salida eléctrica.

Ejemplos de transductores activos son: los elementos piezoeléctricos , que son ciertos cristales que por sí solos producen potenciales eléctricos cuando se les presiona.

Los elementos de inducción magnética , que trabajan en consecuencia de la ley de inducción de Faraday y consisten en conductores que movidos dentro de un campo magnético inhomogéneo , producen potenciales eléctricos . Son dinámicos y no pueden detectar mediciones de procesos estáticos (por ejemplo algunos tipos de micrófonos)

Transductores de inducción de reluctancia variable , que consisten de un devanado sobre un imán permanente en el que se aproxima una pieza de material ferroso , para alterar la reluctancia de

CAPITULO I

la trayectoria del flujo magnético y con eso inducir un voltaje en el devanado. También es dinámico y comúnmente se le usa en medidores de velocidad.

Ejemplos de transductores pasivos son: los potenciómetros de resistencia, que consisten de una resistencia variable conectada a una fuente de voltaje constante, como se muestra en la figura 1.13

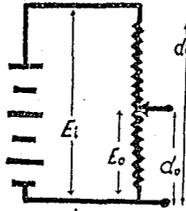


Fig. 1.13

Donde : E_o está en relación a E_i ,
Como la longitud D_o
está a la longitud D_1 .

Y por lo tanto E_o "mide" la distancia D_o ,
deslizada por el contacto C . Se usa para medir
desplazamientos largos y no son muy precisos, son

comunes en graficadoras y lectoras de gráficas .

Resistencias Medidoras de Deformacion (STRAIN GAGES) -Aprovechan el efecto de cambio de la resistencia de un conductor cuando se altera su geometría . En este caso al estirar un conductor y aumentar su longitud reduciéndose su sección transversal , aumenta la resistencia eléctrica , por lo que al medir la resistencia eléctrica del elemento sensible se tendrá alguna medida de su deformación . Para aumentar su eficiencia se hacen diseños adecuados , tendientes a lograr grandes cambios de la resistencia con pequeños cambios de la deformación (ver Fig. 1.14) .

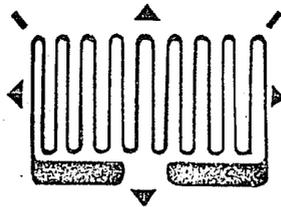


Fig. 1.14

Transformadores Diferenciales Variables
Lineales (LINEAR VARIABLE DIFFERENTIAL
TRANSFORMERS. L.V.D.T). Básicamente consisten en
transformadores con tres devanados : Un primario y

CAPITULO I

dos secundarios . Los devanados secundarios están simétricamente espaciados del primario , entorno a un tubo o hueco común . Las salidas de los secundarios se conectan externamente en un circuito en serie y en oposición , como se muestra en la Fig. 1.15 .

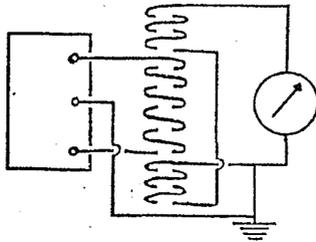


Fig. 1.15

El primario es excitado por una corriente alterna y por el tubo o hueco común a los tres devanados , se desplaza un núcleo de material magnético . La posición del núcleo , relativa a los devanados , hace que las inductancias mutuas de cada devanado secundario , con relación al primario, puedan ser distintas y en consecuencia los voltajes inducidos en los devanados secundarios también pueden ser distintos . Un desbalance de la posición del núcleo se traduce en un desbalance de

los voltajes inducidos en los secundarios y por el tipo de conexión en oposición, se traduce en un voltaje positivo o negativo, dependiendo hacia cual lado ocurra el desbalance de la posición del núcleo.

Celdas de Carga. Además de los transductores piezo eléctricos o cualquier otro instrumento que pueda medir fuerzas directamente, siempre es posible alterar el elemento sensible de un transductor electromecánico de desplazamiento, para que una fuerza se traduzca a un desplazamiento y el transductor lo convierta finalmente a una señal eléctrica. Esto puede lograrse aprovechando la ley de Hooke, usando materiales elásticos lineales, previamente calibrados, o mecanismos de palancas y contrapesos, como es el caso de algunas balanzas en las que el peso se traduce a un giro de la palanca, en la que la longitud efectiva de su brazo de palanca cambia, ese giro se aprovecha para producir un desplazamiento y éste traducirlo a una señal eléctrica (ver Fig. 1.16).

Muchas celdas de carga usan como elemento

transductor , un L.V.D.T. , algunos ejemplos se muestran en la Fig 1.16.

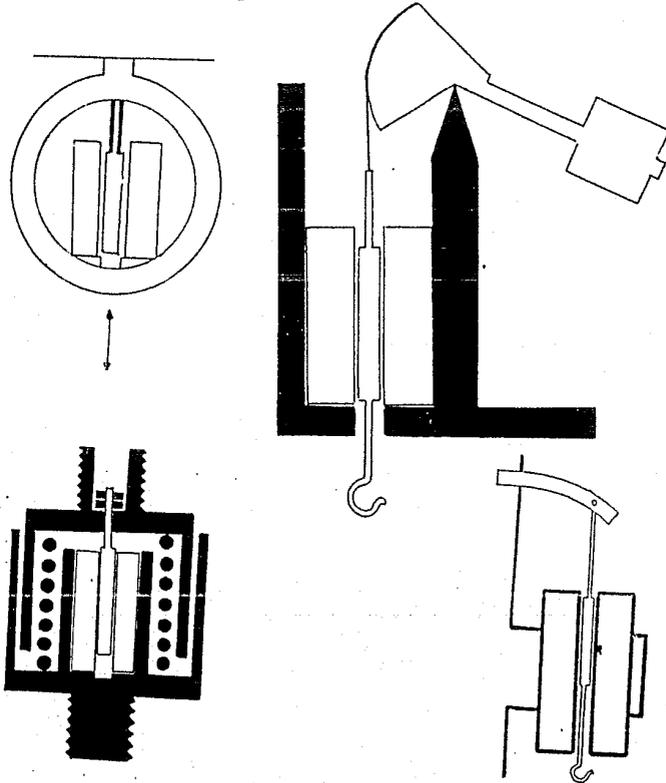


Fig. 1.16

Y mediante diafragmas , membranas , pistones , tubos de Bourdon , etc. , se pueden hacer

mediciones de presión (ver Fig. 1.17.

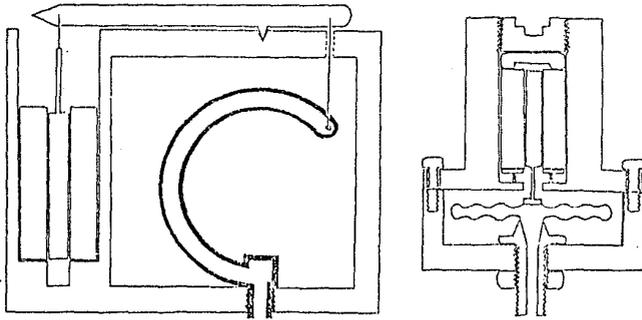


Fig. 1.17

La enorme sensibilidad de los modernas transductores electromecánicos hace posible construir máquinas para pruebas mecánicas en un amplio espectro de aplicaciones . En el desarrollo de éste trabajo , empleamos transductores electromecánicos tipo L.V.D.T. y celdas de carga , que nos permiten tener sensibilidades de gramos para la medición de fuerza , y de 1/1000 mm en la medición de desplazamiento.

CAPITULO II

NECESIDAD DE UNA MAQUINA AXIL DE TENSION Y COMPRESION DE VELOCIDAD CONSTANTE.

Desde hace algunos años, el grupo de Metalurgia del Instituto de Física de la U.N.A.M. , mantiene un proyecto de investigación relacionado con el efecto de las impurezas divalentes en las propiedades mecánicas de Halogenuros Alcalinos . Estos estudios requieren diversos tipos de pruebas mecánicas , por ejemplo para estudiar la resistencia a la deformación plástica hay que hacer pruebas de compresión a rapidez de deformación constante y si se desea investigar mecanismos de interacción dislocación - impureza, las pruebas de compresión deben hacerse en un amplio intervalo de velocidades de deformación y temperatura , tal es el caso de los estudios sobre el efecto Snoek o los estudios de relajación de esfuerzos o del efecto Portevin Le Chatelier, que se estudian en estos cristales a temperatura entre ambiente y 150°C, con velocidades de deformación entre 10^{-7} Seg⁻¹ y 10^1 Seg⁻¹ . En dichas pruebas se exigen cambios

repentinos a otras velocidades estacionarias o bien detener el movimiento y reiniciarlo a voluntad o según lo requiera el experimento . Por otro lado es común en estos estudios de compresión deformar la muestra hasta un 30% de su longitud original.

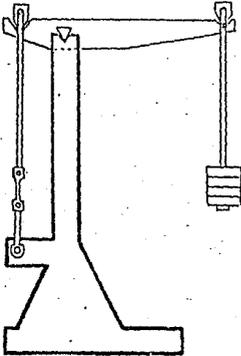


Fig. 2.1

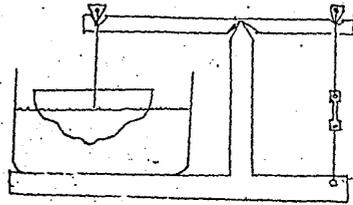


Fig. 2.2

Existen muchos tipos de máquinas para hacer pruebas de tensión o compresión , desde las más simples que consisten en colgar un objeto pesado de la probeta o que mediante una palanca multiplican la fuerza sobre la probeta .Fig 2.1 y que no tienen otro efecto que ejercer una fuerza constante sobre la probeta . Otras que mediante algún ingenio logran variar la fuerza en función del tiempo o de la deformación que haya sufrido la probeta .Fig 2.2

o que mediante el empleo de un brazo de palanca variable , cuyo perfil se diseña y construye adecuadamente al tipo de prueba y en funcion de las características de la probeta .Fig 2.3 ; por ejemplo las maquinas de termofluencia. Hasta las modernas máquinas dinámicas gobernadas electronicamente por circuitos de retroalimentación y que consiguen la fuerza con la que actúan sobre la probeta mediante el movimiento de tornillos ,Fig 1.1, o mediante la presión hidráulica que proporciona un poderoso compresor, Fig 2.4.

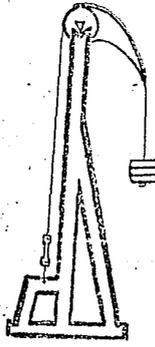


Fig. 2.3

Cada máquina tiene funciones limitadas por condiciones de diseño o construcción y no es posible hacer todo tipo de pruebas mecánicas con

una sola máquina. Las hay que sólo pueden hacer un tipo de prueba e incluso se diseñan para un tipo de probetas, como es el caso de las máquinas de termofluencia, en que el perfil del brazo de palanca es específico no solo para éste tipo de pruebas sino que depende de la geometría de la misma probeta.

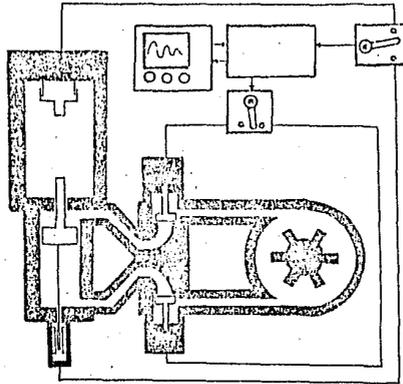


Fig. 2.4

En el laboratorio de pruebas mecánicas del Instituto de Física, se dispone de varias máquinas para hacer pruebas mecánicas de tensión y compresión: una máquina de tensión, Satec modelo JE, que proporciona una fuerza constante, Fig 2.1,

una máquina dinámica Instron modelo 1230, de acción hidráulica, fig. 2.4, tres que han sido diseñadas y construidas en el propio I.F.U.N.A.M.: una para pruebas de termofluencia (hoy en el laboratorio de Cuernavaca), Fig 2.3, otra que mediante un proceso manual de adición de peso (se agrega agua, a un recipiente apoyado sobre la probeta, en cantidades estipuladas mediante un cálculo por computadora ajustado a las necesidades del experimento), se consigue el esfuerzo requerido, Fig. 2.5, (diseñada por R Gómez Ramírez , J . Montemayor y E . Carrillo) y el prototipo de la máquina que es objeto de ésta tesis.



Fig. 2.5

Sin embargo ninguna de las primeras 4 máquinas mencionadas era adecuada a las necesidades específicas de análisis de los mecanismos de interacción dislocación impureza, pues debían considerarse los siguientes aspectos:

- i) El tamaño de las muestras.
- ii) La fragilidad de los sistemas a estudiar:
NaCl y KBr.

Con respecto al tamaño de los cristales, un estudio estadístico estableció una geometría de paralelogramos de 2.5×2.5 mm de base por 10 mm de alto (referencia 3), en los que había que aplicarles esfuerzos del orden de 2 a 10 Megapascuales, que se traducen a unos cuantos kilogramos fuerza sobre estas probetas y resulta que el "ruido" asociado al proceso de retroalimentación que controla a una máquina dinámica de acción hidráulica es de ese orden de magnitud, compitiendo desfavorablemente con la fuerza que deseábamos aplicar a la probeta. La dimensión del esfuerzo y la necesidad de reducir fluctuaciones a velocidades muy bajas no permitió el uso de la máquina dinámica de acción

CAPITULO II

hidráulica, una máquina de acción a tornillos, podría ser útil por tener un comportamiento más "suave" pero, no se pueden hacer rápidos cambios de velocidad de deformación con este tipo de máquinas y decidimos diseñar y construir una máquina adecuada.

CAPITULO III.

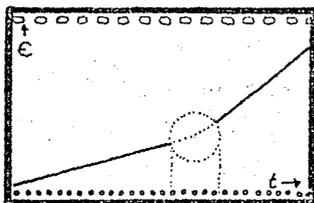
DEFINICION DEL PROBLEMA Y SU SOLUCION.

3.1 EXIGENCIAS IMPUESTAS A LA MÁQUINA:

Como se estableció en el capítulo II , en principio, la máquina debe ser capaz de deformar axialmente pequeñas probetas de NaCl de aproximadamente 10 mm de longitud y de $2.5 \times 2.5 \text{ mm}^2$ de sección transversal , para ello se requieren esfuerzos del orden de 2 a 10 Megapascuales y por lo tanto fuerzas del orden de 6.25 a 12.5 Nt; la deformación que ha de darse a la probeta debe reducirla entre un 10% y un 30%, con lo que el recorrido de la máquina debe ser del orden de 3 mm., este desplazamiento debe realizarse a velocidad constante, que podrá elegirse a voluntad entre 10^{-2} y 10^{-6} cm/seg. para que con las dimensiones del cristal se tengan velocidades de deformación del orden de 10^{-2} a 10^{-6} seg^{-1} .

Para que se puedan llevar a cabo experimentos de envejecimiento, de relajación de esfuerzos, efecto Snoek, etc. en los que es necesario hacer pruebas con cambios preestablecidos de velocidad de

deformación. Por información disponible en la literatura (referencia 4), esos cambios de velocidad se han logrado con máquinas sofisticadas y se reporta que el transitorio entre un régimen de velocidad y otro no ocupa más de $1/10$ de seg. (ver Fig. 3.1) , por lo que de ser posible , esta máquina, también debe poder hacer cambios de velocidad con transitorios de no más de $1/10$ de seg. de duración.



TRANSITORIO

Fig. 3.1

Para resumir , las exigencias impuestas a ésta máquina son:

- a) Debe poder aplicar fuerzas mayores que 50 kg fuerza.
- b) Debe poder deformar las probetas por un recorrido de más de 3 mm.
- c) La velocidad de desplazamiento debe ser

CAPITULO III

constante a elección entre 10^{-6} y 10^{-2} Cm/Seg.

d) Debe poder cambiar de velocidad de deformación con transitorios no mayores a 1/10 de seg.

Además de las exigencias de comportamiento mecánico, se necesitan en la máquina ciertas facilidades y comodidad para su manejo y que resulte versátil en cuanto a otros tipos de uso, por ejemplo debe ser posible hacer pruebas en que a los cristales se les deforme cuando estén sometidos a bajas temperaturas, etc. Estas cualidades independientes del comportamiento mecánico de la máquina se logran de diversas formas dependiendo de las aplicaciones específicas que se le den a la máquina y su solución es más un asunto de la experiencia y del arte del diseñador. Podemos señalar que un solo diseño no es capaz de resolver todas las complicaciones que arrojen los diferentes usos que se le quieran dar a estas máquinas. Nosotros solo hicimos arreglos para que la máquina pueda trabajar sobre cristales sometidos a diferentes temperaturas, desde 76 Kelvin, hasta 1000 Kelvin.

3.2 LA IDEA INICIAL .

Para resolver el problema planteado en el párrafo anterior , propusimos usar el efecto de la expansión termica de una barra de acero para presionar a las probetas y conseguir la deformación deseada en los cristales de NaCl. Como el coeficiente de expansión lineal termica del acero es del orden de $12 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, es suficiente incrementar $100 \text{ }^\circ\text{C}$ la temperatura de una barra de 1 m de largo para lograr una expansión de 1.2 mm por lo que es suficiente tener una barra entre 1 m y 3 m de largo y la posibilidad de calentarla entre $100 \text{ }^\circ\text{C}$ y $300 \text{ }^\circ\text{C}$, para lograr sobradamente los desplazamientos requeridos. Estas temperaturas pueden lograrse mediante el empleo de un simple horno eléctrico y si se toma la precaución de no sobrepasar estos limites de temperatura no se habrán degradado las propiedades mecánicas del acero, pudiendo todavía resistir esfuerzos considerables para garantizar un buen comportamiento mecánico que le permita resistir las fuerzas de hasta 50 Kg. fuerza. que se le exige, sin tener que recurrir a barras de secciones

transversales muy grandes o de materiales especiales.

Otro problema es conseguir la rapidez de deformación adecuada, sin embargo, dado que la dilatación de la barra es función de la temperatura, el problema de rapidez de deformación se traduce en un problema de rapidez de calentamiento. Controlando el calentamiento se gobierna la dilatación de la barra, pero si por alguna causa se calienta más de lo debido, retornar al comportamiento deseado, significa esperar a que la barra se enfríe y esto entorpece el control que deseamos sobre la deformación. Esta dificultad, indujo a proponer que la máquina debe constar de 2 barras que por dilatación térmica y un adecuado acoplamiento entre ellas se logre que una comprima y la otra reduzca el esfuerzo aplicado sobre la probeta, éste acoplamiento entre las barras se muestra esquemáticamente en la Fig. 3.2 .

CAPITULO III

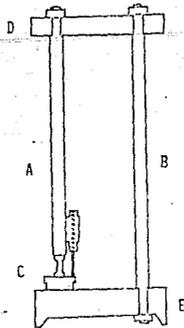


Fig. 3.2

La máquina consta de dos barras de acero paralelas rígidamente sujetas entre sí por el soporte (D), la barra (B) está también sujeta a la base (E), mientras que la barra (A) sólo se sujeta al soporte (D) quedando su otro extremo libre y dejando un espacio libre (C) entre ese extremo y la base (E). Si se calienta la barra (A) se expande reduciéndose el espacio libre (C), mientras que al calentar la barra (B) y expandirse, levanta al soporte (D) que a su vez levanta a la barra (A) aumentando el espacio libre (C) o espacio de trabajo, en el que se colocan tanto la probeta como los instrumentos de medición de fuerza y desplazamiento. A las barras las calientan un par de hornos; con la intención de lograr un proceso de calentamiento controlado y sutil, en un principio pensamos dividir los calefactores de los hornos en

varios segmentos como se indica en la figura 3.3. Se pretendía que por medio de la conexión y desconexión de los diferentes segmentos del calefactor pudiéramos aumentar las posibilidades de control de calentamiento y por lo mismo de la velocidad de dilatación de cada barra, se pensó en la intervención de una microcomputadora para lograr el gobierno de este proceso y sería asunto de la experiencia elegir las secuencias de encendido y apagado así como la potencia por suministrar para lograr los efectos deseados. Sin embargo, los cambios que se fueron sugiriendo durante el desarrollo del proyecto hicieron innecesario este mecanismo y no se llevó a la práctica.

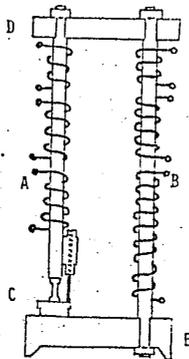


Fig. 3.3

Para probar la validez de las ideas originales, construimos un prototipo con el que ganamos experiencia y nos convencimos que la máquina podría funcionar y lograr el objetivo de deformar con rapidez constante y en un muy amplio intervalo de posibles velocidades de deformación entre los 10^{-2} y 10^6 Cm/Seg. , como lo deseábamos; pero difícilmente podríamos conseguir hacer cambios ágiles en el régimen de la velocidad de deformación. Una simple observación de la figura 3.4, hace comprender por qué no se consiguen cambios de rapidez de deformación lo suficientemente rápidos, ésta lentitud es consecuencia del necesario retardo que ocurre entre el momento en que se decide incrementar la temperatura del horno y el momento en que la barra logra incrementar la temperatura, pues para ello el calefactor del horno ha de calentarse y transmitir ese calor a la barra; transitando a través de todo el aislamiento y el espacio hueco, necesario para evitar el contacto eléctrico entre el calefactor y la barra. Nuestra experiencia con el prototipo

arrojó un tiempo de duración del transitorio de aproximadamente 4 Min. para cambiar la velocidad desde 10^{-6} hasta 10^5 Seg^{-1} . Comprendimos que de ésta forma no podíamos conseguir que los transitorios duren del orden de 1/10 de segundo.

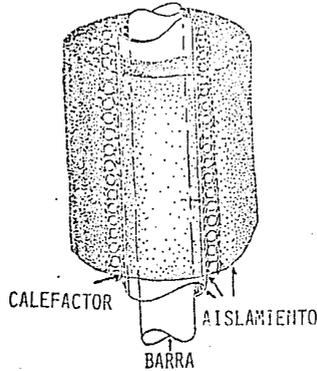


Fig. 3.4

3.3 LA PROPUESTA FINAL .

El análisis relatado en el inciso anterior, sugirió que para aprovechar el efecto de la dilatación térmica de una barra metálica para conseguir las deformaciones deseadas y a su vez lograr los cambios ágiles del régimen de velocidad, hay que minimizar el tiempo de retardo debido al tránsito de calor desde el horno a la barra, lo

mejor sera lograr que ese tiempo fuera cero y para ello habria que eliminar el horno y calentar directamente la barra, para esto basta con pasar una corriente por la barra. Para probar esta idea, construimos un segundo prototipo muy sencillo, con el que averiguamos que de esta manera se pueden conseguir esos cambios ágiles en el régimen de velocidad, pero surge el problema de meter y controlar una gran corriente eléctrica en una barra cuya resistencia eléctrica es muy pequeña.

En resumen, la proposición final fué hacer una máquina para pruebas axiales de deformación, que:

a) Aproveche la dilatación térmica de una barra metálica.

b) Que esa barra metálica se caliente directamente haciéndole pasar una corriente eléctrica adecuada y controlada.

Para entender el comportamiento de la máquina propuesta es necesario analizar el proceso de calentamiento de una barra metálica, esto será de

gran utilidad para el diseño de la maquina propuesta o de otra que para algun uso especifico funcione con el mismo principio, dado que del analisis se desprenden los parámetros y las características que hay que cuidar y controlar para lograr un tipo especifico de comportamiento.

La figura 3.5 , representa esquemáticamente a una barra metálica, aislada térmicamente y que va a ser calentada mediante el paso de una corriente eléctrica para expandirse y deformar a una probeta.

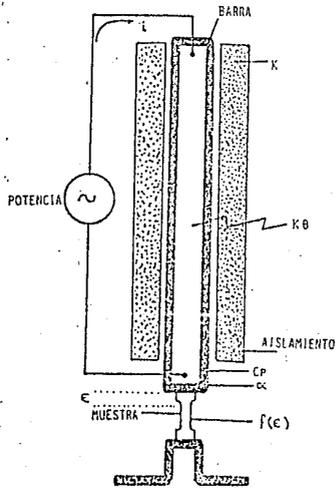


Fig. 3.5

Por lo que sabemos del comportamiento mecánico de los materiales cuando intentamos deformarlos, reaccionan con una fuerza que por lo general depende de la deformación y en cada caso particular presenta un comportamiento típico, que es el asunto de estudio de una prueba mecánica y por el momento ignoramos sus detalles y sólo lo representaremos como una función de la deformación :

$$f = f(\epsilon) \quad \text{---(3.1),}$$

en donde ϵ es la deformación de la probeta y por lo tanto, el trabajo para deformarla es :

$$W = \int f(\epsilon) d\epsilon \quad \text{---(3.2)}$$

y la potencia que se aplique en ello es:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt} \int f(\epsilon) d\epsilon \quad \text{---(3.3)}$$

que podemos escribir como :

$$\frac{dW}{dt} = \frac{d}{d\epsilon} \left\{ \int f(\epsilon) d\epsilon \right\} \frac{d\epsilon}{dt}$$

$$\therefore \frac{dW}{dt} = f(\epsilon) \frac{d\epsilon}{dt} \quad \text{---(3.4)}$$

Esta potencia es parte de la que se suministra eléctricamente al hacer pasar una corriente eléctrica por la barra, otra parte se consumirá en el calentamiento de la barra y algo de esa potencia se perderá escapando al exterior a través del aislamiento térmico de la envoltura de la barra, tal como se representa esquemáticamente en la figura 3.5; resultando un balance de la siguiente forma:

$$P = C \frac{d\theta}{dt} + K(\theta) + f(\epsilon) \frac{d\epsilon}{dt} \quad \text{--- (3.5)}$$

en donde P es la potencia suministrada eléctricamente a la barra.

$C \frac{d\theta}{dt}$ es la potencia aprovechada en calentar a la barra y dilatarla .

$K(\theta)$ es la potencia que escapa a través del aislamiento, es una función del incremento de la temperatura.

Θ es la diferencia de temperaturas entre la barra y el exterior.

C es la capacidad calorífica de la barra.

$f(\epsilon) \frac{d\epsilon}{dt}$ es la potencia empleada en deformar la probeta.

Además sabemos que al calentar una barra metálica, ésta se expande existiendo una relación entre la dilatación de la barra (que en este caso es ϵ , puesto que lo mismo que se deforma la probeta es lo que se expande la barra), y el incremento de temperatura Θ . Esta relación es:

$$\epsilon = \alpha l_0 \Theta \quad \text{---(3.6)}$$

con α el coeficiente de expansión lineal y l_0 la longitud inicial de la barra. Por comodidad llamaremos: $A = \alpha l_0$

$$\therefore \dot{\Theta} = \frac{\dot{\epsilon}}{A} \quad \text{---(3.7)}$$

por lo que sustituyendo en la ecuación (3.5)

tenemos ;

$$P = C \frac{d\epsilon}{dt} + K\left(\frac{\epsilon}{A}\right) + f(\epsilon) \frac{d\epsilon}{dt} \quad \text{--- (3.8)}$$

para una potencia eléctrica aplicada constante y A constante tenemos:

$$P = \frac{C}{A} \frac{d\epsilon}{dt} + K\left(\frac{\epsilon}{A}\right) + f(\epsilon) \frac{d\epsilon}{dt} \quad \text{--- (3.9)}$$

agrupando términos :

$$P = \left\{ \frac{C}{A} + f(\epsilon) \right\} \frac{d\epsilon}{dt} + K\left(\frac{\epsilon}{A}\right)$$

$$\frac{\frac{C}{A} + f(\epsilon)}{P - K\left(\frac{\epsilon}{A}\right)} \frac{d\epsilon}{dt} = 1$$

$$\therefore \int_0^t dt = \int_0^{\epsilon} \frac{\frac{C}{A} + f(\epsilon)}{P - K\left(\frac{\epsilon}{A}\right)} d\epsilon \quad \text{--- (3.10)}$$

ésta es la ecuación que describe el comportamiento de la máquina , relaciona la deformación ϵ con el tiempo t y para resolverla se requiere conocer

detalladamente tanto $K(\epsilon/A)$ como $f(\epsilon)$

Como las temperaturas a las que vamos a operar la maquina no sobrepasaran a los 300°C , porque no queremos comprometer el comportamiento mecánico de la barra, esperamos que la potencia radiada sea despreciable comparada con la potencia conducida a través de la envoltura aislante y en éste caso consideramos que:

$$K(\Theta) = K\Theta \quad \text{---(3.11)}$$

con K una constante de conductividad térmica de la envoltura aislante de la barra.

$$K\Theta = K\frac{\epsilon}{A} \quad \text{---(3.12)}$$

y la ecuación 3.10 la reducimos a:

$$\int_0^t dt = \int_0^\epsilon \frac{\frac{\epsilon}{A} + f(\epsilon)}{P - K\frac{\epsilon}{A}} d\epsilon \quad \text{---(3.13)}$$

Como $f(\epsilon)$ estará presente siempre que se intente deformar alguna probeta y generalmente

será una función desconocida o a lo más solo conocida gráficamente, la ecuación 3.13 solo se podrá integrar numericamente. Sin embargo, como elemento para el diseño de la máquina, es deseable conocer los límites entre los cuales puede variar este factor y estimarlo en términos aproximados, en función de los materiales y de las dimensiones de las probetas que ha de deformar la máquina y así poder apreciar en qué medida afecta al comportamiento de la máquina, para decidir su participación en los cálculos de diseño de la máquina. Con ésta intención analizaremos los siguientes casos particulares.

3.4 CASOS PARTICULARES .

El interés de éstos casos radica en la ayuda que proporcionan para comprender el comportamiento de la máquina y la interpretación adecuada de los factores importantes en el diseño de de la máquina.

1) CASO IDEAL .

Este caso corresponde a una dilatación libre en la que la máquina no trabaja contra alguna probeta y por éso $f(\odot) = 0$, además la barra se rodea con una envoltura aislante perfecta con conductividad térmica cero, $K = 0$; es ideal porque su comportamiento ofrece grandes ventajas en cuanto a la facilidad con que se le puede gobernar. Como objetivo tenemos diseñar una máquina lo más parecida a éste caso ideal.

Para esta situación la ecuación (3.10) se reduce a:

$$\int_0^t dt = \int_0^{\epsilon} \frac{C}{AP} d\epsilon = \frac{C}{AP} \int_0^{\epsilon} d\epsilon$$

$$\therefore \epsilon = \frac{AP}{C} t \quad \text{---(3.14)}$$

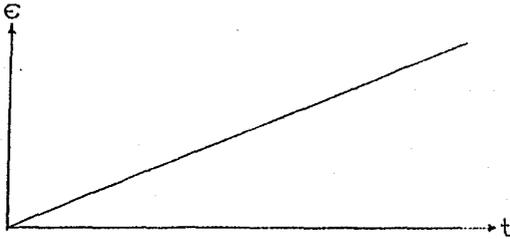


Fig. 3.6

su comportamiento es lineal, con pendiente:

$$m = \frac{d\epsilon}{dt} = \dot{\epsilon} = \frac{AP}{C}$$

además es una función lineal de la potencia eléctrica suministrada P y como $K = 0$ no hay fuga de potencia hacia el exterior y en este sentido es la más eficiente de las máquinas de este tipo.

II) MAQUINA LIBRE .

Corresponde a una dilatación libre, sin probeta que deformar, con $f(\epsilon) = 0$, pero con un aislante térmico convencional con $K \neq 0$. Este caso es interesante por ser el que podemos comprobar experimentalmente, sin las complicaciones que introduce la probeta, permite estimar algunos parámetros importantes en la descripción del comportamiento de la máquina y que deben entenderse para el buen diseño de la misma. En éste caso la ecuación (3.10) se reduce a:

$$\int_0^t dt = \int_0^{\epsilon} \frac{C}{P - \frac{K}{A}\epsilon} d\epsilon$$

sea :

$$u = P - \frac{K}{A}\epsilon \quad du = -\frac{K}{A} d\epsilon$$

$$\therefore \int_0^t dt = \int_0^{\epsilon} \frac{\frac{C}{A} \left(\frac{A}{K} \right) \left(-\frac{K}{A} \right)}{P - \frac{K}{A}\epsilon} d\epsilon = \frac{C}{K} \int_0^{\epsilon} \frac{-\frac{K}{A} d\epsilon}{P - \frac{K}{A}\epsilon}$$

$$\int_0^t dt = -\frac{C}{K} \int_{u=P}^{u=P - \frac{K}{A}\epsilon} \frac{du}{u} = -\frac{C}{K} \ln \left(\frac{P - \frac{K}{A}\epsilon}{P} \right)$$

$$\therefore e^{-\frac{k}{c}t} = \frac{P - \frac{k}{A}\epsilon}{P}$$

$$\epsilon = \frac{AP}{K} (1 - e^{-\frac{k}{c}t}) \quad \text{---(3.15)}$$

Es una curva de comportamiento asintótico que tiende a : $\epsilon = \frac{AP}{K}$ y que revela que para una potencia eléctrica fija , no habrá forma de sobrepasar ése valor de dilatación.

como :

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \dots$$

entonces

$$\epsilon = \frac{AP}{K} (1 - e^{-\frac{k}{c}t}) = \frac{AP}{K} \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{k}{c}t \right) + \frac{\left(\frac{k}{c}t \right)^2}{2!} + \dots \right] \right\}$$

y en primera aproximación

$$\epsilon \approx \frac{AP}{K} \left\{ 1 - 1 + \frac{k}{c}t \right\} = \frac{AP}{c} t$$

y si

$$K \longrightarrow 0$$

entonces

$$\epsilon \longrightarrow \frac{AP}{c} t$$

que nos remite al caso I) (IDEAL).

También, cuando apenas hemos iniciado el proceso de deformación, es decir, cuando el tiempo es "pequeño", entonces el comportamiento es lineal como se muestra en la Fig. 3.7.

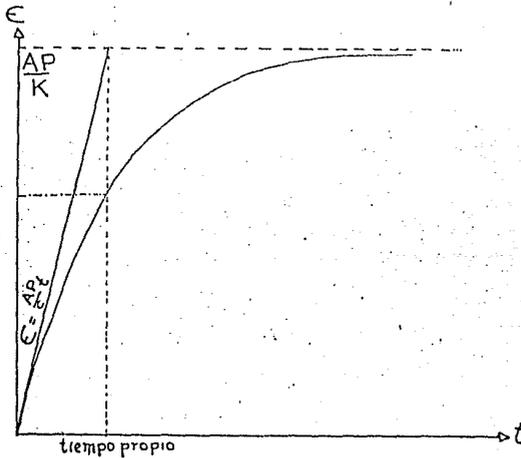


Fig. 3.7

Este caso muestra que hay un "tiempo propio" (o constante de tiempo), que no depende del trato que se le dé a la barra, es independiente de la potencia suministrada, pues se trata de una característica de aquella y su aislamiento térmico

y por definición: es el tiempo que transcurre desde el inicio del proceso hasta que la dilatación de la barra es tal que sólo le falte por recorrer $1/e$ veces la dilatación máxima posible, o sea, al tiempo propio la dilatación de la barra es:

$$\epsilon_p = \left(1 - \frac{1}{e}\right) \epsilon_{\text{MÁXIMA}} \quad \text{---(3.16)}$$

pero $\epsilon_{\text{MÁXIMA}} = \epsilon_{\text{ASINCRÓTICA}} = \frac{AP}{K}$

$$\epsilon_p = \left(1 - \frac{1}{e}\right) \frac{AP}{K} = \frac{AP}{K} \left(1 - e^{-\frac{K}{c} t_p}\right)$$

$$\frac{1}{e} = e^{-\frac{K}{c} t_p}$$

$$t_p = \frac{c}{K} \quad \text{---(3.17)}$$

Dado el interés que tenemos en el comportamiento lineal, es importante hacer una estimación de su duración. Como vimos antes, la dilatación puede aproximarse por:

$$E = \frac{AP}{K} \left\{ 1 - \left[1 + \left(-\frac{K}{C}t \right) + \frac{\left(-\frac{K}{C}t \right)^2}{2!} + \mathcal{O} \right] \right\}$$

\mathcal{O} representa términos de orden superior.

Diremos que el comportamiento es lineal, cuando el término $\left(-\frac{K}{C}t \right)^2 / 2!$ y los términos de orden superior \mathcal{O} , sean despreciables en comparación con el término lineal $\frac{K}{C}t$, o sea:

$$\frac{K}{C}t \gg \frac{K^2 t^2}{C^2 2!}$$

y para un caso práctico proponemos que "mucho mayor" significa 10 veces mayor, es decir, estamos en una aproximación lineal del 10%, con este criterio un tiempo máximo de comportamiento lineal " t_L " será aquel en que:

$$\frac{K}{C}t_L = 10 \frac{K^2 t_L^2}{C^2 2!}$$

$$\therefore t_L = 10 \frac{K t_L^2}{2C} = 5 \frac{K}{C} t_L^2$$

$$\therefore t_L = \frac{1}{5} \frac{C}{K}$$

$$\text{pero } \frac{C}{K} = t_p$$

$$t_L = \frac{1}{5} t_p \quad \text{---(3.18)}$$

en aproximación del 10%, el tiempo máximo de duración de la región lineal, corresponde a la quinta parte del tiempo propio.

III) TRABAJANDO CONTRA FRICCIÓN ESTÁTICA (FRICCIÓN SECA).

En éste caso suponemos que la probeta siempre se comporta oponiéndose a la deformación con una fuerza siempre igual, como si se tratara de una fuerza de fricción $f(C) = R_0 = \text{Cte.}$. Este caso aunque no corresponde a la realidad puede ser útil en el análisis que se haga previo a un diseño, para poder estimar el efecto que produce una probeta en el comportamiento de la máquina, cuando es poco lo que se sabe de la probeta, conociéndole solamente los valores extremos de la resistencia que opondrán a su deformación y esto como un dato estadístico, pero que puede ser suficiente para decidir si la

máquina será capaz de deformarla, o en su defecto, averiguar que modificaciones habra que hacer para que pueda realizar ese tipo de trabajo. En este caso la ecuacion 3.13 se reduce a:

$$\int_0^t dt = \int_0^{\epsilon} \frac{C/A + R_0}{P - \frac{K\epsilon}{A}} d\epsilon$$

sean : $u = P - \frac{K}{A}\epsilon$ $du = -\frac{K}{A} d\epsilon$

$$\int_0^t dt = -\left(\frac{C}{A} + R_0\right) \frac{A}{K} \int_{u=P}^{u=P-K\epsilon/A} \frac{du}{u}$$

$$t = -\left(\frac{C}{A} + R_0\right) \frac{A}{K} \ln\left(\frac{P - \frac{K}{A}\epsilon}{P}\right)$$

$$P e^{-\left(\frac{K}{C+AR_0}\right)t} = P - \frac{K\epsilon}{A}$$

$$\epsilon = \frac{A}{K} P \left(1 - e^{-\frac{K}{C+AR_0}t}\right) \quad \text{---(3.20)}$$

Es un caso muy parecido al anterior, también hay un comportamiento asintótico, que tiende al

mismo valor $\epsilon = \frac{AP}{K}$, que depende directamente de la potencia y por lo tanto, en terminos de este análisis, la deformación máxima que puede conseguirse no se ve afectada por la presencia de la probeta, pero el tiempo propio si resulta afectado y vale:

$$t_p = \frac{C + AR_0}{K} \quad \text{---(3.21)}$$

que será mayor al tiempo propio de la expansión libre:

$$t_p = \frac{C}{K}$$

y permanece válida la relación entre el tiempo de duración de la región de comportamiento lineal y el tiempo propio, siendo la quinta parte de éste, en aproximación del 10%, pero ahora el tiempo propio es otro.

En alguna medida es interesante el resultado de que la expansión máxima que se puede conseguir con este tipo de probeta, no dependa de ella, pues la intuición diría lo contrario. Este resultado es

consecuencia de la hipótesis simplista con la que se construyó el modelo. en particular, no se considera para nada cual es el comportamiento mecánico de la barra y solo se le atribuye la gran cualidad de expandirse linealmente en terminos de la temperatura, no se considera si su conducta se altera cuando se le somete a algun esfuerzo, y todo esto se manifiesta en ese tipo de respuesta en el que la deformación máxima no depende de la probeta.

IV) PROBETA TIPO RESORTE.

Este caso se parece al anterior pero es un poco más realista. Es interesante por el hecho de que muchas pruebas mecánicas persiguen la medición del punto de cedencia, debido a que es un punto fácilmente identificable y por lo tanto puede servir para igualar las condiciones a las que se hagan las pruebas mecánicas en un conjunto de probetas de características semejantes y usar los datos en forma estadística. El punto de cedencia es aquél que marca la separación entre el comportamiento elástico y el comportamiento plástico de la probeta y para algunos materiales

resulta fácilmente identificable en una gráfica de esfuerzo versus deformación. Como en muchos casos, el comportamiento elástico es lineal, el suponer una probeta tipo resorte es acertado y ahora nos puede ser útil para el análisis del comportamiento de la máquina en pruebas que pretendan detectar el punto de cedencia, sin embargo, hay que destacar que el comportamiento elástico en general se refiere a aquél en el que al suprimir la causa que produce la deformación, la probeta recupera su forma original y esto no significa que el comportamiento ha de ser lineal, como en el caso de un resorte. Para el caso lineal o probeta tipo resorte resulta que $f(\epsilon) = R \epsilon$ con R una constante, por lo que la ecuación (3.10) se reduce a:

$$\int_0^t dt = \int_0^\epsilon \frac{\frac{C}{A} + R\epsilon}{P + \frac{K}{A}\epsilon} d\epsilon$$

sean: $u = P - K \epsilon / A$; $du = -K d\epsilon / A$

$$\epsilon = (P - u) \frac{A}{K} ; d\epsilon = -\frac{A}{K} du$$

$$t = \int_{u=P}^{u=P - \frac{K}{A}\epsilon} \frac{\frac{C}{A} + R(P - u) \frac{A}{K}}{u} \left(-\frac{A}{K}\right) du + \int_{u=P}^{u=P - \frac{K}{A}\epsilon} \frac{R u \frac{A}{K}}{u} \left(\frac{A}{K}\right) du$$

$$t = \frac{A}{K} \left(\frac{C}{A} + RP \frac{A}{K} \right) \int_{u=P}^{u=P-\frac{K}{A}\epsilon} \frac{du}{u} + \frac{RA^2}{K^2} \int_{u=P}^{u=P-\frac{K}{A}\epsilon} du$$

$$t = \frac{A}{K} \left(\frac{C}{A} + RP \frac{A}{K} \right) \ln \left(\frac{P - \frac{K}{A}\epsilon}{P} \right) + \frac{RA^2}{K^2} \left(P - \frac{K}{A}\epsilon - P \right)$$

$$t = - \left(\frac{C}{K} + RP \frac{A^2}{K^2} \right) \ln \left(1 + \frac{K}{A}\epsilon \right) - R \frac{A}{K} \epsilon \quad \text{--- (3.22)}$$

que se puede reescribir :

$$\left(e^{-\frac{t}{\frac{C}{K} + RP \frac{A^2}{K^2}}} \right) \left(e^{\frac{R/K}{\frac{C}{K} + RP \frac{A^2}{K^2}} \epsilon} \right) = \left(1 - \frac{K}{AP} \epsilon \right)$$

$$e^{-\frac{t}{\frac{C}{K} + RP \frac{A^2}{K^2}}} = \left(1 - \frac{K}{AP} \epsilon \right) e^{\frac{R}{C + RP \frac{A^2}{K}} \epsilon} \quad \text{--- (3.23)}$$

en la que comprobamos que al tender R a cero, se recupera la expresión (3.15)

$$\lim_{R \rightarrow 0} e^{-\frac{t}{\frac{C}{K} + RP \frac{A^2}{K^2}}} \rightarrow e^{-\frac{K}{C} t} = \lim_{R \rightarrow 0} \left(1 - \frac{K}{AP} \epsilon \right) e^{\frac{R}{C + RP \frac{A^2}{K}} \epsilon}$$

$$e^{-\frac{K}{C}t} = \left(1 - \frac{K}{AP} \epsilon\right)$$

con lo que :

$$\epsilon = \frac{A}{K} P \left(1 - e^{-\frac{K}{C}t}\right)$$

que corresponde al comportamiento de la máquina libre (sin probeta, ecuación (3.15)).

En términos reales hay que comparar el valor de R (la constante de resorte) con el término $K C / A^2 P$ como lo sugiere la ecuación (3.23); para eso hicimos un programa en B.A.S.I.C para la computadora Hewlett Packard 9830 , cuyos resultados se resumen en las gráficas de la Fig. 3.8 y que representan una serie de curvas obtenidas con la ecuación 3.22 , para una máquina hipotética cuyos parámetros son : $A=1$, $C=1$, $K=1$, y trabajando siempre a la misma potencia $P=10$, pero variando los valores de R desde $100 K C / A^2 P$. hasta $R = 0,001 K C / A^2 P$. En todos los casos la máquina fué la misma. Usando la expresión 3.15 y exactamente con éstos mismos parametros se graficó la curva correspondiente a la máquina libre. Para efectos de comparación todas las curvas

se graficaron sobre la misma noja de papel y sin cambiar de escala.

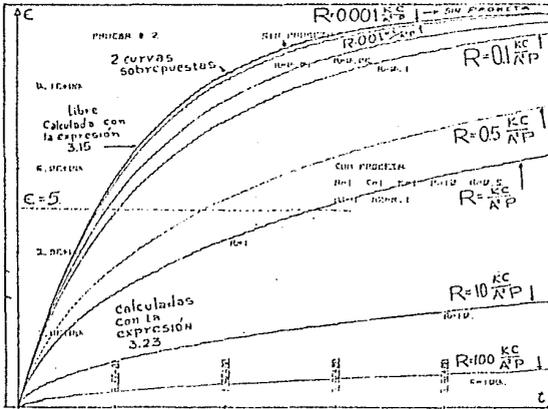


Fig. 3.8

Como se observa , los "tiempos propios" si resultan afectados por el valor de R; la tendencia hacia el comportamiento típico de la máquina libre se manifiesta por haber resultado encimadas la curva de comportamiento de la máquina libre con la gráfica correspondiente al valor de:

$$R = 0.001 \text{ K C} / \text{A}^2 \text{ P} .$$

Estas curvas son de gran utilidad en la estimación del comportamiento de la máquina y

servirá para hacer los cálculos correspondientes al diseño de cada máquina específica en la medida que sean confiables los valores de los parámetros A, C, y K ; por ello ofrecemos el programa que reproducimos junto con algunas indicaciones para su uso, en el Anexo 1.1

También resulta que para la misma máquina y la misma potencia , la dilatación máxima que puede obtenerse no depende de la probeta contra la cual trabaje y es igual a la dilatación máxima que puede obtenerse con la máquina libre. Esto justifica que todas las medidas que se hagan con los prototipos se realicen en condición de máquina libre y con ellas se caracterice, pues todas las curvas correspondientes a diferentes probetas tienen la misma asíntota de la máquina libre ($C \rightarrow AP / K$), ya que según la expresión (3.32) y tomando el límite cuando $C \rightarrow AP / K$ resulta:

$$\lim_{C \rightarrow \frac{AP}{K}} t = \lim_{C \rightarrow \frac{AP}{K}} \left\{ - \left(\frac{C}{K} + RP \frac{A^2}{K^2} \right) \ln \left(1 - \frac{K}{AP} C \right) - R \frac{A}{K} C \right\}$$

$$\lim_{C \rightarrow \frac{AP}{K}} t = \left\{ - \left(\frac{C}{K} - RP \frac{A^2}{K^2} \right) \ln \left(1 - \frac{K}{AP} \frac{AP}{K} \right) - R \frac{A}{K} \frac{AP}{K} \right\}$$

$$\lim_{\epsilon \rightarrow \frac{AP}{K}} t = \left\{ - \left(\frac{C}{K} + \frac{RPA^2}{K^2} \right) \left(\lim_{u \rightarrow 0} \ln(u) \right) \right\}$$

pero

$$\lim_{u \rightarrow 0} \ln(u) \rightarrow -\infty$$

$$\lim_{\epsilon \rightarrow \frac{AP}{K}} t \rightarrow \left\{ -(-\infty) \right\} = \infty$$

o sea $\epsilon \rightarrow AP / K$ en un tiempo infinito, tanto para la máquina libre como cargada con cualquier probeta tipo resorte.

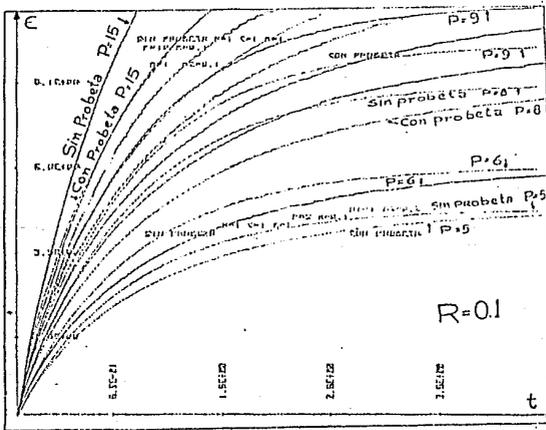


Fig 4.9

CAPITULO III

Una variante para el análisis del comportamiento de la maquina, cuando se enfrenta a trabajar deformando a una probeta tipo resorte, consiste en estudiar su comportamiento a diferentes potencias, pero trabajando contra una misma probeta, para este fin se recurrió al programa, manteniendo R constante y variando P (la potencia), los resultados se muestran en las graficas de la Fig. 3.9.

Notamos que el comportamiento de la maquina sin probeta (libre) no puede ser aproximado por el comportamiento de la máquina con probeta por medio de la simple variación de la potencia, sin embargo, para tiempos cortos o para deformaciones pequeñas, siempre en la región de comportamiento lineal, es posible lograr un comportamiento semejante al de la máquina libre, con la elección adecuada de la potencia.

También en éste intento de entender el comportamiento de la máquina cuando trabaja contra una probeta, se hizo un programa para graficar el tiempo que tarda la máquina en lograr un valor de

la deformación en función de la potencia suministrada. Estas curvas pueden ser útiles cuando se diseñe una máquina para deformar probetas de dimensiones específicas y a las que hay que deformar un porcentaje conocido de su longitud original y se desea estimar el tiempo que hay que esperar o las velocidades máximas que se pueden conseguir o, en todo caso, si es posible lograr esa deformación, y entonces saber que potencia hay que suministrar.

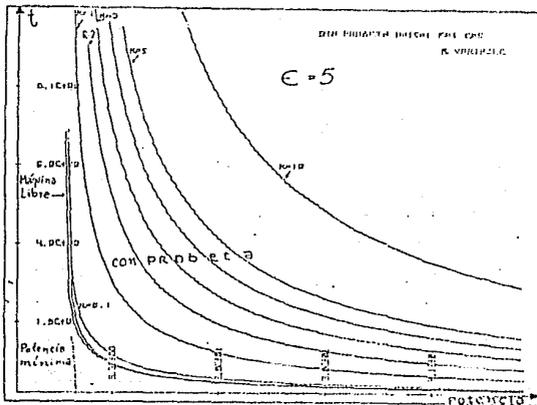


Fig. 3.10

Las gráficas que reproducimos en la Fig. 3.10, corresponden a un valor fijo arbitrario de la deformación ($\epsilon = 5$) que es el valor marcado con la línea punteada de la Fig. 3.8 y para la misma máquina hipotética que hemos estado analizando ($A=1$, $C=1$, $K=1$): las diferentes curvas corresponden a distintas probetas con valores de R que varían desde $R=10$ hasta $R=0.1$, también está graficada la curva que representa a la máquina libre, representada por la ecuación 3.15. Como se observa, a medida que $R \rightarrow 0$, el comportamiento tiende al de la máquina libre y los tiempos que hay que esperar para conseguir una deformación a un mismo tipo de probeta siempre son mayores, si la probeta es más "dura" (t mayor si R mayor). Como se ve, hay una potencia mínima a la cual la máquina puede lograr una deformación y con potencias menores no se obtendrá la deformación deseada.

En el anexo 1.2 proporcionamos un listado del programa que puede ser útil para hacer estos cálculos para otras máquinas, otras probetas, otras deformaciones y otras potencias.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

V) CASO GENERAL .

Los casos analizados anteriormente han sido aquellos en los que la integración no ofrece mayor dificultad, sin embargo, han sido suficientes para lograr una buena comprensión del comportamiento de la máquina. Los casos I y II son los más importantes dado que el primero es el ideal, al que debemos tender como comportamiento de estas máquinas; el segundo identifica los parámetros importantes y señala cuál es la información que debe medirse en un prototipo o que debe considerarse en el diseño; los casos restantes confirman ésta apreciación y hacen notar que el modelo es incompleto pues no incorpora el comportamiento mecánico de la barra, pero a favor del modelo podemos decir que $f(\mathbb{C})$ puede contener el comportamiento mecánico de la barra.

Sería útil, pero difícil de justificar, el análisis en abstracto de más casos en los que propusiéramos variantes tanto para $f(\mathbb{C})$ como para $K(\frac{\mathbb{C}}{\mathbb{A}})$, seguramente la integración no sería simple, y la interpretación se complicaría. Sin

embargo hemos hecho un programa de computadora en que tanto $f(\epsilon)$ como $K(\frac{\epsilon}{A})$ se dejan abiertos a la imaginación del usuario y también lo reportamos en el Anexo 1.3

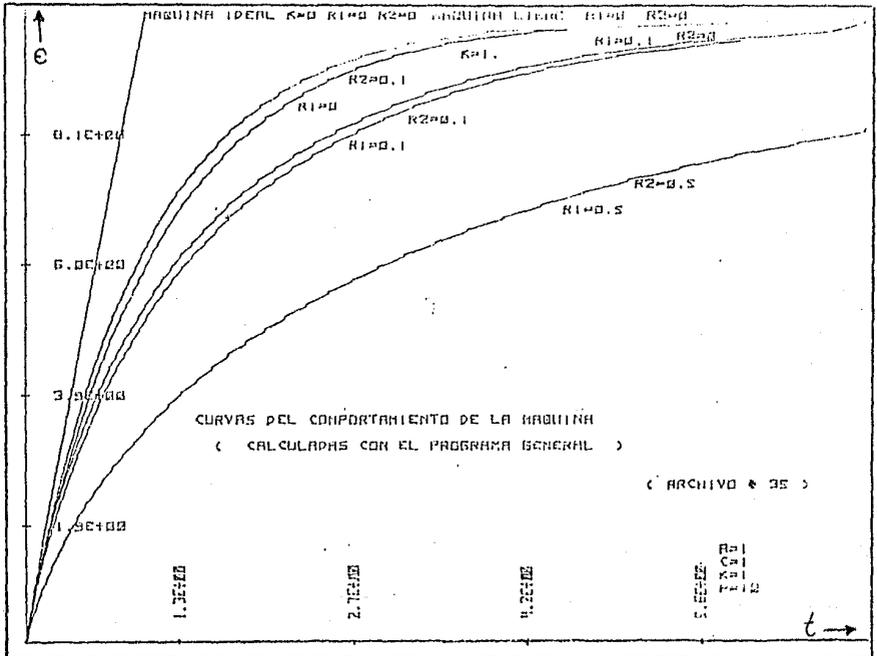


Fig. 3.11

Para la máquina que nos interesa construir son suficientes los casos I y II, y sólo añadiremos que

la gráfica de la Fig. 3.11 corresponde a una maquina hipotetica en la que $A=1$, $C=1$, $K=0$ (o $K=1$ según el caso), $F=10$ y R_1 y R_2 varían entre 0 y 0.5, con $F A / K = 0.1$ que fué calculada con éste programa general para un modelo en donde la probeta tiene un comportamiento más complejo que incorpora términos de fricción y de resorte (R_1 y R_2). El análisis de las curvas no añade más información que no sea el hecho de que R_1 afecta más que R_2 , siendo R_2 la constante del término disipativo y R_1 la constante del término elástico.

3.5 LOS PROTOTIPOS .

Se construyeron tres prototipos, los primeros se reseñaron brevemente en párrafos anteriores y sirvieron para construir el tercero, en el que se hicieron la mayoría de las mediciones que se reportan.

PRIMER PROTOTIPO

Este prototipo consta de tres barras metálicas, como se muestra en la Fig. 3.12, sólo dos de ellas (A) y (B) son activas en el proceso de dilatación y están rodeadas por sendos hornos (H1) y (H2), la tercera barra (C) sólo sirve de guía y desliza libremente en el hoyo (F), las tres barras están sujetas firmemente al soporte superior (D), la barra (A) también está firmemente sujeta por su otro extremo al soporte inferior (E), la barra (B) es más corta y en el espacio entre su extremo inferior y el soporte (E) se encuentra la zona de trabajo (G), la barra (C) pasa a través del soporte inferior (E) por el hoyo (F) que ajusta perfectamente al diámetro de la barra y tiene la función de guiar el movimiento paralelo de las

barras para evitar el pandeo que puede producirse en la barra (A), cuando al calentar la barra (B) ésta se expanda presionando a una probeta (P), como se ilustra esquemáticamente en la Fig 3.12.

En el primer prototipo, se probó la idea inicial, consistente en aprovechar la expansión térmica de una barra metálica y el resultado fué alentador, pero la rapidez del prototipo para cambiar de velocidad fué insatisfactoria, medimos retardos del orden de minutos entre el momento de cambiar la potencia suministrada al horno para iniciar un cambio de velocidad y el momento en que se había logrado una nueva velocidad estable. Sirvió para descubrir que:

- 1) Se necesita el calentamiento directo de las barras para lograr un cambio ágil en el régimen de velocidad.

- 2) Aprendimos a ser cuidadosos en el diseño de las partes mecánicas, pues para velocidades tan lentas, la experiencia cotidiana no es suficiente para intuir un buen mecanismo,

- 3) Aprendimos que los mecanismos más adecuados deben ser muy simples, sin muchas conexiones que potencialmente son mayores fuentes de error que se

enmascararan unos con otros y dificultan el analisis.

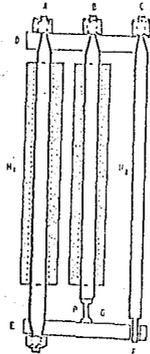


Fig. 3.12

Este fué un mal diseño porque: resultó que cualquier imperfección en el paralelismo de las caras de apoyo de las probetas o de las superficies de contacto de la barra (B), o de la base con la probeta, causan que se pandée la barra (B) resultando inútil la barra (C). Estos efectos son poco predecibles y no son considerados en el diseño hasta que un prototipo los revela, haciendo inevitable el tener que construir varios protipos para observar su funcionamiento y poder detectar defectos ocultos a la intuición y que solo la

experiencia revela. Para evitar el pandeo construimos este prototipo muy rígido, con barras sólidas de dos pulgadas de diámetro y eso también fué un estorbo cuando pretendimos pasar una corriente por las barras para calentarlas directamente.

SEGUNDO PROTOTIPO:

El segundo prototipo se construyó con la única intención de experimentar el calentamiento directo, mediante la inyección de una corriente eléctrica en las barras.

No pudimos usar el primer prototipo por dos causas: la primera fué que el primer prototipo era de construcción totalmente metálica, con uniones metal-metal y por lo tanto era imposible tener caminos aislados para cada corriente eléctrica y la segunda fue la rigidez de la máquina, con barras sólidas que exigen más potencia para calentarlas y su pequeña resistencia eléctrica hace muy difícil inyectar corrientes en las barras, pues exige una fuente con impedancia menor que la de las barras para que no compita con ellas en el consumo de potencia, de lo contrario se calentará más la

fuentes que las barras.

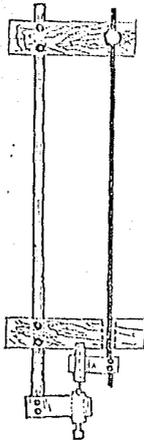


Fig. 3.13

Esta segunda máquina fue de construcción muy simple, se representa en la Fig. 3.13 y consta de dos bloques de madera y dos varillas de acero de media pulgada de diámetro, una de las varillas (A) está sujeta firmemente a los dos bloques de madera, que sirven de soporte y de aislamiento eléctrico, la otra varilla (B) sólo va sujeta firmemente por uno de sus extremos a uno de los bloques y es más corta que la otra varilla, para que en el espacio entre el otro bloque y el extremo libre de la varilla se coloque el L.V.D.T. que sirve para medir

CAPITULO III

el desplazamiento. La fuente de corriente fue el transformador de una "pistola de soldar" (de las que se usan en los talleres de electronica), activada por un autotransformador variable (Variac de 10 Amperes), usado para darle variabilidad a la corriente suministrada. Los resultados fueron excelentes, los cambios de velocidad se lograron con agilidad y sirvió para decidirmos a construir el tercer prototipo.

TERCER PROTOTIPO:

Despues de los resultados alentadores del prototipo anterior, modificamos el primero, eliminando las barras sólidas sustituyéndolas por tubos de acero de paredes delgadas (de los que se usan en las construcciones como ductos para los cables eléctricos "conduit"), de 2 pulgadas de diámetro y 1. m de longitud, el soporte superior lo seccionamos y sus partes las embebimos en hormogón dentro de una caja de acero, para conseguir el aislamiento eléctrico entre los tubos y también darle soporte mecánico, sin embargo, los tubos no ofrecieron la estabilidad mecánica suficiente por lo que hubo que soldarle una estructura exterior y

limitar el funcionamiento solo a compresión, lo que no fue ningún inconveniente, dado que la máquina es un prototipo de estudio y todo lo que queríamos aprender se pudo conseguir con ella. Para que el tubo (B) no se pandeara (ver Fig. 3.12), hicimos un hoyo en el soporte inferior (E) con la intención de que sirviera de guía, sin embargo, esta no fue una solución afortunada, presentó muchos problemas de funcionamiento (se atoraba debido a lo que llamaríamos "efecto de gato de Volks Wagen" y que explicamos en la Fig. 3.14); además el concepto de guía adquiere otro significado, dado lo pequeño que son los movimientos.

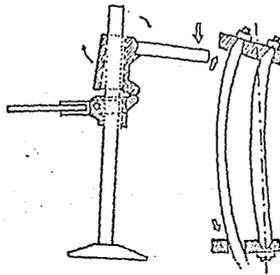


Fig. 3.14

Superada esta dificultad, en él se hicieron todas las pruebas que se reportan en este trabajo.

El tubo (B) se conectó mediante un

transformador de baja resistencia de salida, bajo voltaje de salida y hasta 500 amperes de corriente de salida (posteriormente se construyó otro transformador con hasta 1000 Amperes de salida) y un autotransformador variable "Variac" con el que controlamos la corriente inyectada al tubo. También lo forramos con dos tipos de aislante térmico: cinta de fibra de vidrio y lana de Fiber Flax, en otra ocasión lo metimos dentro de un tubo de material plástico (P.V.C.) que sellamos herméticamente para hacerle vacío con una bomba mecánica (10^{-3} Torr.); todo esto para probar su comportamiento termomecánico con diferentes aislamientos térmicos. Finalmente también la rodeamos de un horno eléctrico como "Guarda Térmica".

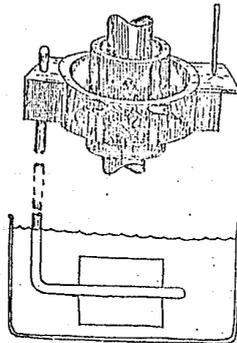


Fig. 3.15

CAPÍTULO III

Debido a imperfecciones en la construcción del prototipo y a la necesidad de instalar una celda de carga entre el extremo del tubo y la probeta, su alineamiento resultó deficiente y al hacer las pruebas de compresión en probetas reales, éstos desalineamientos dificultaron la correcta medición del desplazamiento, por esto se diseñó y construyó un soporte tipo junta universal (crucecita), que se esquematiza en la Fig. 3.15 y sirve para colocar el apoyo de referencia del transductor de desplazamientos (L.V.D.T.), que evita los efectos nocivos asociados a un extensómetro de soportes rígidos, que se explican en la Fig. 3.16.

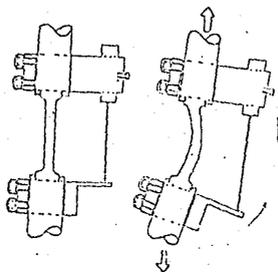


Fig. 3.16

Como consecuencia del análisis teórico, las mediciones experimentales que hicimos y suponiendo

que la máquina sigue un comportamiento lineal para una velocidad constante, resultaron como parámetros más importantes los siguientes: La elongación máxima $\epsilon_{m\acute{a}x} = A P / K$, y el tiempo propio $t_p = C / K$, ambos están relacionados con la posibilidad de conseguir los desplazamientos propuestos y a las velocidades requeridas, en ambos se involucran las características de los materiales con los que se ha de construir la máquina y la potencia que ha de consumir, por lo que son calculables de antemano y resultan tan confiables como lo sean los datos.

El desplazamiento máximo es función directa de la potencia suministrada y por ello no representa un problema de diseño, pero el tiempo propio, que es el que limita a la linealidad (en cuanto a su duración) no resulta gobernable por la potencia, sólo depende de las características de los materiales y de la geometría con la que se construye la máquina, resultando que se puede conseguir una constante de tiempo grande mediante:

- 1) Una mayor capacidad calorífica de la barra (o tubo) y,
- 2) Una menor conductividad térmica del aislante que envuelve a la barra o,

3) Eliminando la pérdida de potencia que se da hacia el exterior en forma de flujo de calor, a través del aislamiento, para que en la aproximación del caso II ($C/A \gg f(\epsilon)$), resulte el caso I ó ideal ($P=C/A \frac{dC}{dt}$) y la región lineal se extienda indefinidamente.

Una mayor capacidad calorífica se consigue buscando materiales adecuados y cambiando las dimensiones de la barra (o tubo), pero todo esto es limitado y también afecta las propiedades eléctricas de la barra, llevando el diseño a un compromiso en el que se consideren estos factores y también se decida en términos de la disponibilidad de éstos materiales y sus costos.

Una menor conductividad térmica en el material aislante se consigue haciendo las paredes más gruesas aunque hay un límite, pues calentar el aislante también consume energía. Buscamos, probamos y encontramos que lo mejor es hacer vacío entre la barra y el exterior, sin embargo éste proceso agrega costos tanto de materiales como de manufactura, no es posible hacer vacíos perfectos, persisten los mecanismos de pérdida de energía por

radiacion y tiene que haber puntos de soporte y contacto por donde escapa el calor.

El tercer caso que parece un caso ideal del segundo (y por lo tanto una quimera), no lo es si se considera tal como se propone: "eliminando la perdida de potencia", lo cual no tiene el único significado de aislar perfectamente ($K = 0$), pues también se consigue evitando la causa por la cuál ocurre ese flujo de calor: la diferencia de temperaturas entre la barra y el medio que lo rodea. Esto se obtiene fácilmente mediante un horno "Guarda Térmica", colocado alrededor de la barra y que ha de calentarse en forma tal que persiga a la temperatura de la barra; desde luego que éste horno también consume potencia, y en ocasiones más que la barra, pero la intención no es ahorrar energía sino darle linealidad (ilimitada) a la expansión térmica de la barra.

Con éste método se consigue una linealidad que será casi totalmente dependiente de la corriente que se inyecte a la barra y por ello se vuelve muy gobernable, pues el proceso de control del desplazamiento se realizará con la corriente inyectada a la barra y causará dilataciones que

resultarán casi independientes de los posibles efectos nocivos, derivados del otro proceso de control, por medio del cual se ajusta la temperatura del horno para que esta persiga a la temperatura de la barra y que, por su propia naturaleza, este proceso por si solo se amortigua, suavizando sus efectos. Se experimentó con este método y aunque el control de la temperatura del horno se realizó manualmente, corrigiendo la temperatura sólo cuando se observaba "algún" cambio en el comportamiento lineal de la expansión de la barra, el resultado fué excelente (se mostrará en la sección de pruebas y resultados).

Este método, sin descuidar los otros dos, es el que se recomienda cuando se quiera gobernar el comportamiento de la máquina mediante algún proceso automático, pues el ajuste para igualar las temperaturas del horno y la barra se puede hacer en forma independiente al proceso de gobierno de la expansión de la barra (control de la corriente en ella), con la enorme ventaja de que éste mecanismo siempre verá a la barra igual y siempre al mismo estímulo corresponderá la misma respuesta, independientemente de la historia o del trato

CAPITULO III

previo que se haya dado a la barra. Este comportamiento lineal se conseguira siempre que se cuide de no rebasar el limite de temperatura para la cual hay un buen comportamiento mecánico de la barra (o tubo expensor).

CAPITULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS .

4.1 Con el tercer prototipo hicimos las siguientes pruebas:

A) Varias curvas de desplazamiento contra tiempo, con la máquina libre (sin probeta):

i) Con distintas corrientes.

ii) Con distintos aislamientos:

-Sin aislamiento (al aire).

-con aislamiento de fibra de vidrio.

-con aislamiento de fibra de vidrio y Fiber Flax.

-con aislamiento de "vacío" .

iii) Con un horno (Guarda Térmica).

B) Varias curvas de desplazamiento contra tiempo, con la máquina libre, el horno (Guarda Térmica) y distintas potencias, para obtener la relación de velocidad contra potencia y para confirmar la posibilidad de hacer cambios de velocidad.

C) Varias curvas de deformación contra tiempo, con la máquina trabajando sobre probetas reales de NaCl y KBr con impurezas de Europio.

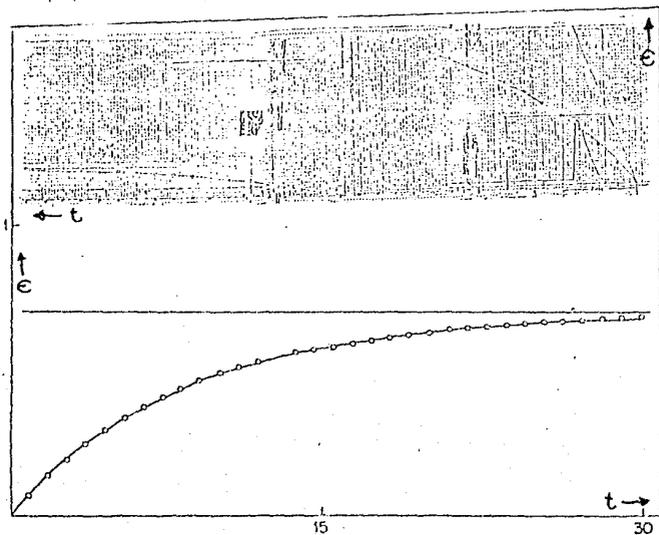
4.2 MEDICION DE LOS PARAMETROS DE LA MAQUINA .

Para conocer el comportamiento de la máquina hicimos las pruebas señaladas en el inciso A), de las primeras (A-1) hicimos una en la que se cuidó que la potencia suministrada a la máquina fuera aproximadamente constante (al calentar la barra cambia su resistencia eléctrica y por lo tanto, con el simple hecho de meter una corriente constante no se consigue que la potencia sea constante). Con los datos de la curva obtenida, se alimentó un programa de computadora (cuyo listado y sugerencias para su uso se reportan en el anexo 1.4) que, con el criterio de los mínimos cuadrados, los ajusta a una expresión del tipo:

$$E = C_1 (1 - e^{-C_2 t}) \quad \text{---4.1.}$$

en donde C_1 y C_2 son las constantes de ajuste. Los datos de la prueba fueron: 200 Amperes de corriente inyectados a un tubo de 1 m de longitud y los resultados se reportan en la gráfica de la Fig. 4.1, en que los círculos \odot señalan los puntos teóricos o ajustados, calculados con la expresión

4.1 y las constantes C_1 y C_2 estimadas por el programa. La curva continua es la gráfica de los datos experimentales obtenidos al hacer la prueba. Los resultados fueron excelentes, las constantes ajustadas por el programa fueron: $C_1=29.768$ y $C_2=1/11.758$ en unidades arbitrarias, correspondientes a longitudes medidas en cm., sobre el papel de la gráfica.



Los errores entre los valores calculados y los medidos en la gráfica, nunca excedieron al 3% del

valor medido en la gráfica. Con este procedimiento sólo pretendemos comprobar la hipótesis de que la energía radiada no afecta apreciablemente el comportamiento de la máquina. Para calcular las constantes C_1 y C_2 el programa pide una primera estimación de esos parámetros, generamos un método gráfico para dar la estimación de dichos parámetros y que consiste en :

a) Hacer una prueba dejándola correr el suficiente tiempo, hasta que en la gráfica de desplazamiento contra tiempo, no se detecte cambio en el desplazamiento.

b) Trazar la asíntota, paralela al eje del tiempo (t) e intersectarla con el eje de deformación (ϵ). Su altura respecto al origen, estima el valor de C_1 .

c) Dividir el valor de C_1 entre el número "e" y así calcular $h = C_1 / e$, restarlo del valor de C_1 para marcar el punto P sobre el eje vertical (ver Fig. 4.2).

d) Trazar desde F una recta paralela al eje horizontal (t), hasta que intersecte a la curva de deformación y marcar en ese sitio el punto Q (ver Fig. 4.2).

e) trazar desde Q una recta vertical, hasta que intersecte a la asíntota, marcando el punto R y por el otro lado intersecte al eje horizontal (t), marcando el punto T. La distancia desde el origen hasta el punto T, es una estimación del tiempo propio.

f) Trazar desde el origen hasta el punto R, una recta, que es tangente a la curva de deformación y que representa el comportamiento de la máquina ideal (a esa potencia), la pendiente de esa recta $\overline{RTp} / \overline{OTp}$ es una estimación del producto $C1 \times C2$:

$$C1 \times C2 = \overline{RTp} / \overline{OTp}$$

por lo que ese producto estima el comportamiento de la máquina ideal y el recíproco de $C2$ es una estimación del tiempo propio.

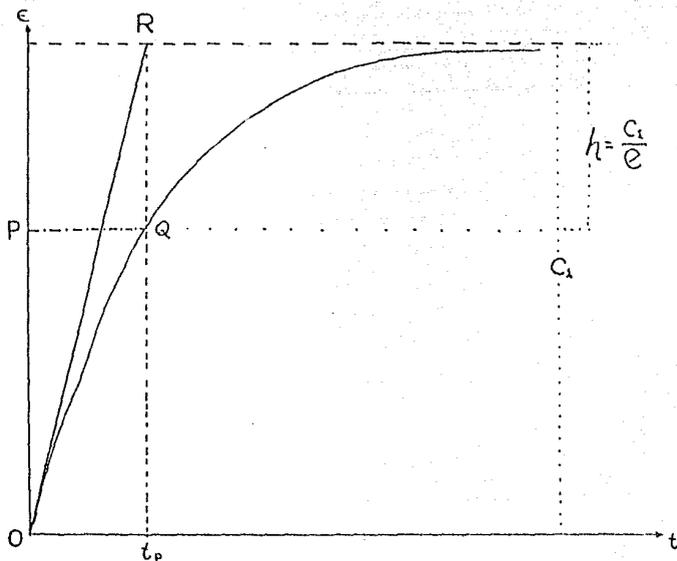


Fig. 4.2

Por la ecuación 3.15:

$$E = \frac{AP}{K} (1 - e^{-\frac{K}{C}t}) \quad \text{---(3.15)}$$

y comparándola con la ecuación 4.1:

$$E = C_1 (1 - e^{-C_2 t}) \quad \text{---(4.1)}$$

resulta que $C_1 = AP / K$ y $C_2 = K / C$ y como conocemos la potencia podemos estimar los parámetros A/K y K/C de la máquina.

Comparando los resultados estimados mediante el ajuste y los medidos directamente por el método gráfico encontramos que éste es suficiente para la determinación de los parámetros C1 y C2. La diferencia no justifica el trabajo de cálculo, pues los errores en la misma obtención de la gráfica y su lectura son mayores que la precisión que puede dar el método gráfico.

A-ii) Al probar distintos aislamientos, se encontró que en relación al caso de la barra sin forro o expuesta al aire: El tiempo propio aumentó casi al doble cuando solo se forró con cinta de fibra de vidrio, aumentó en una y media veces cuando además se le envolvió con una tela de lana de Fiber Flax, pero éste último tiempo se duplicó cuando metimos la barra dentro de un tubo de plástico (P.V.C.) y se hizo vacío (ver Fig. 4.3) a nivel de bomba mecánica (aproximadamente 10^{-2} Torr), de lo que concluimos que es mejor aislar haciendo vacío. Después de muchas pruebas en las que no hicimos vacío y subimos mucho la temperatura, la cubierta de plástico se deterioró y la eliminamos, por lo que recomendamos usar una

cubierta para vacío hecha de otro tipo de material y procurar aislarla electricamente de la barra.

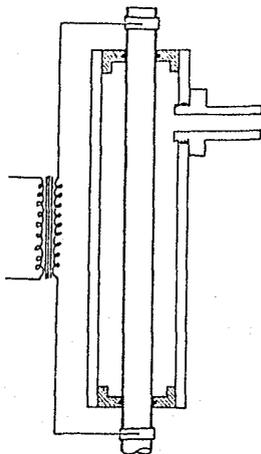


Fig. 4.3

4.3- COMPARACION DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA CONTRA LAS CARACTERISTICAS EXIGIDAS .

A-iii) Finalmente, al probar el comportamiento de la barra forrada con cinta de fibra de vidrio y sobre esta embovinada una resistencia eléctrica como elemento calefactor, para así construir la "Guarda Térmica", el resultado fué muy convincente, ya que la región lineal se extendió casi

indefinidamente, pues sólo la limita la temperatura a la cual la barra pierde sus propiedades mecánicas (con un recorrido de 5mm para una barra de 3m.).

Los resultados pueden apreciarse en la Fig. 4.4 , que es una calca fiel de la gráfica obtenida experimentalmente y representada por la curva (2), mientras que la curva (1) representa el proceso de expansión de la barra, en condiciones parecidas pero sin corriente en la resistencia del horno y que reproducimos juntas para facilitar su comparación. En ambos casos la corriente que se inyectó a la barra fue de 200 Amperes. La curva (1) rápidamente va a la región de comportamiento asintótico y en la curva (2) esto no ocurre, su comportamiento es lineal y así se le mantuvo a voluntad (segmento AB). Al interrumpir la corriente en la barra, la expansión también se detuvo (segmento BC) y no detectamos cambios en la deformación que fueran mayores que 0.001 mm, pero al reinstalar la misma corriente de 200 Amperes en la barra, ésta reaccionó inmediatamente y recuperó la misma velocidad de expansión (segmento CD). La simple observación de la Fig. 4.4, es

suficiente para comprender la enorme ventaja que proporciona la Guarda Térmica, pues aunque en éste caso el horno se controló manualmente (con todos los defectos que se pueden asociar a una observación personal, a las lentas reacciones humanas y a una decisión de respuesta, definida solamente por el criterio del operador), el resultado es excelente. El punto (A) corresponde al momento en que se metió una corriente de 1.5 Amperes en el horno, los puntos (C) señalan los sitios donde se hizo alguna corrección de la corriente del horno (aumentarla o disminuirla según el caso), se puede apreciar en la gráfica, el proceso de aprendizaje del operador, pues las últimas correcciones fueron más oportunas y más eficientes, hasta que en la última corrección (D), en la que la corriente del horno llegó a 5 Amperes, muestra lo acertado de su valor para llevarlo hasta la temperatura de la barra, como se comprueba por el hecho de que en el punto (B), cuando se interrumpió la corriente eléctrica, la barra dejó de expandirse, por encontrarse en equilibrio térmico con el horno.

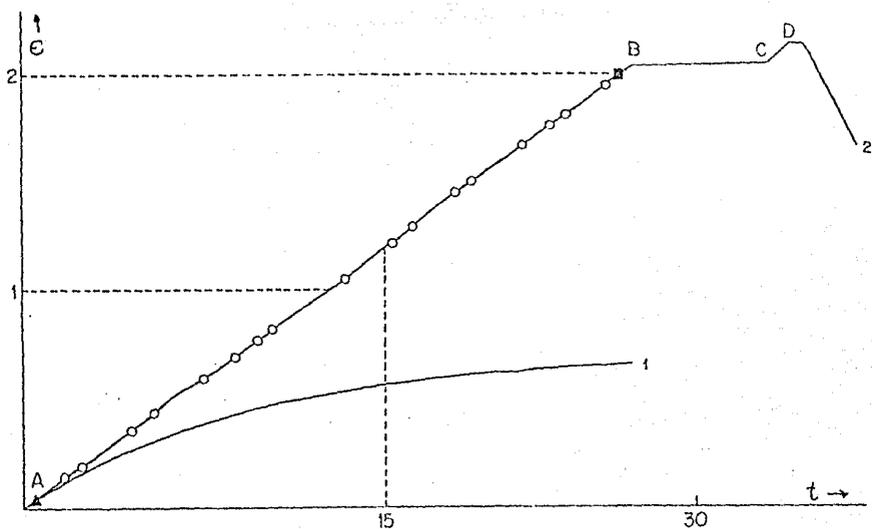


Fig. 4.4

También se intentó conocer la rapidez con que se pueden lograr cambios de velocidad, o sea, cuánto tiempo tarda la barra en pasar de una velocidad de expansión estable, a otra velocidad estable, para ello colocamos dos fuentes de alimentación a un conmutador que podía mandar hacia la barra y a voluntad del operador, la corriente de una fuente o de la otra; también se conectó la salida de la señal del detector de desplazamiento a una de las entradas de una graficadora de doble traza (Hewlett Packard modelo 7100 Bm) y en la otra

entrada se conectó la señal del proceso de conmutación, como se muestra en la Fig. 4.5.

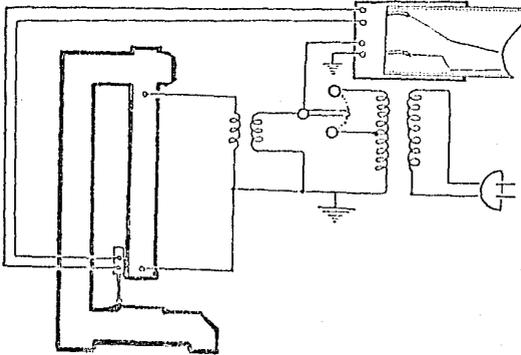


Fig. 4.5

El resultado confirmó que los tiempos de respuesta son menores a $1/10$ de seg, pues comparando la gráfica de respuesta de desplazamiento vs t , con la gráfica de conmutación vs t , no detectamos retraso (ver Fig. 4.6). No es posible medir esos tiempos por éste método ya que en el procedimiento están involucrados tiempos, como el de conmutación y el de respuesta de la graficadora, que son del mismo orden de magnitud ($1/10$ de seg.).

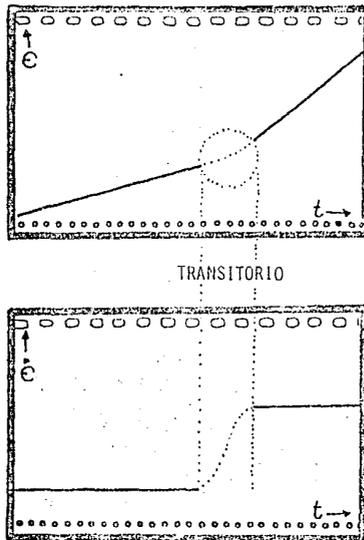


Fig. 4.6

Con la intención de confirmar que la máquina es capaz de realizar cambios bruscos de velocidad, colocamos entre el extremo libre de la barra y la base, una pastilla de fonógrafo que a su vez fué conectada a un amplificador de audio y este a una de las parejas de bornes de entrada de un osciloscopio de doble traza, en la otra pareja de bornes del osciloscopio se conectó la salida de la fuente de alimentación de la barra, como se muestra en la Fig. 4.7 .

CAPITULO IV

Se alimentó a la barra con distintas corrientes alternas hasta de 500 Amperes y frecuencia de 60 Hertz y en el osciloscopio se observaron simultáneamente las dos señales. Una, la de la fuente de alimentación fue senoidal, de 60 Hertz; la respuesta de la pastilla de fonógrafo, fue una señal periódica muy distorsionada, de 120 Hertz, precisamente del doble de la frecuencia de la señal de alimentación. Cuando variamos la amplitud de la señal de alimentación también varió, y en el mismo sentido, la señal de la pastilla de fonógrafo; cuando la amplitud de la corriente de alimentación de la barra fue muy grande la señal de respuesta en la pastilla de fonógrafo también creció pero se distorsionó más.

Para cerciorarnos de que la señal en la pastilla de fonógrafo correspondía a un efecto de dilatación de la barra, colocamos la pastilla en otros sitios de la estructura, donde fuera fácil detectar una vibración y el resultado fue negativo: no hubo señal en la pastilla de fonógrafo, independientemente de la amplitud de la señal de excitación en la corriente de la barra. Esto

comprobó que lo antes observado no era una vibración en la estructura y que si correspondía a una dilatación de la barra (lo confirma el hecho de que la frecuencia de la señal de respuesta es del doble de la frecuencia de la señal de excitación, como corresponde al efecto de que al calentarse la barra, lo mismo se expande en el medio ciclo positivo como en el medio ciclo negativo de la corriente, haciendo un efecto no lineal de rectificación de la señal y por lo tanto los 120 Hertz corresponden a una frecuencia de pulsación o beats).

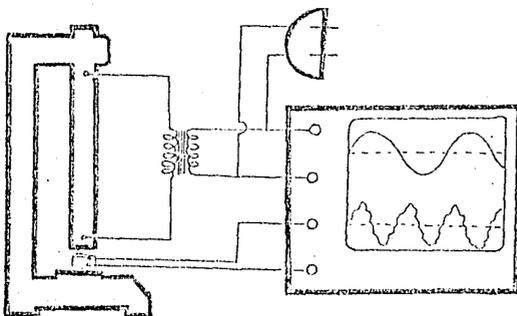


Fig. 4.7

Este experimento arrojó sólo resultados

cualitativos que hacen suponer que la máquina es capaz de responder rápidamente a cambios de la velocidad de expansión, y nos recordo el hecho de que la barra puede vibrar con sus modos normales de y puede resonar. Aunque desafortunadamente no hicimos mediciones de estos efectos, conviene mencionarlos para que se tengan presentes cuando alguien tenga necesidad de diseñar otra de estas máquinas para usos específicos en que éstos efectos puedan ser importantes por ser nocivos o por ser buscados. Por otro lado, en nuestro caso, cuando se trate de controlar a la máquina por mecanismos de retroalimentación, las resonancias pueden afectar. Además señala la necesidad de que para un gobierno muy suave de la máquina, la fuente de alimentación debe ser de corriente directa, rectificadora y filtrada.

De los resultados reportados en la gráfica de la Fig. 4.4 que se obtuvieron operando a la máquina con la "Guarda Térmica" (horno), gobernándola manualmente y metiéndole distintas potencias, hay que señalar que para la curva (2) y en los tramos AB y CD, la velocidad de expansión de la máquina

CAPITULO IV

resultó de 1.3×10^{-4} cm/seg., con una corriente en la barra de 200 A y una potencia de 130 Watt. y con una potencia en el calefactor del horno, del orden de 270 Watt.. De esta forma se verificó que la máquina se comporta de acuerdo a lo previsto, es capaz de hacer cambios de velocidad y también puede regresar a un régimen de velocidad preestablecido, simplemente reponiendo la corriente en la barra.

En cuanto al hecho de que no analizamos qué tan grande es el esfuerzo que puede ejercer la barra sobre una probeta, las pruebas que se hicieron sobre cristales de NaCl, acreditan su buen comportamiento, sus características superan las que se le impusieron en el capítulo II. Por otra parte, un cálculo simplificado, permite estimar una cota para la máxima fuerza que se puede ejercer: suponiendo que toda la potencia suministrada a la barra, se consume en dilatarla y si:

P es la potencia suministrada a la barra.

V es la velocidad de dilatación.

F es la fuerza.

Como $P = F \times V$, entonces $F = P / V$
y para el caso de una prueba típica en que la

corriente es de 200 Amperes, la potencia es $P = 130$ Watt, tomando como velocidad la medida para un comportamiento de maquina libre, que correspondió a 1.3×10^{-4} cm/seg., por lo que la fuerza disponible en el extremo de la barra es:

$130 \text{ Watt} / 1.3 \times 10^{-4} \text{ (cm/seg.)} = 1.02 \times 10^7 \text{ Kgf.}$
 O sea como fuerza máxima se dispondrá de 10200 toneladas de fuerza ($1.02 \times 10^5 \text{ MN}$).

Esta fuerza es enorme y sólo señala lo ingenuo del cálculo, para mejorarlo habría que conocer: el calor específico de la barra y la temperatura a que llega; el tiempo que tarda en calentarse y saber si el calor específico cambia con la temperatura; considerar el calentamiento del aislamiento y lo que se calentó el ambiente, etc.. Todo esto incluirlo en el cálculo anterior, sin embargo, estimo que habría una fuerza muy grande como para que la propia barra fuera capaz de soportarla, por lo que parece inútil hacer una estimación de esto y sólo debe ser suficiente conocer el dato de la máxima fuerza de compresión que puede soportar la barra a la máxima temperatura a la que va a operar compararla con la máxima fuerza que va a resistir

CAPITULO IV

la probeta durante el estudio, con objeto de que se dé una tolerancia que garantice una deformación de la probeta 10 veces mayor a la de la barra y con ésta precaución se pueda tener un proceso de medición de la deformación más fácil y seguro.

4.4- COMPORTAMIENTO DE LA MAQUINA EN PRUEBAS TIPICAS .

Se hicieron pruebas de deformacion vs tiempo , comprimiendo probetas de NaCl y KBr con impurezas de Europio, con dimensiones de 10 mm de alto por 2.5 mm de ancho por 2.5 mm de grueso. Los resultados de este tipo de pruebas se reportaron en trabajos anteriores (ver referencia 5). Esto es un testimonio del buen comportamiento de la máquina pues los resultados reportados no muestran ninguna anomalía que pudiera ser imputable a la conducta de la máquina, por lo que el comportamiento de la máquina es tan bueno como el de las otras máquinas convencionales.

Para terminar y como resumen de toda la experiencia obtenida con los 3 prototipos,

proponemos un diseño que mostramos esquemáticamente en la Fig. 4.8. En este diseño se manifiesta la preocupación por resolver los problemas del funcionamiento mecánico de la máquina; estos problemas se agudizan cuando hay una mala ejecución del trabajo de construcción de la máquina, por eso el nuevo diseño pretende, hasta donde sea posible, garantizar un buen funcionamiento de la máquina. En este diseño se procuró que los trabajos de construcción se puedan ejecutar en un modesto taller de tipo convencional, que no requiera herramientas sofisticadas, ni habilidades extraordinarias de parte de los operadores.



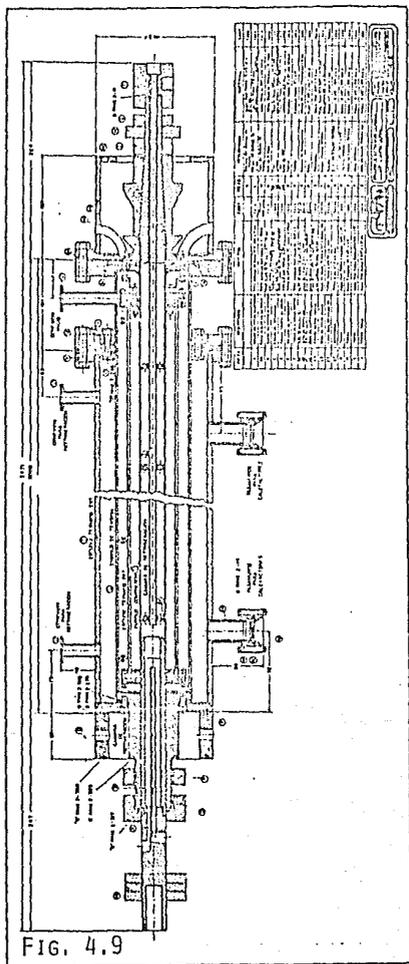
Fig. 4.8

El problema principal de funcionamiento mecánico se resume en un problema de alineación, del cual derivan gran parte de los demás y para resolverlo de una manera simple, que asegure un buen resultado, proponemos un diseño simétrico, que se logra mediante un sistema de tubos coaxiales. Esencialmente consta de dos tubos coaxiales, uno para hacer el trabajo de compresión y el otro para hacer el trabajo de liberación de esfuerzo sobre la probeta, el resto del diseño consta de los adecuados sistemas de soporte mecánico, de aislamiento eléctrico, térmico y de medición de fuerza y desplazamiento.

El plano principal de esta nueva máquina se muestra en la Fig. 4.9 y actualmente se está construyendo un modelo en los talleres del

CAPITULO IV

Instituto de Fisica de la Universidad Nacional
Autónoma de México .



Programa para obtener una serie de graficas de t vs ϵ . Para analizar el comportamiento de una barra (o tubo), con aislamiento termico, calentada mediante la inyeccion de una corriente electrica y que actua sobre una probeta tipo resorte, o que, a voluntad del usuario actua libremente (sin probeta). El programa corresponde a un modelo gobernado por la ecuacion 3.22.

$$t = -\left(\frac{C}{K} + RP \frac{A^2}{K^2}\right) \ln\left(1 - \frac{K}{AP} \epsilon\right) - R \frac{A}{K} \epsilon$$

donde :

- t = tiempo
- ϵ = deformacion $\mu\epsilon$ en el programa.
- $A = \alpha l_0$, siendo l_0 la longitud original de la barra y α el coeficiente de expansion lineal.
- C = capacidad calorifica de la barra (cubo)
- K = conductividad termica del aislamiento.
- R = constante de "resorte" de la probeta.
- P = potencia electrica suministrada a la barra mediante la inyeccion de una corriente electrica.

Quando el usuario opta por el proceso "libre", o sin probeta, el modelo es otro, se cambia a que lo gobierna la ecuacion 3.15.

$$\epsilon = \frac{AP}{K} \left(1 - e^{-\frac{K}{C} t}\right)$$

El programa pide, como entrada de datos, los números reales A , C , K , que corresponden a los mismos parámetros marcados con las mismas letras en las ecuaciones antes mencionadas, exige que $K \ll A$ y en diferentes ocasiones pide la potencia P y la constante de resorte R , para que a voluntad del usuario se obtengan diferentes curvas que pueden dibujarse juntas o por separado. Para facilitar el manejo del programa y como éste puede usarse de muy diversas formas, anexo un diagrama de flujo del proceso de lectura (o de formas alternativas de uso del programa).

Por las limitaciones del sistema de despliegue de información de la calculadora, para la que se hizo el

programa , los mensajes que se mandan al usuario resultaron muy confusos , haciéndose necesario aclararlos y por ello también se anexa una lista de los mensajes , acompañados de textos aclaratorios . También se anexa un listado del programa , realizado en E.C.A.5.1.C. , para que pueda ser copiado o modificado . Existe una copia grabada en cinta magnetica (casete), que reside en el archivo # 19, de la cinta "usuarios varios" y es adecuado a las necesidades de la calculadora HP 9711.

COMPLEMENTO DE LOS MENSAJES ENVIADOS POR LA CALCULADORA

MENSAJE :	COMPLEMENTO :
DAME A,C,K	Pide que introduzcan los valores numéricos correspondientes a esas variables , deben ir en ese orden y separados por comas (AL FINAL SIEMPRE SE PRESIONA EXECUTE
OTROS DATOS K > A	Pide se vuelvan a meter los datos de esas variables pues están equivocados , exige que el valor de k sea mayor que el valor de A. Si no se cumple esa condición el programa no pasará de ese sitio.
DAME P	Pide introduzcan el valor numérico de la variable P
DAME R DEL ORDEN DE --	Pide el valor numérico de la variable R (sugiere el orden de magnitud) .
QUIERES LA CURVA SIN PROBETA PON O	Interroga al usuario pidiendo información respecto del tipo de proceso que va a hacer. la respuesta del usuario será numérica, entendiéndose que el número CERO "0", ordena se ejecute el proceso correspondiente a "MAQUINA LIBRE" (sin probeta) Cualquier otro número se interpreta como una orden de ejecución del proceso de trabajo contra una probeta TIPO RESORTE.

MARCA O SI QUIERES
OTRO VALOR DE R

Interroga al usuario manifieste si intenta repetir el proceso pero ahora con un nuevo valor para R, el usuario marcará un CERO (0) si repite y con otro número si no repite.

MARCA O SI QUIERES
OTRO VALOR DE P

Interroga al usuario para saber si desea repetir el proceso pero ahora con un nuevo valor de P (también en este caso puede alterarse el valor de R) El usuario responderá marcando un CERO (0) si desea repetir ese proceso, y con cualquier número si NO desea repetir ese proceso y terminar la sesión

MARCA O PARA GRAFICAR
DENTRO DE LOS LIMITES
ANTERIORES

Interroga al usuario para saber si desea que la nueva grafica que se va a procesar, lo haga en el mismo papel y dentro del mismo marco, límites y escalas de la grafica que fue dibujada previamente (en caso de existir una anterior, de lo contrario el usuario responderá negativamente). La respuesta será numérica, correspondiendo el CERO (0) a la orden de dibujar las curvas en el mismo papel, otro número se interpreta dibujando la nueva grafica por separado. Para la nueva gráfica se redefinirán límites y escalas y se usara nuevo papel. (el usuario debe consultar el manual de la graficadora para colocar papel y marcar los límites del marco.

PON O SI NO IMPRIMES
VALORES

Interroga al usuario para saber si desea se imprima la lista de los valores numericos de las coordenadas (t,E) de los puntos que va a graficar. La respuesta será el numero CERO (0) para para que NO se imprima la lista y otro número para imprimirla.

El siguiente mensaje lo envia a traves de la impresora (es muy largo y no cabe en la pequeña pantalla de mensajes de la calculadora).

PRENDE Y DEFINE LOS
LIMITE DE LA GRAFICA,
SI ALTERAS LIMITE,
DAME XMIN XMAX YMIN
YMAX SI NO MARCA 3.1416,
0,0,0

Ordena al usuario que active la impresora coloque el papel y defina hasta donde va a correr la gráfica (consulta el manual de la graficadora) y si desea alterar los valores numericos que definen el marco dentro del cual se dibujará la gráfica , lo ordena introduciendo los nuevos valores de los puntos que definen el vértice inferior izquierdo (XMIN, YMIN) y el vértice superior derecho (XMAX, YMAX) , en el siguiente orden : XMIN, XMAX, YMIN, YMAX, separados por comas. Si no quiere cambios lo ordena introduciendo los datos : 3.1416, 0, 0, 0 exactamente así y en ese orden.

En la pantallita de mensajes :

SI ESTAN MARCADOS LOS
EJES Y LOS RESPETAS
MARCA 3.1416

Los ejes no son el marco, en ocasiones los ejes se dibujan sobre el origen (0,0), pero hay casos en que el origen queda fuera del marco y por lo tanto hay que decidir otro sitio por donde trazar los ejes de referencia. La máquina interroga al usuario para saber si están marcados los ejes y así le conviene al usuario, en cuyo caso lo indicará introduciendo el número 3.1416, cualquier otro número se interpretará , desencadenando el proceso de captura de la nueva información que manifieste la voluntad del usuario para la colocación de los ejes de referencia en un punto dentro del marco.

SI QUIERES LETRAS DAME
SU ALTO (EN % TAMANO
PAPEL) SI NO MARCA 0

Interroga al usuario si va a sobreponer en la gráfica, algún mensaje escrito, el usuario responderá introduciendo un número que de valer cero (0) se entenderá que no habrá letrero, pero cualquier otro número se interpreta como el tamaño de las letras en un porcentaje del tamaño de la hoja de

NO ACEPTO LETRAS TAN GRANDES REPITA V1

papel (10 o 15 % es un buen tamaño)

La calculadora comunica al usuario que ha elegido mal el tamaño de las letras ($> 18.4\%$) y los letreros no caben. Ahora deberá reintroducir un nuevo dato para el alto de las letras cuidando no exceda del 18.4% o de lo contrario el programa no pasará de este punto.

DAME EL NUMERO DE MARCAS EN X Y EN Y

La computadora pide al usuario le diga cuantas marcas ha de poner sobre el eje X y cuantas sobre el eje Y. El usuario responderá introduciendo dos números enteros separados por comas (por ejemplo 5,5 es bueno).

NO CABEN LETRAS TAN GRANDES EN LOS ESPACIOS REPITA V1

La computadora comunica al usuario que las letras son muy grandes y no caben en los espacios reservados para cotas sobre las marcas de los ejes y debe reintroducir un nuevo valor numérico para especificar el tamaño de las letras (la computadora puede quedarse en este punto si no se satisface adecuadamente este requisito).

DAME LA RAZON DE ESVELTES (ALTO / ANCHO) (CONVIENE 1,7)

La computadora pide al usuario le indique la proporción alto / ancho que desea tengan las letras y le recomienda sea de 1.7. El usuario responderá introduciendo un número real.

DAME LA RAZON (ALTO / ANCHO) DEL PAPEL (CONVIENE 1)

La computadora interroga al usuario cual es la razón de escalas entre el eje vertical y el eje horizontal y recomienda que sea 1. Una razón distinta de la unidad causa que una circunferencia matemáticamente perfecta, resulte dibujada como una elipse. El usuario responderá introduciendo un número real.

MARCA LOS EJES ENTRE ----- Y -----

Este es un complemento a una pregunta anterior, cuando los ejes naturales no caen dentro del marco y pide al usuario que señale las coordenadas de un punto

dentro del marco, sobre el cual trazará los ejes auxiliares. El usuario responderá introduciendo un par de números reales, separados por comas.

LETREROS

Con este mensaje la computadora señala al usuario que es la oportunidad de imprimir notas en la gráfica. No hay límite en la extensión de los letreros, el usuario deberá colocar la pluma de la grafiadora en el punto de su elección y escribir el o los letreros. Este proceso puede repetirlo a voluntad y para interrumpirlo el usuario deberá presionar la tecla EXECUTE. La computadora terminará la sesión.

ANEXO 1.2

Programa para obtener una serie de gráficas de P vs t .
Para analizar el comportamiento de una barra (o tubo)
metálica , con aislamiento térmico , calentada directamente
mediante la inyección de una corriente eléctrica y que actúa
comprimiendo a una probeta tipo resorte o libremente (sin
probeta).

Cuando el programa modela el comportamiento de la barra
actuando sobre la probeta tipo resorte , lo hace gobernado
por la ecuación 3.22 .

$$t = -\left(\frac{C}{K} + RP \frac{A^2}{K^2}\right) \ln\left(1 - \frac{K}{AP} \epsilon\right) - R \frac{A}{K} \epsilon \quad 3.22$$

Cuando el programa modela el comportamiento de la barra
cuando no actúa sobre alguna probeta (libremente) , lo hace
gobernado por la ecuación 3.15 .

$$\epsilon = \frac{AP}{K} \left(1 - e^{-\frac{K}{C} t}\right) \quad 3.15$$

Con: t = Tiempo.

ε = Deformación (E en el programa).

A = α l₀, siendo l₀ la longitud original de la
barra y α el coeficiente de expansión lineal.

C = Capacidad calorífica de la barra (o tubo).

R = Constante de "resorte" de la probeta.

K = Conductividad térmica del aislamiento.

P = Potencia eléctrica , suministrada a la barra
mediante la inyección de una corriente eléctrica.

El programa encuentra el tiempo (t) que tarda la barra
en lograr una deformación , previamente determinada , en la
probeta (expansión en la barra) y a consecuencia de una
potencia fija , suministrada a la barra . Hace la gráfica del
tiempo consumido en lograr la expansión en función de la
potencia y es posible dibujar en la misma gráfica , las
curvas correspondientes al comportamiento de la barra ,
actuando sobre diferentes probetas , pero para la misma
deformación.

Este programa es una modificación del descrito en el
anexo 1.1 y muchas de las variables y parámetros que usa son
los mismos , por lo que para su descripción nos referiremos
al anexo 1.1 .

ANEXO 1.2

El programa pide los datos A, C, K (ver anexo 1.1) y envía una serie de mensajes al usuario, de los cuales sólo dará una explicación para aquellos que no hayan sido explicados en el anexo 1.1.

MENSAJE	COMPLEMENTO :
OTROS DATOS K/A DAME E,R	Ver anexo 1.1 La computadora pide al usuario le de el valor de la deformación (E) que ha de conseguir y la constante de resorte (R) de la probeta. El usuario responde introduciendo dos números reales, separados por una coma y en ese orden
CONOCES PMAX DAMELO SI NO 3.1416	Quando han sido procesadas otras curvas, con otros parámetros y se conoce el valor de la potencia máxima que puede representarse en el marco de las gráficas anteriores y la nueva curva ha de sobreponerse a las anteriores en la misma gráfica, debe darse su valor numérico, pero cuando es la primera gráfica y se ignora la potencia máxima, entonces debe introducirse el número 3.1416 para que la calculadora estime ese máximo y le sugiera al usuario un valor aproximado.
DAME PMAX DEL ORDEN > DE -----	La calculadora pide al usuario que introduzca un nuevo valor de la potencia máxima, para usarla en la definición del marco de referencia donde se dibujarán las curvas de P vs t.
PON 0 SI DIBUJAS CURVA SIN PROBETA	Ver anexo 1.1
MARCA 0 SI QUERES OTROS VALOS DE E Y R	Quando el usuario quiere dibujar otra curva sobre las ya existentes, debe marcar el número cero (0) para que la computadora desencadene el nuevo proceso, pida nuevos datos etc. en caso contrario, un número distinto de cero indica a la computadora que termine la sesión.

MARCA O PARA GRAFICAR DENTRO DE LIMITES ANTERIORES Ver anexo 1.1

PON O SI NO INFRIMES VALORES Ver anexo 1.1

Siguiente mensaje impreso en papel

PRENDE Y DEFINE LOS DE LA GRAFICA, SI ALTERAS LIMITES DAME XMIN, YMIN, XMAX, YMAX SI NO MARCA 3.1416,0,0,0 Ver anexo 1.1

SI ESTAN MARCADOS LOS LIMITES Y LOS RESPETAS MARCA 3.1416 Ver anexo 1.1

SI QUIERES LETRAS DAME SU ALTO (EN % TAMANO PAPEL) SI NO MARCA 0 Ver anexo 1.1

NO ACEPTO LETRAS TAN GRANDES REPITA V1 Ver anexo 1.1

DAME EL NUMERO DE MARCAS EN X Y EN Y Ver anexo 1.1

NO CABEN LETRAS TAN GRANDES EN LOS ESPACIOS REPITA V1 Ver anexo 1.1

DAME LA RAZON DE ESVELTES (ALTO/ANCHO) (CONVIENE 1.7) Ver anexo 1.1

DAME LA RAZON (ALTO/ANCHO) DEL PAPEL (CONVIENE 1) Ver anexo 1.1

El siguiente mensaje lo imprime en papel

MARCA LOS EJES ENTRE (-----, -----) Y (-----, -----) Ver anexo 1.1

LETREROS Ver anexo 1.1

ANEXO 1.3

Programa para obtener una serie de graficas de t vs ϵ , para analizar el comportamiento de una barra (o tubo) con aislamiento térmico, calentada directamente mediante la inyección de una corriente eléctrica, que actúa sobre una probeta de cualquier tipo (el listado actual presenta el caso de una probeta que se comporta como una combinación lineal de una probeta tipo resorte (R1) y una probeta tipo fricción (R2) y que corresponde a un modelo representado por la ecuación general 3.10 .

$$\int_{t_0}^t dt = \int_0^{\epsilon} \frac{C}{A} + f(\epsilon) \over P - K(\frac{\epsilon}{A})} d\epsilon \quad \text{---3.10}$$

- con :
- t = Tiempo
 - ϵ = Deformación
 - A = αl_0 , siendo l_0 la longitud inicial de la barra y α el coeficiente de expansión lineal
 - C = Capacidad calorífica de la barra
 - P = Potencia eléctrica suministrada a la barra mediante la inyección de una corriente eléctrica

$f(\epsilon)$ Es una función de la deformación.
 $K(\epsilon/A)$ Es una función de la deformación y de las características de la barra $\alpha l_0 A$ y el coeficiente de expansión lineal, tiene dimensiones de potencia y representa a la potencia que escapa a través del aislamiento.

En el programa se señala el sitio donde puede alterarse (exige que el usuario conozca B.A.S.I.C.), para reescribir la expresión para la función a integrar, que como ejemplo en este caso es:

$$FNF (U) = \frac{C_1 + R1 \cdot U1 + R2}{P - K1 \cdot U1 / A_1}$$

y corresponde a:

$$F (\epsilon) = \frac{C}{A} + R1 \cdot \epsilon + R2 \over P - K1 \cdot \epsilon / A}$$

Con : $f(C) = R1 * C + R2$ Probeta tipo resorte + fricción

y $K(C/A) = R1 * C/A$ Aislante convencional por conducción térmica SIN considerar pérdidas por radiación, etc.

El programa es esencialmente un integrador que opera por el método recursivo de Romberg, asociado al mismo graficador desarrollado para los programas de los anexos 1.1 y 1.2.

El programa se comunica con el usuario por medio de mensajes cortos y defectuosos, por lo que proporcionamos la lista de mensajes junto con un complemento que los explica y ayuda a responderle a la computadora.

MENSAJE

COMPLEMENTO

A,C,K Y EL MAXIMO DE INTENTOS

Pide al usuario le de los valores numéricos de las variables A, C, K (explicadas en el anexo 1.1) y además le pide el número máximo de intentos (< 100), empleado en el proceso recursivo como tope al número de veces que intentará lograr la aproximación (puede lograrla antes).

DAME P

Pide el valor numérico de la variable P (ver anexo 1.1).

EL INTERVALO DE INTEGRACION QUE NO CONTENGA A -----
LINF, LSUP, #PT

Pide información del intervalo de integración, cuidando que el punto singular señalado numéricamente no este contenido en ese intervalo. Esta proposición corresponde a la instrucción #80, también deberá alterarse cuando se cambie la función del integrando, pues ahora es específica de la función propuesta. Los límites de integración los dará el usuario como un par de números reales separados por comas y primero el límite inferior y luego el superior. Junto a éstos

datos se dará un tercero, que especificará el número de puntos que desea integrar para dibujar la curva integral (< 150).

DAME R1, R2 DEL ORDEN
DE----- Y LA
APROXIMACION

Fide al usuario los valores numéricos de las constantes R1 (resorte) y R2 (fricción). Esta instrucción es la etiquetada con el número 00 y deberá alterarse cuando se cambie el integrando. También pide el valor numérico de la aproximación a la que se ajustaran los cálculos (APROX), este es un número real y se usa para comparar los dos últimos valores calculados para el valor del punto en la integral y si no difieren más del valor del número dado en APROX, se considerará que el valor del punto calculado es correcto

SE INTEGRARA DE-----
A-----CON A-----
C-----K-----P-----
R1-----R2-----
APROXIMACION-----
#DE PUNTOS-----
#INT-----.

Es un mensaje IMPRESO que solo informa lo que se va a procesar para que exista un testimonio impreso y el usuario sepa que fue lo que hizo.

3,1416 ELIMINAR LISTA

Fide al usuario decida si se imprime la lista de los puntos de la grafica, para imprimirlos se lo ordenará a la computadora mandándole cualquier número pero si es 3.1416 la computadora lo interpreta NO imprimiendo la lista.

INTERVALO INTEGRAL
INTERVALO ACUMULADA

Es el encabezado de la lista de los valores para la integral calculada en ese intervalo y la integral acumulada hasta ese intervalo.

ERROR NO LOGRE LA
APROXIMACION EN-----
INTENTOS

Es un mensaje informativo que previene al usuario de que la integral puede estar mal calculada, pues por lo menos en un punto no se consiguió hacer el cálculo con la aproximación estipulada.

MARCA O PARA GRAFICAR
DENTRO DE LOS LIMITES

Ver anexo 1.1

ANTERIORES.

PON O SI NO IMPRIMES VALORES Ver anexo 1.1

PRENDE Y DEFINE LOS LIMITES DE LA GRAFICA, SI ALTERAS LIMITES DAME XMIN YMIN XMAX YMAX SI NO MARCA 3.1416,0,0,0 Ver anexo 1.1

SI ESTAN MARCADOS LOS LIMITES Y LOS RESPETAS MARCA 3.1416,0,0,0 Ver anexo 1.1

SI QUIERES LETRAS DAME SU ALTO(EN % TABLADO PAPEL) SI NO MARCA 0 Ver anexo 1.1

NO ACEPTO LETRAS TAN GRANDES REPITA VI Ver anexo 1.1

DAME EL NUMERO DE MARCAS EN X Y EN y Ver anexo 1.1

NO CABEN LETRAS TAN GRANDES EN LOS ESPACIOS REPITA VI Ver anexo 1.1

DAME LA RAZON DE ESVELTES (ALTO/ANCHO) (CONVIENE 1.7) Ver anexo 1.1

DAME LA RAZON (ALTO/ ANCHO) DEL PAPEL Ver anexo 1.1

MARCA LOS EJES ENTRE (---,---) y (---,---) Ver anexo 1.1

LETREROS Ver anexo 1.1

A=----- C=----- K=-----
 #INTENTOS----- 3.1416
 PARA CAMBIARLOS

Indica al usuario los valores corrientes de tales parametros y pregunta si desea cambiarlos para hacer otro proceso, en cuyo caso debe marcar el número 3.1416 cualquier otro número se interpreta no cambiando esos parámetros pero haciendo otro proceso con estos mismos datos y dando oportunidad de que otros parámetros si se cambien.

P=----- 3.1416 PARA Indica el valor corriente de p y

RENOVARLO

señala al usuario que si desea renovar lo marque 3.1416. El usuario podrá dar otro valor para p y también otros valores para R1 y R2, repitiendo el proceso con estos nuevos datos.

R1=--- R2=--- APROX---
3.1416 RENOVARLOS

Indica los valores corrientes de R1, R2 y la aproximación y si el usuario quiere cambiarlos debe marcar 3.1416 y la computadora le pedirá los nuevos datos para esos parámetros dejando fijos todos los otros parámetros y volviendo a repetir el proceso. Si en este punto el usuario marca cualquier otro número la computadora lo interpretará terminando la sesión.

Se anexa un listado para poderlo copiar o alterar. En el Instituto de Física de la U.N.A.M. hay una copia grabada en una cinta magnética (cassete), adecuada para usarse en una calculadora HP 9130, esta copia reside en el archivo # 35 y la cinta esta marcada como: USUARIOS VARIOS.

ANEXO 1.4

Programa para ajustar con el criterio de mínimos cuadrados, los puntos experimentales de t vs ϵ a una función expresada por la ecuación 4.1

$$\epsilon = C_1(1 - e^{-C_2 t}) \quad \text{---4.1}$$

y que en la notación del programa es:

$$\epsilon = A(1 - e^{-Bt})$$

Requiere se le introduzcan los datos numéricos de los puntos experimentales (cabén hasta 100 puntos); y los valores aproximados (no se requieren valores muy acertados, pueden de hecho ser cualquiera pero si se sospechan algunos, mientras mas acertados, el proceso de ajuste sera más rapido), de los parámetros $A = C_1$ y $B = C_2$, para que con ellos se inicie el proceso de aproximación. El ajuste se hace directamente a la expresión propuesta, sin intermedio de ningún cambio de variable o transformación, que siempre causa que el valor ajustado, traducido por la transformación inversa no corresponda al mejor ajuste.

Por ser muy reducido el espacio de despliegue de información de la calculadora HP 9121, los mensajes de comunicación de la calculadora con el usuario, son cortos y defectuosos, por ello anexamos una lista de los mensajes, con un complemento que los explica y señala la forma de usar el programa:

MENSAJE

COMPLEMENTO

CON NUEVOS DATOS

La calculadora pide al usuario le indique si va a hacer un ajuste a un nuevo conjunto de datos o va a aprovechar los existentes. El usuario marcará el número 0 (cero) para indicar que quiere meter un nuevo conjunto de puntos experimentales y si marca cualquier otro número lo interpretará la calculadora aprovechando los datos existentes. Cuando se trata de la primera corrida debe marcarse el número 0 (cero).

DAME T(---),E(---),
3.1416,3,1416 = FIN

La calculadora pide los datos de t y del punto experimental que se está introduciendo, señalando entre parentesis, el número de orden en la lista (los datos pueden entrar en cualquier orden, pero hacerlo así, le evita errores al usuario). Cada punto entra como una pareja de números, separados por una coma y en el orden señalado (t ,). Cuando se termina, después de introducir el último dato, se debe marcar 3.1416 , 3.1416 para señalar que ya se terminó y que la calculadora pueda continuar el resto del proceso

SOLO CAREN 100 DATOS

Es un mensaje informativo y solo ocurre cuando el usuario ha intentado introducir datos de más de 100 puntos y le advierte que el ajuste lo hará solamente a los primeros 100 puntos.

CORREGIR POR RENG Y
DATOS CORRECTOS
TERMINAR 0,0,0

Durante el proceso de introducción de los datos la calculadora los imprime en el orden en el que van entrando, señalando en la primera columna de la lista, el número del renglón donde está el dato, el usuario debe revisar la lista y si encuentra que hay un dato equivocado, lo puede corregir. Para corregir primero debe encontrar el número del renglón donde está el dato equivocado, después debe marcar ese número, seguido del par de números del dato correcto. Este proceso lo puede repetir tantas veces como se necesite. Si el usuario no tiene más correcciones, entonces debe marcar 0,0,0 para que la calculadora continúe el resto del proceso.

ERROR solo 100 datos

Es un mensaje informativo que señala al usuario que en el proceso de corrección, equivocadamente introdujo un número de renglón mayor que 100, y le da oportunidad de volver a intentarlo correctamente.

ESTAS DANDO MAS DATOS

Es un mensaje informativo que indica al usuario que ha dado un número de renglón que el tamaño de la lista original, el programa, automáticamente amplía el tamaño de la lista, pero si el usuario ha dejado huecos, la calculadora los llenara con basura y el resto del proceso puede arrojar resultados equivocados.

DAME B ESTIMADO
APROX A Y #INTENTOS
usuario

Pide al usuario los parámetros de ajuste B y A (la experiencia del

le ayudará a dar buenos parámetros de inicio del proceso de ajuste). Los datos deben entrar en ese orden, primero B, luego APROX, luego A y finalmente #INTENTOS. La aproximación APROX es un número real que indica al programa, cuando ha logrado que los parámetros estén bien estimados y el número de intentos #INTENTOS marca un límite al número de veces que debe buscarse el buen ajuste de los parámetros (30 a 50 es un buen número)

BEST=---- APROX=----
AEST=---- INT=----

Es un mensaje impreso que sirve de testimonio para que el usuario tenga los datos del proceso que está haciendo y no confunda sus resultados con los de otros procesos.

EL VALOR CORRECTO DE
B ES---- Y A =----

Imprime los resultados del ajuste, entregando los valores de los parámetros B y A , mejor ajustados.

F1=---- NO APROX B1=----

Imprime el valor de la función de error en el proceso de ajuste. Señala que no logro la aproximación para el parámetro B1 y sugiere al usuario intente nuevamente procurando iniciar con un mejor valor del parametro B, sugiriendole el valor de B1.

F2=---- CON B2=---- Y
A=----

Señala el valor numerico actual de la funcion auxiliar de error F2 y los valores de B y A,

ANEXO 1.4

para que se puedan usar en un posible caso de revisión. Indica que el proceso de búsqueda de la aproximación ha cambiado de estrategia.

----, ----, ----, ----
 N1 B B1 B2

Imprime los valores corrientes de las variables del programa N1, B, B1, B2 ; cuando no ha logrado la aproximación . Estos datos son útiles en un proceso de búsqueda del error, pero el usuario deberá saber B.A.S.I.C. Para hacer el rastreo con un listado a tualizado del programa. Este mensaje puede aparecer varias veces en una corrida sin que necesariamente signifique error.

NO APROX EN---INTENTOS
 MEJOR VAL DE ES---,---,

Indica al usuario que terminó el proceso por haber agotado el número de intentos, pero sin lograr la aproximación propuesta y imprime los valores numéricos que obtuvo para las variables B , error y A, en ese orden.

CON APROX B=--- A=---
 F=--- N=---

Imprime los resultados finales de B, A, Función de error, y N (número de intentos) . A continuación imprime el siguiente encabezado :

N	T	E	ECALC	DE	DE^2
número del renglón	tiempo	deformación medida	deformación calculada	Ecalc -E	(Ecalc-E)^2

Y finalmente después de la lista , imprime la suma de (Ecalc -E)^2 =

El último mensaje es:

OTRO PROCESO? PON 0
 NO PON 1

Interroga al usuario para saber si desea hacer otro proceso de ajuste o no. SI el usuario responde con el número 0 la calculadora lo interpreta disponiéndose a iniciar otro proceso . si introduce el número 1 (uno) le indicara a la calculadora que la sesión ha terminado.

```

10 DIM A(100),C(150),E(150)
20 K5=0
30 PRINT "A CONTINUA Y EL NÚMERO DE INTENTOS M9"
40 INPUT A1,C1,K1,M9
50 DISP "DAME P1:"
60 INPUT P1
70 IF K1=0 AND K5=1 THEN 90
80 E7=P1*A1/K1
90 PRINT "EL INTERVALO DE INTEGRACION QUE NO CONTIENE A(E7) LINEASUMC(E7)"
100 INPUT E8,E9,K2
110 IF E8 <= E7 AND E9 >= E7 THEN 90
120 PRINT "DAME P1 Y R2 DEL ORDEN DE (K1-C1/(A1*R1+P1))" Y LA APROX"
130 INPUT P1,R2,E1
140 PRINT "SE INTEGRA DE (E8) A (E9) CON: A=(A1) C=(C1) K=(K1) P=(P1)
150 PRINT "R1=(R1) R2=(R2) APROXIMACION=(E1) # DE PUNTOS=(M9) Y NÚMERO DE INT=
160 REM
170 REM *****LA FUNCION FNF(U) PUEDE *****
180 REM REDEFINIRSE EN DEF FNF(U) CUIDAR QUE EN EL
190 REM INTERVALO DE INTEGRACION
200 REM LA FUNCION NO TENGA SINGULARIDADES
210 REM (CUIDAR E7, E8, E9)
220 REM R1=COEFICIENTE DE E
230 REM EN PROBETA TIPO PESORIE
240 REM R2 COEF EN PROBETA TIPO FRICCION
250 DEF FNF(U)=(C1/A1+R1*U+R2)/((P1-P1)*U/A1)
260 REM
270 REM*****
280 DISP "3.1416 ELIMINAR LISTA":
290 INPUT D1
300 IF D1=3.1416 THEN 320
310 PRINT "I N T E R V A L O INTEGRAL INTEGRAL ACUMULADA"
320 T1=0
330 N=1
340 X(N)=0
350 Y(N)=E8
360 L1=(E9-E8)/K2
370 FOR E=E8 TO E9-L1/100 STEP L1
380 N=N+1
390 AC11=(FNF(E)+FNF(E+L1))*L1/2
400 D2=1
410 FOR M=2 TO M9
420 D3=D2
430 D2=D2*2
440 S1=0
450 FOR J=1 TO D3
460 U1=E+(2*J-1)*L1/D2
470 S1=S1+FNF(U1)
480 NEXT J
490 AC21=AC11/2+S1*L1/D2
500 O4=1
510 FOR J=2 TO M
520 J2=2*J
530 O4=4*O4
540 ACJ2=(O4*ACJ2-21-ACJ2-31)/(O4-1)
550 NEXT J
560 IF ABS(AC2*M)/AC2*M-21-1)<E1 THEN 640
570 FOR J=1 TO M
580 J2=2*J
590 ACJ2=11-ACJ2
600 NEXT J
610 NEXT M
620 PRINT "ERROR NO LOGRE LA APROX":E1;"E8":M9;"INTENTOS"

```

```

630 M=M9
640 T1=T1+AC2*M1
650 IF D1=3.1416 THEN 670
660 PRINT E+E*LI,AC2*M1,T1
670 X(N)=T1
680 Y(N)=E*LI
690 NEXT E
700 FOR I=1 TO N
710 FOR J=1 TO N
720 IF X(I) >= X(J) THEN 730
730 A=X(I)
740 X(I)=X(J)
750 X(J)=A
760 A=Y(I)
770 Y(I)=Y(J)
780 Y(J)=A
790 NEXT J
800 NEXT I
810 DISP "MARCHA 0 PARA GRAFICAR DENTRO DE LOS LIMITES ANTERIORES";
820 INPUT D1
830 IF D1=0 THEN 1500
840 DISP "PON 0 SI NO IMPRIMES VALORES";
850 INPUT D1
860 X5=X(1)
870 X6=X(N)
880 Y5=Y(1)
890 Y6=Y(N)
900 FOR I=1 TO N
910 IF Y5<Y(I) THEN 930
920 Y5=Y(I)
930 IF Y6>Y(I) THEN 950
940 Y6=Y(I)
950 IF D1=0 THEN 970
960 PRINT I;X(I);Y(I)
970 NEXT I
980 PRINT X5;X6;Y5;Y6
990 PRINT "DESCRIBE Y DEFINE LOS LIMITES DE LA CARTA. SI ALTERAS LIMITES DAME ";
1000 PRINT "XMIN, YMIN, XMAX, YMAX SI NO MARCHA 3.1416, 0,0,0";
1010 INPUT D1,D2,D3,D4
1020 IF D1=3.1416 THEN 1100
1030 X5=D1
1040 Y5=D2
1050 X6=D3
1060 Y6=D4
1070 DISP "SI ESTAN MARCADOS LOS LIMITES Y LOS RESPETAS MARCHA 3.1416";
1080 INPUT D1
1090 IF D1=3.1416 THEN 1240
1100 DISP "SI QUIERES LETRAS DAME SU ALTO<EN 2/3 TAMAÑO PAPEL> SI NO MARCHA 0";
1110 INPUT V1
1120 IF V1<18.4 THEN 1150
1130 DISP "NO ACEPTO LETRAS TAN GRANDES REPITA V1";
1140 GOTO 1110
1150 DISP "DAME EL NUMERO DE MARCAS EN X Y EN Y";
1160 INPUT D1,D2
1170 IF (100/D1)>V1 AND (100/D2)>V1 THEN 1200
1180 DISP "NO CABEN LETRAS TAN GRANDES EN LOS ESPACIOS REPITA V1";
1190 GOTO 1110
1200 DISP "DAME LA RAZON DE ESVELTEZ<ALTO/ANCHO> (CONVIENE 1...);
1210 INPUT V2
1220 DISP "DAME LA RAZON <ALTO/ANCHO> DEL PAPEL (CONVIENE 1)";
1230 INPUT V4
1240 LABEL (+,V1,V2,PI/2,V4)
1250 X0=X5-2*V1*(X6-X5)/100

```

```

1260 X9=X5+2*V1*(Y6-Y5)/100
1270 Y9=Y5-2*V1*(Y6-Y5)/100
1280 Y9=Y5+2*V1*(Y6-Y5)/100
1290 SCALE X0,X9,Y0,Y9
1300 XAXIS Y0
1310 YAXIS X9
1320 XAXIS Y9,(X9-X0),X9,X0
1330 YAXIS X0,(Y9-Y0),Y9,Y0
1340 X1=0
1350 Y1=0
1360 IF X0<X1 AND X1<X9 AND Y0<Y1 AND Y1<Y9 THEN 1410
1370 PRINT "MARCA LOS EJES ENTRE(";X0;Y0;") Y. (";X9;Y9;")";
1380 PRINT
1390 INPUT X1,Y1
1400 GOTO 1360
1410 XAXIS Y1,(X9-X0)/D1,X0,X9
1420 YAXIS X1,(Y9-Y0)/D2,Y0,Y9
1430 IF V1 <= 0 THEN 1500
1440 FOR I=X0+(X9-X0)/D1 TO X9-(X9-X0)/(2*D1) STEP (X9-X0)/D1
1450 IF I=X1 THEN 1500
1460 PLOT I,Y1,1
1470 CPLOT 2,-0.3
1480 LABEL (1490)I
1490 FORMAT 2E8.1
1500 NEXT I
1510 LABEL (*,V1,V2,0,V4)
1520 FOR I=Y0+(Y9-Y0)/D2 TO Y9-(Y9-Y0)/(2*D2) STEP (Y9-Y0)/D2
1530 IF I=Y1 THEN 1570
1540 PLOT X1,I,1
1550 CPLOT 2,-0.3
1560 LABEL (1490)I
1570 NEXT I
1580 FOR I=1 TO N
1590 PLOT X(I),Y(I)
1600 NEXT I
1610 DISP "LETREROS";
1620 K5=1
1630 LETTER
1640 PRINT "A=";A1;"C=";C1;"K=";K1;"#INTENTOS=";M9;"3.1416 PARA CAMBIARLOS"
1650 INPUT D1
1660 IF D1=3.1416 THEN 30
1670 PRINT "P=";P1;"3.1416 PARA RENOVARLO"
1680 INPUT D1
1690 IF D1=3.1416 THEN 50
1700 PRINT "R1=";R1;"R2=";R2;"APROX=";E1;"3.1416 RENOVARLOS"
1710 INPUT D1
1720 IF D1=3.1416 THEN 120
1730 END

```

```

10 DIM TC(100),E(100)
20 DISP "PON 0 NUEVOS DATOS":
30 INPUT K1
40 IF K1#0 THEN 170
50 FOR I=1 TO 100
60 DISP "DAME TC(;;):", E(;;):, 3.1416,3.1416=FIN":
70 INPUT K2,K3
80 IF K2#3.1416 THEN 110
90 N=I-1
100 GOTO 170
110 TC(I)=K2
120 E(I)=K3
130 PRINT I,TC(I),E(I)
140 NEXT I
150 PRINT "SOLO CABEN 100 DATOS"
160 N=100
170 DISP "CORREGIR PON RENG Y DATOS CORRECTOS TERMINAR 0,0,0":
180 INPUT K1,K2,K3
190 IF K1#0 THEN 290
200 IF K1<N THEN 280
210 IF K1<100 THEN 240
220 DISP "ERROR SOLO 100 DATOS":
230 GOTO 170
240 PRINT "ESTAS DANDO MAS DATOS"
250 N=K1
260 TC(K1)=K2
270 E(K1)=K3
280 GOTO 170
290 C1=0
300 FOR I=1 TO N
310 C1=C1+E(I)
320 NEXT I
330 DISP "DAME B ESTIMADO,APROX A Y #INTENTOS":
340 INPUT B:D1:A1:N1
350 PRINT "B EST=":B1:"APROX=":D1:"A EST=":A1:"# INT=":N1
360 B=B1
370 N1=0
380 GOSUB 450
390 F1=C1+(2*C2-N*C3)*C7/(C5-C6)-C4
400 IF ABS(F1)>D1 THEN 590
410 PRINT "EL VALOR CORRECTO DE B ES":B1:"Y A=":C7/(C5-C6)
420 B=C1
430 GOTO 870
440 END
450 C2=C3=C4=C5=C6=C7=0
460 FOR I=1 TO N
470 K4=B*TC(I)
480 K5=EXP(-K4)
490 K6=EXP(-2*K4)
500 C2=C2+K5
510 C3=C3+K6
520 C4=C4+E(I)*K5
530 C5=C5+TC(I)*K5
540 C6=C6+I*K6
550 C7=C7+TC(I)*E(I)*K5
560 NEXT I
570 RETURN
580 END

```

```

590 PRINT "F1=";F1;"NO APROX B1=";B1;"PON OTRO"
600 INPUT B2
610 B=B2
620 GOSUB 450
630 F2=C1+(2*C2-N-C3)*C7/(C5-C6)-C4
640 PRINT "F2=";F2;"CON B2=";B2;"Y A=";C7/(C5-C6)
650 IF F1<F2 THEN 700
660 IF ABS(F1)<ABS(F2) THEN 590
670 F1=F2
680 B1=B2
690 GOTO 400
700 B=(B1+B2)/2
710 GOSUB 450
720 F=C1+(2*C2-N-C3)*C7/(C5-C6)-C4
730 IF ABS(F) <= D1 THEN 860
740 N1=N1-1
750 PRINT N1;B;B1;B2
760 IF N1 <= N9 THEN 790
770 PRINT "NO APROX EN";N1;"INTENTOS MEJOR VALOR ES";B,F,C7/(C5-C6)
780 GOTO 20
790 IF F<F1 THEN 830
800 F1=F
810 B1=B
820 GOTO 700
830 F2=F
840 B2=B
850 GOTO 700
860 PRINT "CON APROX B=";B;"A=";C7/(C5-C6);"F=";F;"N=";N1
870 G1=0
880 PRINT "N      T","E","E CALC","DE","DE+2"
890 FOR I=1 TO N
900 E1=(C7/(C5-C6))*(1-EXP(-B*(I)))
910 G1=G1+(E1-EC(I))^2
920 PRINT I;T(I);E(I);E1;E1-EC(I);(E1-EC(I))^2
930 NEXT I
940 PRINT "SUCC=";G1
950 DISP "¿OTRO PROCESO? PON 0 NO PON 1";
960 INPUT K1
970 IF K1=0 THEN 20
980 END

```

```

10 COM XL1503-YL1503:04
20 DISP "DAME A/C/K:"
30 INPUT A:C/K
40 M1=C/A
50 IF M1 <= 1 THEN 80
60 DISP "OTROS ARTOS K/A":
70 GOTO 20
80 DISP "DAME P:"
90 INPUT P
100 M2=M1*(C/K+P)
110 DISP "DAME R DEL ORDEN DE":M2:
120 INPUT R
130 PRINT A:C/K:P:R:M1:M2
140 E9=P/M1
150 N=0
151 A1=R*A/K
152 A4=C/K
153 A2=A4+A1*P*A/K
154 A3=A1/A4
155 DISP "QUIERES LA CURVA SIN PROBETA PON 0":
156 INPUT D1
157 IF D1#0 THEN 230
160 FOR E=0 TO E9-E9/100 STEP E9/100
170 N=N+1
180 X(N)=A4*LOG(1-A3*E)
190 Y(N)=E
200 NEXT E
210 GOSUB 690
220 N=1
230 FOR E=0 TO E9-E9/100 STEP E9/100
240 N=N+1
250 X(N)=-A2*LOG(1-A3*E)-A1*E
260 Y(N)=E
270 NEXT E
280 GOSUB 690
290 DISP "MARCA 0 SI QUIERES OTRO VALO DE R":
300 INPUT M4
310 IF M4=0 THEN 110
320 DISP "MARCA 0 SI QUIERES OTRO VALOR DE P":
330 INPUT M4
340 IF M4=0 THEN 80
350 GOTO 1520
690 FOR I=1 TO N
700 FOR J=1 TO N
710 IF X(I) >= X(J) THEN 780
720 A=X(I)
730 X(I)=X(J)
740 X(J)=A
750 A=Y(I)
760 Y(I)=Y(J)
770 Y(J)=A
780 NEXT J
790 NEXT I
791 DISP "MARCA 0 PARA GRAFICAR DENTRO DE LOS LIMITES ANTERIORES":
792 INPUT D1
793 IF D1=0 THEN 1450
794 DISP "PON 0 SI NO IMPRIMES VALORES":
795 INPUT D1

```

```

800 X5=Y1
810 X6=X1+1
820 Y3=Y1+1
830 Y6=Y1+1
840 FOR I=1 TO 11
850 IF Y5<Y1+1 THEN 870
860 Y5=Y1+1
870 IF Y6<Y1+1 THEN 881
880 Y6=Y1+1
881 IF D1=0 THEN 900
890 PRINT I;X1;Y1;X5;Y5
900 NEXT I
910 PRINT X5;X6;Y5;Y6
920 PRINT "PRENDE Y DEFINE LOS LIMITES DE LA GRAFICA, SI ALTERAS LIMITES DAME";
921 PRINT "XMIN, YMIN, XMAX, YMAX SI NO MARCA 3.1416;0;0;0"
930 INPUT D1,D2,D3,D4
931 IF D1=3.1416 THEN 940
932 X5=D1
933 Y5=D2
934 X6=D3
935 Y6=D4
936 DISP "SI ESTAN MARCADOS LOS EJES Y LOS RESPETAS MARCA 3.1416";
937 INPUT D1
938 IF D1=3.1416 THEN 1000
940 DISP "SI QUIERES LETRAS DAME SU ALTO(EN TAMAÑO PAPEL) SI NO MARCA 0";
950 INPUT V1
960 IF V1<18.4 THEN 990
970 DISP "NO ACEPTO LETRAS TAN GRANDES REPITA V1";
980 GOTO 950
990 DISP "DAME EL NUMERO DE MARCAS EN X Y EN Y";
1000 INPUT D1,D2
1010 IF (100/D1)>V1 AND (100/D2)>V1 THEN 1040
1020 DISP "NO CABEN LETRAS TAN GRANDES EN LOS ESPACIOS REPITA V1";
1030 GOTO 950
1040 DISP "DAME LA RAZON DE ESVELTEZ(ALTO/ANCHO) (CONVIENE 1.7)";
1050 INPUT V2
1060 DISP "DAME LA RAZON (ALTO/ANCHO) DEL PAPEL (CONVIENE 1)";
1070 INPUT V4
1080 LABEL (*,V1,V2,PI/2,V4)
1090 X8=X5-2*V1*(X6-X5)/100
1100 Y8=Y5-2*V1*(Y6-Y5)/100
1110 Y8=Y5-2*V1*(Y6-Y5)/100
1120 Y9=Y6+2*V1*(Y6-Y5)/100
1130 SCALE X8,X9,Y8,Y9
1140 XAXIS Y8
1150 YAXIS X9
1160 XAXIS Y9,(X9-X8),X9,X8
1170 YAXIS X8,(Y9-Y8),Y9,Y8
1180 X1=0
1190 Y1=0
1200 IF X8<X1 AND X1<X9 AND Y8<Y1 AND Y1<Y9 THEN 1250
1210 PRINT "MARCA LOS EJES ENTRE(";X8;Y8;") Y (";X9;Y9;")";
1220 PRINT
1230 INPUT X1,Y1
1240 GOTO 1200
1250 XAXIS Y1,(X9-X8)/D1,X8,X9
1260 YAXIS X1,(Y9-Y8)/D2,Y8,Y9
1270 IF V1 <= 0 THEN 1440

```

```
1280 FOR I=X0+(X9-X0)/D1 TO X9-(X9-X0)/(2*D1) STEP (X9-X0)/D1
1290 IF I=X1 THEN 1340
1300 PLOT I,Y1
1310 CPLOT 2,-0.3
1320 LABEL (1330)I
1330 FORMAT 2E8.1
1340 NEXT I
1350 LABEL (*,V1,V2,0,V4)
1360 FOR I=Y0+(Y9-Y0)/D2 TO Y9-(Y9-Y0)/(2*D2) STEP (Y9-Y0)/D2
1370 IF I=Y1 THEN 1410
1380 PLOT X1,I,1
1390 CPLOT 2,-0.3
1400 LABEL (1330)I
1410 NEXT I
1450 FOR I=1 TO N
1460 PLOT X(I),Y(I)
1490 NEXT I
1500 DISP "LEFREROS";
1510 LETTER
1515 RETURN.
1520 END
```

```

40 DIM M(50),N(50)
20 DISP "DAME M,C,K":
30 INPUT A,C,K
40 N1=C/A
50 IF N1 <= 1 THEN 80
60 DISP "OTROS DATOS K>A":
70 GOTO 20
80 DISP "DAME E , R":
90 INPUT E,R
100 A4=K+E/R
110 P9=K+C/10/(A+A*R)
120 PRINT A,C,K,E,R,A4,P9
121 DISP "CONOCES PNAK DAMELO SI NO 3.1416":
122 INPUT D1
123 IF D1=3.1416 THEN 129
124 P9=D1
125 GOTO 150
129 N=1
130 IF P9>A4*1.01 THEN 150
140 DISP "DAME PNAK DEL ORDEN >DE":A4*1.1*N:
141 INPUT P9
142 PRINT "CARBIE PNAK":P9
145 GOTO 120
150 N=0
151 A1=C/K
152 A2=R*A+E/K
153 A3=R*A*A/K
160 FOR P=A4*1.01 TO P9 STEP (P9-A4)/100
170 N=N+1
180 X(N)=P
190 Y(N)=-((A1+A3*P)*LOG(1-A4/P))-A2
200 NEXT P
210 GOSUB 690
211 DISP "PON 0 SI GRAFICAS CURVA SIN PROBETA":
212 INPUT D1
213 IF D1#0 THEN 290
220 N=0
230 FOR P=A4*1.001 TO P9 STEP (P9-A4)/100
240 N=N+1
250 X(N)=P
260 Y(N)=-A1*LOG(1-A4/P)
270 NEXT P
280 GOSUB 690
290 DISP "MARCA 0 SI QUIERES OTROS VALOS DE E Y R":
300 INPUT M4
310 IF M4=0 THEN 80
320 GOTO 1520
690 FOR I=1 TO N
700 FOR J=1 TO N
710 IF X(I) >= X(J) THEN 780
720 A=X(I)
730 X(I)=X(J)
740 X(J)=A
750 A=Y(I)
760 Y(I)=Y(J)
770 Y(J)=A
780 NEXT J
790 NEXT I
791 DISP "MARCA 0 PARA GRAFICAR DENTRO DE LOS LIMITES ANTERIORES":
792 INPUT D1
793 IF D1=0 THEN 1450
794 DISP "PON 0 SI NO IMPRIMES VALORES":
795 INPUT D1
800 X5=X(I)

```

```

810 X5=XINJ
820 Y5=YIJJ
830 Y6=YDNJ
840 FOR I=1 TO N
850 IF Y5\YIJJ THEN 870
860 Y5=YIJJ
870 IF Y6\YIJJ THEN 881
880 Y6=YIJJ
881 IF D1=0 THEN 900
890 PRINT "XLIJ;YLIJ"
900 NEXT I
910 PRINT "X5;X6;Y5;Y6"
920 PRINT "PRENDE Y DEFINE LOS LIMITES DE LA GRAFICA, SI ALTERAS LIMITES DAME";
921 PRINT "XMIN, YMIN, XMAX, YMAX SI NO MARCA 3.1416,0,0,0"
930 INPUT D1,D2,D3,D4
931 IF D1=3.1416 THEN 940
932 Y5=D1
933 Y5=D2
934 X6=D3
935 Y6=D4
936 DISP "SI ESTAN MARCADOS LOS LIMITES Y LOS RESPETAS MARCA 3.1416";
937 INPUT D1
938 IF D1=3.1416 THEN 1000
940 DISP "SI QUIERES LETRAS DAME SU ALTO<ENXTAMANO PAPEL> SI NO MARCA 0";
950 INPUT V1
951 IF V1<18.4 THEN 990
970 DISP "NO ACEPTO LETRAS TAN GRANDES REPITA V1";
980 GOTO 950
990 DISP "DAME EL NUMERO DE MARCAS EN X Y EN Y";
1000 INPUT D1,D2
1010 IF (100/D1)>V1 AND (100/D2)>V1 THEN 1040
1020 DISP "NO CABEN LETRAS TAN GRANDES EN LOS ESPACIOS REPITA V1";
1030 GOTO 950
1040 DISP "DAME LA RAZON DE ESVELTEZ<ALTO/ANCHO> (CONVIENE 1.7)";
1050 INPUT V2
1060 DISP "DAME LA RAZON <ALTO/ANCHO> DEL PAPEL (CONVIENE 1)";
1070 INPUT V3
1080 LABEL (*,V1,V2,PI/2,V4)
1090 X0=X5-2*V1*(X6-X5)/100
1100 X9=X6+2*V1*(X6-X5)/100
1110 Y0=Y5-2*V1*(Y6-Y5)/100
1120 Y9=Y6+2*V1*(Y6-Y5)/100
1130 SCALE X0,X9,Y0,Y9
1140 XAXIS Y0
1150 YAXIS X9
1160 XAXIS Y9,(X9-X0),X9,X0
1170 YAXIS X0,(Y9-Y0),Y9,Y0
1180 X1=0
1190 Y1=0
1200 IF X0<X1 AND X1<X9 AND Y0<Y1 AND Y1<Y9 THEN 1250
1210 PRINT "MARCA LOS EJES ENTRE(";X0;Y0;") Y (";X9;Y9;")";
1220 PRINT
1230 INPUT X1,Y1
1240 GOTO 1200
1250 XAXIS Y1,(X9-X0)/D1,X0,X9
1260 YAXIS X1,(Y9-Y0)/D2,Y0,Y9
1270 IF V1 <= 0 THEN 1450
1280 FOR I=X0+(X9-X0)/D1 TO X9-(X9-X0)/(2*D1) STEP (X9-X0)/D1
1290 IF I=X1 THEN 1340
1300 PLOT I,Y1:1
1310 CPLOT 2,-0.3
1320 LABEL (1300)I
1330 FORMAT 2E8.1
1340 NEXT I

```

```
1350 LABEL (*,V1,V2,0,V4)
1360 FOR I=Y0+(Y9-Y0)/D2 TO Y9-(Y9-Y0)/(2*D2) STEP (Y9-Y0)/D2
1370 IF I=Y1 THEN 1410
1380 PLOT X1,I,1
1390 CPLOT Z,-0.3
1400 LABEL (1330)I
1410 NEXT I
1450 FOR I=1 TO N
1460 PLOT X(I),Y(I)
1490 NEXT I
1500 DISP "LETREROS"
1510 LETTER
1515 RETURN
1520 END
```

Bibliografía

Referencias de obras citadas en este trabajo.

- 1.- Introducción a la Ciencia de los Materiales.
Volumen III. Propiedades Mecánicas.
H. Wayne Hayden,
William G. Moffatt,
John Wulff.
- 2.- Handbook of Measurement and Control.
Edward E. Herceg.
Copyright 1972 by Schaevitz Engineering, Pennsauken, N.J.
- 3.- J. Soullard S,
A. Mendoza A,
E. Orozco M and
J. Montemayor A.
Japanese Journal of Applied Physics.
Vol. 26, No 4, April 1987, P.P. 543-549.
- 4.- S. N. Komnik,
V. z. Bengus and
E. D. Lyac.
Physica Status Solidi 19, 533 (1967).
- 5.- C. Saldo,
E. M. Orozco,
A. A. Mendoza and
J. O. Rubio.
J. Phys. D: Appl. Phys. , 18 (1985), 247-258.
- 6.- Handbook of Chemistry and Physics.
63 edition (1982-1983).
Editor: Robert C. Weast,
Melvin J. Astle.
C.R.C. Press Inc.
Pag. D-191