

7
29.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"CAMPUS ARAGÓN"**

**REDISEÑO DE LA MEDIA BARRA
PERMANENTE QUE SIRVE DE ARRASTRE A
LOS CARROS DE ORIGEN ESPAÑOL (N.E.)
DEL S.T.C. METRO CIUDAD DE MÉXICO,
POR EL METODO DE ANÁLISIS,
EXPERIMENTAL DE ESFUERZOS.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECANICO
ELECTRICO
P R E S E N T A :
ALVAREZ BALTAZAR GUILLERMO

ASESOR ING JAVIER NAVA PEREZ

México

1997.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

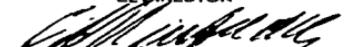
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

GUILLERMO ALVAREZ BALTAZAR
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 19 de abril del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JAVIER NAVA PEREZ pueda dirigir el trabajo de Tesis denominado "REDISEÑO DE LA MEDIA BARRA PERMANENTE QUE SIRVE DE ARRASTRE A LOS CARROS DE ORIGEN ESPAÑOL (NE) DEL S.T.C. METRO CIUDAD DE MEXICO POR EL METODO DE ANALISIS EXPERIMENTAL DE ESFUERZOS", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento, me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para referarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, a 25 de abril de 1996.
EL DIRECTOR


Mtro. CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

c c p Jefe de la Unidad Académica.
c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
c c p Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/vr





A G R A D E C I M I E N T O S

Dedico éste trabajo de tesis principalmente a mis padres: **FRACISCA BALTAZAR DE ALVAREZ** y **PEDRO SANTOYO ALVAREZ**, que me han brindado su apoyo incondicional además de su comprensión y confianza. A ellos que se han preocupado por proporcionarme su apoyo moral y económico en los momentos más difíciles y, que han sabido guiarme por un buen camino. Espero que esta meta culminada sea de gran satisfacción para ellos.

A MIS HERMANOS Y FAMILIARES

Que directa o indirectamente han contribuido a darme ánimos de seguir adelante e impulsarme a lograr un objetivo.

A LA U.N.A.M. en especial ala ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES (E.N.E.P.) ARAGON.

Por darme la oportunidad de una formación profesional

A LOS PROFESORES

Que me ofresieron su apoyo y se preocuparon por que asimilara sus conocimientos para formarme profesionalmente.

Con gran agradecimiento por la ayuda que ma han brindado los profesores para el asesoramiento y revisión de éste trabajo - de tesis a los ingenieros:

ING. JAVIER NAVA PEREZ
ING. RODOLFO SARAGOZA BUCHAIN
ING. RAUL CRUZ ARRIETA
ING. DANIEL ALDAMA AVALOS
ING. ALEJANDRO RODRIGUEZ LORENZANA.

C O N T E N I D O

C O N T E N I D O

PAGINA

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

2

C A P I T U L O

I

I . G E N E R A L I D A D E S D E L A N A L I S I S
EXPERIMENTAL DE ESPUERZOS

I.I	CONCEPTOS BASICOS	6
I.I-1.	Esfuerzo	6
I.I-1.1.	Carga axial	6
I.I-1.2.	Esfuerzo normal	7
I.I-1.3.	Esfuerzo cortante	7
I.I-1.4.	Estado biaxial de tensiones	8
I.I-1.5.	Componentes de esfuerzo	9
I.I-1.6.	Transformaciones de esfuerzo plano	10
I.I-1.7.	Esfuerzos principales	11
I.I-1.8.	Círculo de Mohr para un esfuerzo plano	12
I.I-2	LUGARES GEOMETRICOS DE TENSIONES	13
a)	Isoclinas	
b)	Isostáticas	
c)	Isocromática	
d)	Isópaca	
I.I.3	DEFORMACION	14
I.I-3.1.	Relación esfuerzo-deformación	18
I.I-3.2.	Ley de Hook	18
I.I-3.3.	Efecto Poisson	18
I.I-3.4.	Ley generalizada de Hook	19
I.I-3.5.	Deformación de corte	20
I.I-3.6.	Diagrama esfuerzo-deformación	22

	PAGINA
I.II TIPOS DE ANALISIS	25
I.II-0 ANALISIS EXPERIMENTAL DE ESPUERZOS (INTRODUCCION)	25
I.II-1 FOTOELASTICIDAD	26
I.II-1.1. Definición	26
I.II-1.2. Utilidad y ventajas	26
I.II-1.3. Descripción del análisis fotoelástico	27
I.II-2 BARNICES FRAGILES	33
I.II-2.1. Definición y tipos	33
I.II-2.2. Ventajas y usos	33
I.II-2.3. Descripción de la técnica	35
I.II-3 METODO DE MUARE	36
I.II-3.1. Definición	36
I.II-3.2. Aplicación	36
I.II-3.3. Descripción del método	39
I.II-4 EXTENSOMETRIA	41
I.II-4.1. EXTENSOMETROS MECANICOS	42
I.II-4.1.1. Definición	42
I.II-4.1.2. Ventajas y desventajas	42
I.II-4.1.3. Tipos y clasificación	43

PAGINA

I.II-4.2	EXTENSOMETROS ELECTRICOS	45
I.II-4.2.1.	Definición	45
I.II-4.2.2.	Desarrollo historico	45
I.II-4.2.3.	Partes y fabricación de extensómetros	47
I.II-4.2.4.	Estado actual y aplicación	50
I.II-4.2.5.	Tipos y clasificación	51
I.II-4.2.6.	Características particulares	52
I.II-4.2.7.	Características generales	60
I.II-4.2.8.	Principio, unidad y métodos de medida	61
I.II-4.2.9.	Dominio de utilización	62
I.II-4.2.10.	Cuadro de comparación	64
I.II-4.2.11.	Factor de sensibilidad y sensibilidad transversal	65
I.II-4.2.12.	Compensación por efectos de temperatura	67

CAPITULO

I I

II. INSTALACION DE EXTENSOMETROS
Y MEDICION DE LAS DEFORMACIONES

II-1. PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACION DE SUPERFICIES	70
II-2. PEGAMENTOS Y MATERIALES DE SOPORTE	81
II-3. METODO PARA LA COLOCACION DE LOS EXTENSOMETROS ELECTRICOS	86
II-4. INSTRUMENTACION BASICA PARA LA MEDICION DE RESIS- TENCIAS (PUENTE WHEASTONE)	95
II-4.1 Relación entre deformación (extensómetro) y señal de salida (Puente Wheastone)	98
II-4.2 Calibración de las resistencias en un Puente Wheastone.	99
II-5. MONTAJES DE MEDIDA CON GALGAS EXTENSOMETRICAS (CASO I, CASO II, CASO III y CASO IV)	102
II-6. SISTEMA UTILIZADO EN EL REGISTRO Y CAPTACION DE DATOS (Circuito de medida, Amplificador y Regis- trador)	110
II-6.1. Funcionamiento e instalación de aparatos para la captación de datos.	112

CAPITULO

I I I

III.	<u>PROBLEMATICA DE LA MEDIA</u> <u>BARRA PERMANENTE</u>	
III-1.	UBICACION DEL PROBLEMA	121
III-2.	BARRA PERMANENTE TIPO 160 D4	122
III-2.1.	Detalle de la Media Barra Permanente tipo 160 D4	123
III-2.2.	Descripción de los elementos que la componen	124
III-2.3.	Funcionamiento y cuidado	127
III-2.4.	Intriducción a las fuerzas que se generan en la Media Barra Permanente.	128

CAPITULO

IV

IV. ANALISIS DEL PROBLEMA

IV-1. JUSTIFICACION DEL METODO UTILIZADO	131
IV-2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	132
IV-3. DESARROLLO	133
IV-4. ANALISIS DE RESULTADOS	136
IV-5. REDISEÑO	159

	PAGINA
-CONCLUSIONES	166
-ANEXO "A"	168
-ANEXO "B"	175
-ANEXO "C"	179
-BIBLIOGRAFIA	185

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

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

El transporte colectivo, se realiza en nuestra ciudad por medio de autobuses, tranvías, taxis colectivos, trolebuses y - por el Sistema de Transporte Colectivo (S.T.C.) Metro.

Este último, es el sistema de transporte utilizado por un mayor número de usuarios, el cual da un servicio de movilización de personas en la forma más segura, eficiente y económica.

Tiene sus ventajas, limitaciones y "consecuencias" al poner - en operación sus trenes subterráneos y superficiales de vía - libre.

Debe tenerse en cuenta sus características particulares para que opere en la forma más racional posible, ya que uno de los objetivos de este sistema de transporte, es de abatir tiempos de recorrido, mejorando la gran fluidez de personas.

La constante expansión del Sistema de Transporte Colectivo, - con la finalidad de prestar el servicio a grandes asentamientos de población, ha originado la adquisición de trenes extranjeros, la última adquisición corresponde al material rodante de origen español con la finalidad de aumentar el parque vehicular, estos trenes son diseñados para operar en su lugar de origen, no tomando en cuenta la sobrecarga a la cual opera en la ciudad de México.

Hoy en día, una de las consecuencias que anulan algunos objetivos antes mencionados, además de crear gastos extras de mantenimiento de los carros del Sistema de Transporte Colectivo Metro, es el "fisuramiento y fractura" de los elementos elásticos de la Media Barra Permanente que sirve de acoplamiento entre cada uno de los carros en los trenes de origen español de dicho sistema. Esta Media Barra representa una pieza muy importante en los trenes para su buen funcionamiento y servicio.

Por tal motivo es de interes enmendar las fallas que ocasionan tal fisuramiento, proponiendonos de esta manera un objetivo general, que es el de corregir los desperfectos de los elementos elásticos de la media barra permanente, logrando un rediseño através de un método experimental de esfuerzos.

Para llevar acabo un análisis detallado de la barra de tracción en estudio y, saber como se comporta interna y externamente cuando esta expuesta a solicitudes mecánicas, es de vital importancia tener presente los conceptos básicos de la mecánica de materiales descritos en el capitulo I.I.

Con el fin de tener un panorama general de los diferentes métodos experimentales de tensiones existentes, se mencionan sus principios básicos, ventajas, desventajas y aplicaciones de éstos, optando por uno de ellos (Extensometría) que se adecua a nuestro problema en particular, desarrollandolo en forma más amplia y detallada en el capitulo I.II (Extensómetros eléctricos).

Para la obtensión de resultados confiables, precisos y de gran exactitud consiste en una buena aplicación del método seleccionado. Antes de aplicar el método en el capitulo IV, es muy importante tener el dominio de la técnica del montaje de bandas extensométricas. Esta técnica consiste en la preparación de superficies, instalación y medida de las deformaciones de los extensómetros eléctricos, además del funcionamiento y operación de los aparatos de registro y captación de datos descritos en el capitulo II.

Con el proposito de conocer y visualizar la media barra permanente y así conceptualizar en forma general el problema, en el

capitulo III se muestra y se describe detalladamente las partes componentes, funcionamiento y cuidado de dicha barra aunado con las fuerzas que se generan cuando se encuentra en servicio.

Ubicandonos de lleno en la problemática a resolver, se planteará y se dará respuesta a ésta, aplicando el buen dominio del método de extensometría (Extensómetros eléctricos) desarrollándolo de acuerdo a las técnicas de montaje de bandas extensométricas y analizando con detalle los resultados, y en base a éstos poder realizar un rediseño confiable para nuestro propósito particular (capitulo IV).

C A P I T U L O

I

G E N E R A L I D A D E S

D E L

A N A L I S I S

E X P E R I M E N T A L

D E

E S F U E R Z O S

I.I. CONCEPTOS BASICOS

I.I-1. ESFUERZO

A la fuerza por unidad de área o intensidad de las fuerzas - distribuidas sobre una sección, se conoce como "esfuerzo" y se denota por σ (sigma). Figura 1 (b)

El esfuerzo de un elemento de sección transversal de área "A" sometido a una carga axial "P", se obtiene dividiendo la magnitud de "P" de la carga por el área "A". Figura 1 (a)

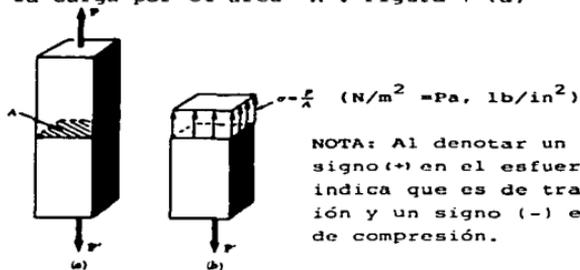


FIGURA 1

I.I-1.1. Carga axial

Cuando dos fuerzas actúan en los extremos de un elemento y están dirigidos a lo largo de su eje, se dice que este elemento está cargado axialmente. Figura 2



FIGURA 2

I.I-1.2. Esfuerzo normal

A la intensidad de la fuerza perpendicular o normal a la sección se le llama esfuerzo normal en un punto. Figura 3



FIGURA 3

I.I-1.3. Esfuerzo cortante

Cuando se aplican fuerzas transversales a un elemento (Fig.4) cortando en "C" lugar (Fig.5a), entre los puntos de aplicación de las dos fuerzas obtenemos el diagrama de la porción "AC". Estas fuerzas elementales se llaman fuerzas cortantes y la magnitud de "P" de su resultante es el cortante en la sección (Fig. 5b). Dividiendo la fuerza cortante "P" por el área de la sección "A", se obtiene el esfuerzo cortante promedio en la sección. Designando el esfuerzo cortante por la letra griega τ (tau), escribiendo:

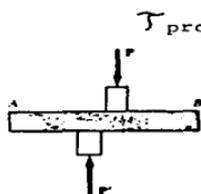


FIGURA 4

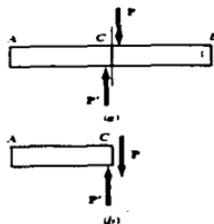


FIGURA 5

I-I-1.4. Estado biaxial de tensiones

En una barra prismática sometida a una extensión pura, se le llama "tensión" a la fuerza que actúa por unidad de superficie; $\sigma_x = F/A$ (A =sección según $r-r'$). Figura 6
Si consideramos otra sección "S" (según P-P') cuya normal forma un ángulo "θ" con el eje de aplicación de fuerzas, la tensión según el eje "X" valdrá:

$$\sigma_x = F/A' = F/A \cos \theta = \sigma_x \cos \theta \dots \dots \dots (1)$$

y descomponiéndola en las direcciones normal y tangencial - respectivamente de P-P' tendremos que:

$$\sigma_n = \sigma_x \cos \theta \cos \theta = \sigma_x \cos^2 \theta \dots \dots \dots (2)$$

$$\tau = \sigma_x \cos \theta \sin \theta = \tau \sigma_x \sin \theta \dots \dots \dots (3)$$

llamandose la ecuación (2) tensión normal y (3) tensión - cortante.

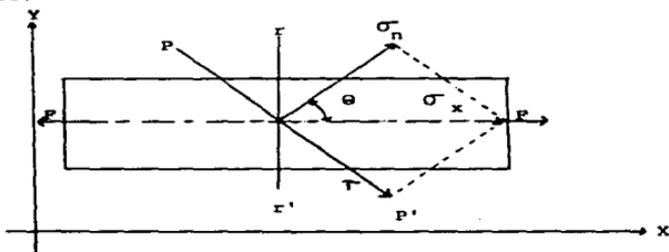


FIGURA 6

I.I-1.5 Componentes de esfuerzo

Existen seis componentes de esfuerzo para definir el estado de esfuerzos en un punto dado "Q" (figura 7). Estos son:

σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx} .

Donde las ecuaciones de equilibrio son:

$$\sum F_x=0 \quad ; \quad \sum F_y=0 \quad ; \quad \sum F_z=0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\sum M_x=0 \quad ; \quad \sum M_y=0 \quad ; \quad \sum M_z=0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

Las fuerzas normales y cortantes actúan en las diferentes caras del cubo se obtienen multiplicando las correspondientes componentes de esfuerzo, " σ ", por el área, " ΔA ", de cada cara. Donde:

σ_x es el esfuerzo normal sobre un plano cuya normal es paralela al eje "x". Y σ_y su normal es paralela al eje "y".

τ_{xy} es el esfuerzo cortante cuyo primer subíndice corresponde a la dirección normal al plano sobre el que actúa la tensión, el segundo subíndice corresponde a la dirección de la tensión en dicho plano.

τ_{yx} es la componente de esfuerzo cortante paralela al eje "y" ejercida en la cara perpendicular al eje "x".

NOTA: La magnitud de los esfuerzos cambiarán cuando se varíe la orientación de los ejes.

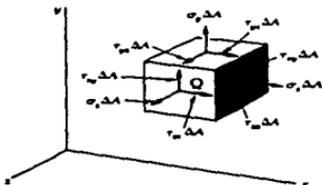


FIGURA 7

I.I-1.6 Transformaciones de esfuerzo plano

En la figura 8 se puede ver dos ejes de coordenadas $x'-y'$, - que han girado un ángulo θ con respecto a los ejes $x-y$. El planteamiento de equilibrio de fuerzas sobre el elemento trapezoidal proporciona las siguientes relaciones entre esfuerzos:

$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \text{Sen } 2\theta \dots (6)$$

$$\sigma_{y'} = \frac{\sigma_{xy} + \sigma_x}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta - \tau_{xy} \text{Sen } 2\theta \dots (7)$$

$$\tau_{x'y'} = \tau_{xy} \cos 2\theta - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \text{Sen } 2\theta \dots (8)$$

Sumando (7) y (8) tenemos: $\sigma_{x'} + \sigma_{y'} = \sigma_x + \sigma_y \dots (9)$

Puesto que $\sigma_z = \sigma_z' = 0$, verificamos entonces en el caso de de esfuerzo plano que la suma de los esfuerzos normales ejercidos en un elemento cúbico de material es independiente de la orientación de dicho elemento.

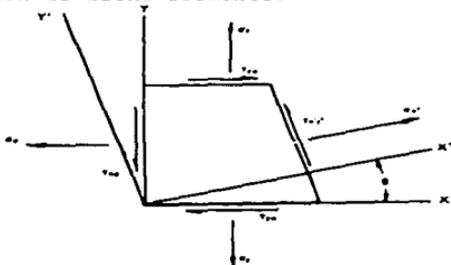


FIGURA 8

I.I-1.7. Esfuerzos principales

El estudio de las ecuaciones (6), (7) y (8) demuestra que se puede encontrar una orientación de ejes $x'-y'$, que haga nula a la tensión cortante $T_{x',y'}$, y que las tensiones normales en esos planos sean un máximo y un mínimo en el punto estudiado (Figura 9). Esto ocurre cuando el ángulo entre el eje x y el eje x' vale:

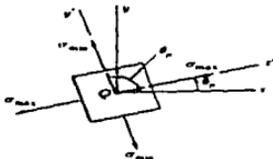
$$\text{Tg. } 2\theta_p = \frac{2 T_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \dots\dots\dots(10)$$

Los ejes x' y y' orientados de tal forma reciben el nombre de ejes principales y las correspondientes tensiones normales $\sigma_{\text{máx}}$ y $\sigma_{\text{mín}}$, son las tensiones principales en ese punto (Figura 9). Teniendo:

$$\text{Esfuerzo normal máximo y mínimo} \\ \sigma_{\text{máx, min}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (T_{xy})^2} \dots\dots\dots(11)$$

Esfuerzo cortante máximo

$$T_{\text{máx}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (T_{xy})^2} \dots\dots\dots(12)$$



NOTA: Los planos de -
esfuerzo cortante máx-
imo forman un ángulo
de 45° con los planos
principales.

FIGURA 9

I.I-1.8. Círculo de Mohr para un esfuerzo plano

Se prepara un gráfico cuyas abscisas (eje X) son los esfuerzos normales y cuyas ordenadas (eje Y) son los esfuerzos cortantes (Figura 10).

Las ecuaciones (6) y (8) del apartado I.I-1.6, darán las coordenadas de un pnto. El lugar geométrico de tales puntos - determinados variando el ángulo "θ", es un círculo con centro en el eje horizontal en:

$$C = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \dots\dots\dots(13)$$

Cuyo radio es:

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \dots\dots\dots(14)$$

Esta representación gráfica del estado de tensiones en un punto se conoce con el nombre de "Círculo de Mohr" (Figura 10). Las tensiones o esfuerzos normales se consideran positivas si son de tracción y negativas si son de compresión y se representan en el eje de las abscisas.

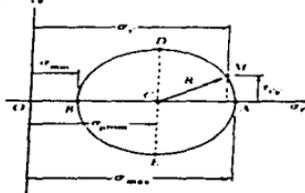


FIGURA 10

NOTA: Si se observa que la abscisa de C y el radio del círculo son respectivamente iguales a las cantidades de las ec. (13) y (14) se concluye que el círculo obtenido es el Círculo de Mohr para esfuerzo plano.

I.1-2 LUGARES GEOMETRICOS DE TENSIONES

En un campo bidimensional de tensiones, pueden definirse varias series de curvas, que nos indican la distribución de tensiones en la superficie del cuerpo, estas son:

- a) **Isocлина:** línea que une puntos con igual inclinación de las tensiones principales (figura 11).
- b) **Isostática** o trayectoria de las tensiones principales. Líneas dibujadas de tal forma, que en cada punto por el que pasa, es tangente a una de las direcciones de las tensiones principales (figura 12).
- c) **Isocromática:** Línea a lo largo de la cual la diferencia entre tensiones principales, $\sigma_1 - \sigma_2$, es constante y se llama así por que en Fotoelasticidad aparece como una banda de color constante.
- d) **Isópaca:** Línea a lo largo de la cual la suma de las tensiones principales es constante.

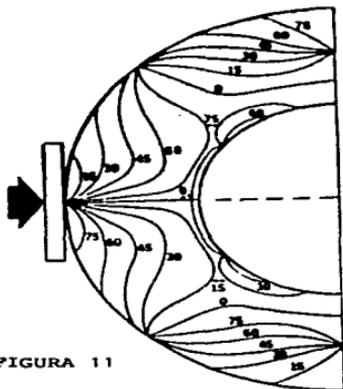


FIGURA 11

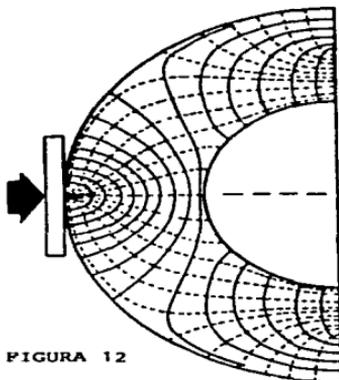


FIGURA 12

I.I-3. DEFORMACION

Una barra BC, de longitud L y de sección transversal uniforme A, que está suspendida en el punto B, (figura 13) se le aplica una carga P, provocando en ella un alargamiento δ (delta) y si la barra tuviera el doble de longitud se alargaría el doble. Pero en ambos casos, el alargamiento unitario, es decir, la razón de alargamiento a la longitud de la varilla es el mismo e igual a:

$$\frac{\delta}{L} = \epsilon \text{ (épsilon) } \quad \text{Llamando a esta relación DEFORMACION (adimensional)}$$

Muchos materiales se comportan aproximadamente lineal siendo la deformación proporcional a la carga aplicada (Roberto Hook) base de la teoría de la elasticidad.

En el caso de un elemento de sección variable A, el esfuerzo σ , varía a lo largo del elemento, la deformación sería:

$$e = \text{Lim } \frac{\Delta \delta}{\Delta x} = \frac{d\delta}{dx} = \frac{\Delta L}{L}$$

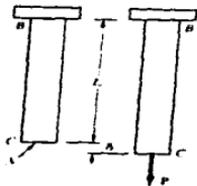


FIGURA 13

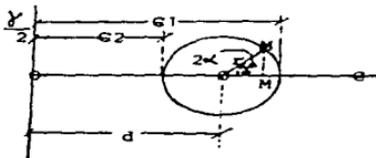
Representación grafica del estado biaxial de de tensiones y de formaciones; Círculo de Mohr

Una de la formas más sencillas y usuales de representación del estado plano de deformaciones y tensiones es el Círculo de Mohr. Recordemos que la deformación en una dirección cualquiera que forman un ángulo " α " respecto a las direcciones principales tiene un valor:

$$\epsilon_{\alpha} = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2} + \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{2} \cos 2\alpha \dots \dots \dots (15)$$

$$\frac{\mu_{\alpha}}{2} = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{2} \text{ Sen } 2\alpha = r \text{ Sen } 2\alpha \dots \dots \dots (16)$$

Podemos representar prácticamente estas ecuaciones según las siguientes figuras 14 y 15.

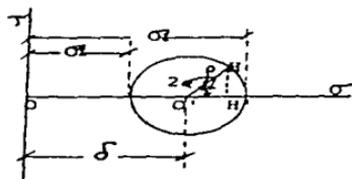


Círculo de Mohr (Deformación)
FIGURA 14

Pués se cumple que:

$$\epsilon_{\alpha} = \overline{OM'} = d + r \cos 2\alpha$$

$$\frac{\mu_{\alpha}}{2} = \overline{MM'} = r \text{ Sen } 2\alpha$$



Círculo de Mohr (Tensión)
FIGURA 15

En esta otra figura - nos indica el Círculo de Mohr para el edo. de tensiones y se ve su similitud con el de deformaciones.

$$\sigma_{\alpha} = \overline{OH'} = \delta + r \cos 2\alpha$$

$$\tau_{\alpha} = \overline{HH'} = r \text{ Sen } 2\alpha$$

Las fuerzas que producen tensiones normales y cortantes manifiestan su efecto por las deformaciones resultantes. En la figura 16 (a y b) muestra, exageradas, ambos tipos de deformaciones unitarias: deformación normal, ϵ , que es el alargamiento o acortamiento figura 16a, y deformación cortante, γ , que es una distorsión angular medida en radianes figura 16b.

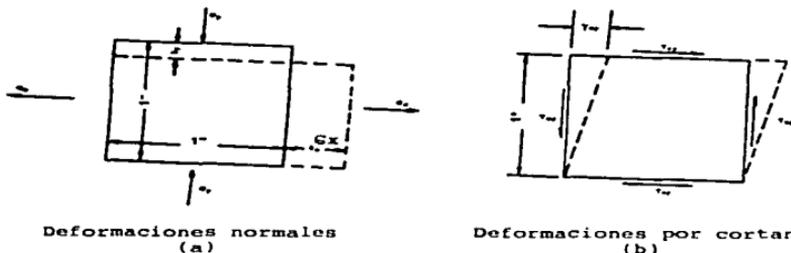


FIGURA 16

El estado de deformación, definido en relación con los ejes X y Y como la combinación de ϵ_x , ϵ_y y γ_{xy} , pueden también expresarse en relación con otros ejes X' e Y', girados con respecto a X e Y.

Suponiendo que las deformaciones son suficiente pequeñas, de tal manera que sólo necesiten tenerse en cuenta los efectos de primer orden (aproximación satisfactoria para la mayor parte de las estructuras de ingeniería), se llega a las siguientes relaciones:

Donde θ es el ángulo entre los ejes:
 $+xy+x'$

$$\left\{ \begin{aligned} \epsilon_{x'} &= \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos 2\theta + \frac{\gamma_{xy}}{2} \sin 2\theta \dots (17) \\ \epsilon_{y'} &= \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} - \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos 2\theta - \frac{\gamma_{xy}}{2} \sin 2\theta \dots (18) \\ \gamma_{x'y'} &= \gamma_{xy} \cos 2\theta - (\epsilon_x - \epsilon_y) \sin 2\theta \dots (19) \end{aligned} \right.$$

Se puede encontrar una pareja de ejes principales de deformación girando a partir de x-y el siguiente ángulo:

$$\tan 2\theta = \frac{Y_{xy}}{G_x - G_y} \dots\dots\dots(20)$$

Con relación a estos ejes, la deformación unitaria cortante es nula. Un estado de deformación unitaria en dos dimensiones está definido por tres parámetros: G_x , G_y y xy , con relación a unos ejes determinados.

La determinación experimental de dicho estado de deformación requiere tres medidas independientes en el mismo punto. El problema se resuelve midiendo la deformación unitaria normal en tres direcciones y resolviendo el sistema de tres ecuaciones de tipo:

$$G_\theta = \frac{G_x + G_y}{2} \cos 2\theta + \frac{Y_{xy}}{2} \sin 2\theta \dots\dots\dots(21)$$

Determinando G_x , G_y , y G_{xy} , sustituyendo a θ por 0° , 45° y 90° ó 0° , 60° , y 120° , en la ecuación anterior.

I.I-3.1. RELACION ESPUEZO DEFORMACION -

Hay dos propiedades para poder deducir las relaciones necesarias para convertir las deformaciones unitarias en esfuerzos en un material homogéneo e isotrópico, estas propiedades son:

I.I-3.2. Ley de Hook

La relación de proporcionalidad entre el esfuerzo uniaxial y deformación en la misma dirección es:

$$\sigma_x = E \epsilon_x \text{ [lb/in}^2, \text{ Klb/in}^2, \text{ Ton/m}^2\text{] } \dots\dots(22)$$

Donde: E= Módulo de elasticidad o Módulo de Young del material.

NOTA: Utilizar la ley de Hook para valores de esfuerzo un poco mayores que el límite de proporcionalidad, no conduce a errores significativos.

Tener un mismo módulo de elasticidad significa que su regidez o capacidad del material en cuestión para resistir una deformación dentro del intervalo elástico es la misma.

I.I-3.3 Efecto Poisson

La tensión uniaxial de $\sigma_x = E \epsilon_x$, produce deformación, no solo en la dirección "x" sino también en las direcciones "y" y "z" siendo estas últimas proporcionales y de signo contrario a la de la dirección "x".

A la relación entre la deformación lateral y la axial se conoce como la Relación de Poisson", y se le designa por la letra ν (nu). Teniendo:

$$\nu = \left| \frac{\text{deformación lateral}}{\text{deformación axial}} \right|$$

$$\nu = - \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} = - \frac{\epsilon_z}{\epsilon_x} \dots\dots\dots(23)$$

I.I-3.4 Ley generalizada de Hook

Cuando elementos estructurales estan sometidos a cargas que - actuan en las direcciones de los tres ejes y producen esfuerzos normales todos diferentes de cero, a ésta condición se le llama carga multiaxial.

La expresión generalizada para la Ley de Hook superponiendo - los efectos antes descritos, queda de la siguiente manera:

$$\begin{array}{l} \text{Ley} \\ \text{Generalizada} \\ \text{de} \\ \text{Hook} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \sigma_x = \frac{\sigma_x}{E} - \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} - \sqrt{\frac{\sigma_z}{E}} \dots\dots\dots (24) \\ \sigma_y = \frac{\sigma_y}{E} - \sqrt{\frac{\sigma_x}{E}} - \sqrt{\frac{\sigma_z}{E}} \dots\dots\dots (25) \\ \sigma_z = \frac{\sigma_z}{E} - \sqrt{\frac{\sigma_x}{E}} - \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \dots\dots\dots (26) \end{array} \right.$$

Despejando las tensiones se tiene tres ecuaciones del siguiente tipo:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-2\nu} - [\sigma_x + \frac{\nu}{1-\nu} (\sigma_y + \sigma_z)] \dots\dots\dots (27)$$

El problema es determinar las deformaciones unitarias en un punto de la superficie de un cuerpo; caso normal de un campo de tensiones bidimensional. En estas condiciones, la tensión normal a la superficie, es decir σ_z , es cero y las ecuaciones (24), (25) y (26) se reducen a:

$$\sigma_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \sqrt{\sigma_y}) \dots\dots\dots (28)$$

$$\sigma_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - \sqrt{\sigma_x}) \dots\dots\dots (29)$$

$$\sigma_z = \frac{-\nu}{E} (\sigma_x + \sigma_y) \dots\dots\dots (30)$$

NOTA:

A la Ley Generalizada de Hook para carga multiaxial son válidos únicamente si los esfuerzos no exceden el límite de proporcionalidad y las deformaciones involucradas permanecen pequeñas.

Un valor positivo para una componente de la deformación, indica tracción en la dirección correspondiente y un valor negativo indica compresión.

Análogamente, un valor positivo para una componente de deformación indica expansión en la dirección correspondiente y un valor negativo, contracción.

I.I-3.5. Deformación de corte

Las deformaciones de corte, sin embargo, tenderán a convertir el elemento cúbico en un paralelepípedo oblicuo.

La proporción inicial del diagrama de esfuerzo cortante-deformación es una línea recta.

Para valores de esfuerzo cortante que no exceden el límite de proporcionalidad a cortante, para cualquier material homogéneo e isotrópico podemos escribir por lo tanto las siguientes ecuaciones que relacionan los esfuerzos y deformaciones cortantes linealmente como:

$$\tau_{xy} = G \gamma_{xy} \dots \dots \dots (31)$$

$$\tau_{yz} = G \gamma_{yz} \dots \dots \dots (32)$$

$$\tau_{zx} = G \gamma_{zx} \dots \dots \dots (33)$$

Donde: G es el Módulo de regidez del material ó Módulo de corte del material.

Llamandole a las tres ecuaciones anteriores Ley de Hook para esfuerzos cortantes y deformaciones cortantes.

Cada uno de los esfuerzos y deformaciones cortantes actúan in dependientemente de las otras y de las tensiones y deformaciones normales.

El Módulo de elasticidad transversal y el longitudinal se relacionan por la siguiente ecuación:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \dots\dots\dots(34)$$

I.I- 3.6. Diagrama esfuerzo-deformación

Para obtener un diagrama esfuerzo-deformación, se realiza una prueba de tracción .

El diagrama se obtiene tomando a " ϵ " como abscisa y a " σ " como ordenada. Donde ϵ es la deformación y σ es el esfuerzo. Existen dos factores que influyen directamente en este diagrama, estos son: la temperatura y la velocidad de carga en la prueba.

Los materiales para pruebas se pueden dividir en dos amplias categorías: **Materiales dúctiles** y **Materiales frágiles**.

Los primeros incluyen el acero estructural y varias aleaciones de otros metales, se caracterizan por la capacidad para fluir a temperaturas. Cuando la probeta es sometida a carga creciente, su longitud varía en un principio linealmente con la carga con muy baja rapidez. (Línea recta pendiente considerable). Después de alcanzar un valor crítico σ_y , la probeta experimenta una gran deformación con un pequeño incremento de la carga . Esta deformación es ocasionada por esfuerzos constantes. Después de alcanzar cierto valor máximo de la carga, el diametro de una parte de la probeta comienza a disminuir (estricción).

La rotura ocurre en una superficie casi cónica que forma un ángulo de 45° con respecto a la superficie original.

El esfuerzo al cual inicia la fluencia (σ_y), se conoce como punto de fluencia del material.

El esfuerzo σ_u u o carga máxima es la resistencia final.

El esfuerzo σ_B , es la resistencia a la rotura.

En la figura 17 muestra los diagramas esfuerzo-deformación antes descritos, de dos materiales dúctiles típicos.

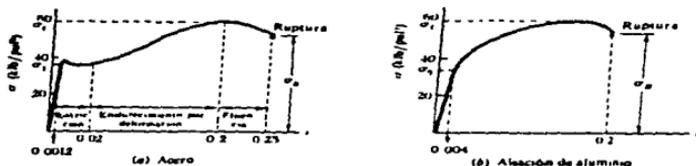


FIGURA 17

Materiales frágiles: Los materiales como el hierro fundido, - vidrio y la piedra, entre otros se caracterizan por el hecho de que la rotura se presenta sin cambio apreciable en la razón de alargamiento.

La deformación es pequeña para materiales frágiles que para - dúctiles.

La rotura ocurre en una superficie perpendicular a la carga. Los esfuerzos normales son principales causantes de la falla de los materiales frágiles. Sin embargo un material que a tem peraturas normales es dúctil, puede presentar las características de un material frágil a temperaturas muy bajas, mien- - tras que un material normalmente frágil puede comportarse dúc- - til a temperaturas muy altas.

En la figura 18 muestra un diagrama esfuerzo-deformación para un material frágil típico

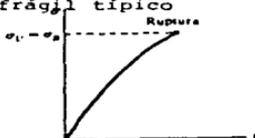


FIGURA 18

Si una probeta estuviera cargada a compresión la curva (σ - ϵ) sería esencialmente la misma hasta la iniciación de la porción que corresponde a la fluencia y el endurecimiento por deformación.

Comportamiento elástico y plástico:

Se dice que el material se comporta elásticamente si las deformaciones causadas en una probeta por la aplicación de cierta carga desaparecen al remover ésta, es decir vuelve al estado original. El máximo valor de esfuerzo para el cual el material se comporta elásticamente es el llamado "Límite elástico". El material se comporta elásticamente y linealmente siempre que el esfuerzo se mantenga por debajo del punto de fluencia. En caso contrario si se llega al límite de fluencia y cuando se retira la carga, el esfuerzo y la deformación decrecen linealmente, el hecho de que no vuelva a cero o sea a su estado original después de retirar la carga indica que ha tenido lugar una deformación permanente o plástica. La parte de la deformación plástica se llama deslizamiento y la parte que depende del tiempo, que también es influenciada por la temperatura se conoce como flujo.

I.II. TIPOS DE ANALISIS

I.II-0. ANALISIS EXPERIMENTAL DE ESPUERZOS

(Introducción)

Se puede afirmar, que los mayores avances logrados en mécaica en las dos décadas pasadas han dependido de laguna manera, para su éxito, del "Análisis experimental de esfuerzos". Hace todavía tan sólo 25 años el análisis experimental de esfuerzos era prácticamente desconocido. El rápido desarrollo - de este campo ha conducido a la acumulación de una gran cantidad de información dedicada a técnica y métodos avanzados especializados.

El análisis experimental de esfuerzos trata de los ensayos y pruebas prácticas por medio de los que se puede determinar el estado de tensiones de un cuerpo. Normalmente las técnicas - que se usan, miden deformaciones unitarias a partir de las - cuales se obtienen las tensiones.

La particularidad de este apartado es de proporcionar información general y detallada de los principios básicos, instrumentos y aplicaciones de los diferentes métodos experimentales. Entre estos métodos y técnicas podemos mencionar:

- La técnica experimental de "Fotoelasticidad"
- La técnica de los "Barnices frágiles"
- El método de "Muaré"
- La técnica de la "Extensometría"

Dentro de la Extensometría tenemos los extensómetros mecánicos y los Extensómetros eléctricos. Estos últimos se describirán en forma más detallada y se tomaran como base ya que esta técnica es menos laboriosa, más práctica, eficaz y precisa para nuestro proposito particular.

I.II-1. FOTOELASTICIDAD

I.II-1.1. Definición:

La Fotoelasticidad es una técnica experimental para el análisis de tensiones y deformaciones, que resulta particularmente útil para piezas que tengan geometría complicada o condiciones de carga complejas o ambas cosas.

En tales casos, los métodos analíticos son extraordinariamente complicados o incluso imposibles y, por ello, el análisis debe intentarse por un método experimental.

El nombre Fotoelasticidad refleja la naturaleza de este método experimental: "Foto" implica la utilización de rayos luminosos y técnicas ópticas, mientras que la "Elasticidad" denota el estudio de las tensiones y deformaciones en los cuerpos elásticos.

I.II-1.2. Utilidad y ventajas

El análisis fotoelástico se utiliza con frecuencia cuando se necesita información sobre las tensiones y deformaciones en una zona extensa de la estructura y particularmente para piezas que tengan geometría complicada o condiciones de carga complejas o ambas cosas. Además proporciona una visión cuantitativa de áreas sometidas a grandes esfuerzos y puntas de tensiones, tanto en el exterior como en el interior de la estructura, reconoce áreas de tensiones bajas en las que el material está mal aprovechado. Estas y otras ventajas nos proporcionan este tipo de análisis en comparación con los que posteriormente se describirán.

I.II-1.3. Descripción del análisis fotoelástico

-El método fotoelástico está basado en una propiedad única de algunos materiales transparentes, en particular ciertos plásticos.

-Consiste en la aplicación de un rayo luminoso en un modelo de una parte estructural, hecha de un material fotoelástico, cuando este modelo esta sometido a fatigas mecánicas.

-Dicho rayo penetra a lo largo de uno de los ejes principales de tensiones y se divide en dos ondas componentes, cada una con su plano de vibración (plano de polarización), paralelo a uno de los planos principales. (figura 1.1)

-Ademas la luz recorre dos caminos con velocidades diferentes, que dependen de las magnitudes de las tensiones principales - en el material.

Onda de luz plana polarizada en un modelo birrefringente (Ilustración tomada de la bibliografía: Análisis experimental de tensiones)

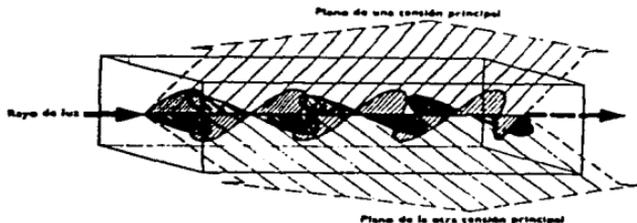


FIGURA 1.1

-Como las ondas de luz atraviesan el cuerpo a diferentes velocidades, las ondas salen con una nueva relación de fase o retraso relativo. El retraso relativo específicamente es la diferencia, el número de longitudes de onda que experimentan - los dos rayos al atravesar el cuerpo.

-A este fenómeno se le llama doble refracción y es el mismo - que ofrecen determinados cristales ópticos, pero en Fotoelasticidad la doble refracción es artificial, estando controlada por el estado de tensiones en cada punto del cuerpo.

-Las dos ondas se llevan juntas al polariscopio fotoelástico (aparato empleado para producir imágenes fotoelásticas) y se les hacen que entren en interferencia óptica. Si el retraso relativo (N) es :0, 1, 2, 3, ciclos, las ondas se refuerzan entre sí y el efecto combinado es una mayor intensidad luminosa (esto se refiere al polariscopio con campo luminoso - circular).

-Si la diferencia de fase (N) es $1/2$, $3/2$, $5/2$, $7/2$, ciclos, la amplitud de las dos ondas que se interfieren es igual y opuesta; la interferencia anula la resultante y la intensidad luminosa disminuye hasta cero (extinción). Se logran intermedias para valores intermedios de (N).

-De este modelo de la parte estructural se obtiene un dibujo fotoelástico formadas por bandas oscuras y luminosas, como - se muestran en las figuras 1.2 y 1.3.

- En la nomenclatura, relativa a interferencias ópticas, estas bandas reciben el nombre de franjas y el orden de la franja se define por el valor de (N) en la banda en cuestión.



FIGURA 1.2
BANDAS ISOCROMATICAS DE UNA LLAVE INGLESA

(Ilustraciones tomadas del folleto METRONIC,
S.A. Mediciones y estudios de análisis ex-
perimental de esfuerzos)



FIGURA 1.3
PATRON DE BANDAS ISOCROMATICAS EN EL MODELO
FOTOELASTICO DE UN GANCHO

Las bandas isocromáticas obtenidas se pueden relacionar en el campo de tensiones por la siguiente ecuación:

$$\sigma_x - \sigma_y = \frac{E}{(1 + \nu)} (\epsilon_N) \dots \dots \dots (1.1)$$

Donde:

σ_x, σ_y = Son las tensiones principales.

E = Módulo de elasticidad del material en prueba.

ν = Relación de Poisson.

f = Valor de la franja de recubrimiento.

N = Orden de la franja (retraso relativo de los rayos que forman la franja).

Con un ejemplo puede quedar más claro este tipo de análisis en la obtención de los esfuerzos.

En un caso particular, cuando el estado de esfuerzos es de tipo uniaxial, es decir cuando la carga se está manifestando en un solo sentido y por ende uno u otro de los esfuerzos principales es igual a cero ($\sigma_x = 0 = \sigma_y$) en la ecuación (1.1) Ejemplo:

En la figura 1.5 muestra una porción de superficie de una máquina de acero en la cual se le ha aplicado un recubrimiento fotoelástico, como esta indicado. Las muestras fotoelásticas han sido tomadas exactamente en el hueco del borde y en la arista.

El estado de esfuerzos uniaxial en los puntos "a" y "b" son mostrados en la amplificación de los diagramas de cuerpo libre de los elementos de la materia removida, cargada en la parte de abajo en condiciones de servicio normal. Observado el recubrimiento con un polariscopio de 0.30 series, con una franja de orden 2 observada en el punto "a" y a \perp respecto -

-al punto "b". Con calibración previa, tiene un valor de franja establecida de $1100 \mu\text{G}$ por franja de este recubrimiento. Así de esta de esta manera en el punto "a" en la región crítica puede calcularse directamente por la ecuación (1.1). Considerando el factor $\frac{E}{1+\nu} = 23.5 \times 10^6 \text{ PSI}$ (acero)

$$\sigma_x - 0 = (23.5 \times 10^6) (1100 \times 10^{-6}) \left(\frac{1}{2}\right)$$

$$\sigma_x = 51\,700 \text{ PSI} = 356 \text{ MPa}$$

Similarmente para el esfuerzo principal en "y"

$$\sigma_y = (23.5 \times 10^6) (1100 \times 10^{-6}) \left(\frac{1}{2}\right)$$

$$\sigma_y = 19\,400 \text{ PSI} = 134 \text{ MPa}$$

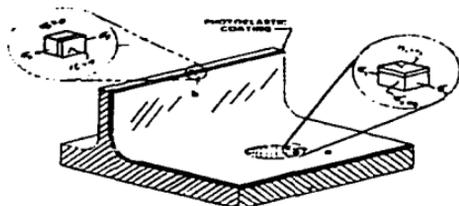


FIGURA 1.5

En resumen:

Un análisis fotoelástico co convencional tiene la siguiente secuencia:

- a) Se fabrica un modelo. (figura 1.4 a)
- b) Se carga y se coloca en le polariscopio.
- c) Los patrones de franja son analizados y fotografiados. (figura 1.4 b)
- d) El siguiente paso es la interpretación de los patrones de franjas. (figura 1.4 c) Este paso es básico en la interpretación, ya que es el verdadero resultado de la prueba.
- e) En este paso, se debe de discutir la interpretación de los patrones de franjas isocromáticas e isóclinas, las técnicas de compensación, de separación y la escala entre los esfuerzos del modelo y del prototipo.

Esto es una descripción bastante general que es aplicable a la Fotoelasticidad, al método de recubrimiento fotoelástico así como a la fotoelasticidad tridimensional.

Estos tres métodos nos determinarán las tensiones y deformaciones por medio de aparatos específicos para un propósito muy particular.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 1.4

I.II-2. BARNICES FRAGILES

I.II-2.1 Definición y tipos

Existen una gran variedad de barnices frágiles sensibles a la deformación, se componen básicamente de ciertas resinas de la madera disueltas en bisulfuro de carbono, de tal manera que puedan pulverizarse sobre las piezas que quieren ensayarse. En los procesos de formulación se añaden plastificantes en proporciones variadas, para producir barnices con diferentes características de rotura. Estos Barnices son conocidos comercialmente por los nombres Stresscoat y Stresscoat All-Temp, nombres que agrupan a un sinúmero de barnices fabricados en Los Estados Unidos de Norteamérica. Si se quiere o se interesa en un barniz en particular se debe consultar el manual de empleo Stresscoat que da instrucciones detalladas sobre las técnicas de aplicación de cada tipo de barniz.

I.II-2.2. Ventajas y usos

Los barnices frágiles tienen un cierto número de características ventajosas. La longitud efectiva de medida se aproxima a cero; proporciona una información gráfica de la distribución de las deformaciones en toda la superficie del cuerpo, mostrando las áreas sobresalientes por concentración de tensiones; puede aplicarse a cualquier parte mecánica de una estructura, cualquiera que sea el material, la forma o el tipo de carga y en la mayoría de los casos, proporcionan las direcciones de las tensiones principales en cualquier punto de la superficie de la parte de la estructura que se somete a la carga en el campo elástico. (figura 2.1)

Los equipos de barnices frágiles existentes en el comercio - pueden usarse en consecuencia para los siguientes fines:

- a) Localizar pequeñas áreas de altas tensiones y determinar las direcciones de las tensiones principales.
- b) Medir las magnitudes aproximadas de las concentraciones de tensiones de tracción o de compresión bajo cargas estáticas.
- c) Medida de tensiones residuales de tracción y compresión.
- d) Indicación de las deformaciones plásticas localizadas.

**ESTUDIO CON LACAS FRAGILES DE LA DISTRIBUCION DE
ESFUERZOS EN LA JUNTA DE UNA ESTRUCTURA TUBULAR
(Ilustración tomada del folleto METRONIC, S.A.
Mediciones y estudio de análisis experimental
de esfuerzos)**



FIGURA 2.1

I.II-3.3. Descripción de la técnica

La técnica de los barnices frágiles utilizada en el análisis experimental de tensiones, consiste en la aplicación de un recubrimiento de un material frágil y de poca resistencia sobre la pieza estructural que se requiere ensayar, en la realización del proceso de carga de la pieza y en análisis de las grietas resultantes en el barniz, con el fin de obtener información referente a las deformaciones unitarias superficiales. El barniz debe adherirse a la pieza estructural y será susceptible de calibrado cuando el método se use para determinar tensiones y deformaciones. Generalmente, el barniz se agrieta formando ángulos rectos con las direcciones de máxima deformación de tracción y, aproximadamente, para magnitudes de la tensión que puede determinarse.

Para poder dominar esta técnica es necesario analizar detalladamente cada uno de los siguientes factores:

- a) Aplicación del barniz.
- b) Espesor del barniz.
- c) Curado de los barnices
- d) Fluencia del barniz.
- e) Selección de barnices y calibrado.
- f) Técnica de la observación de grietas.
- g) Medida de tensiones de compresión estáticas por relajación de cargas.
- h) Medida de tensiones de tracción de impactos.
- i) Medida de tensiones residuales.

I.II-3. METODO DE MUARE

I.II-3.1. Definición

El efecto muaré es un fenómeno óptico que se percibe cuando se superponen dos conjuntos de líneas muy próximas y se observan con la luz transmitida o reflejada. Si las dos redes o rayas consisten en líneas opacas paralelas, no tienen la misma separación entre ellas o la misma orientación, se producirá interferencia entre ambas, apareciendo las "franjas muaré".

I.II-3.2. Aplicación

La formación de "franjas muaré" por dos haces de líneas puede emplearse en el análisis experimental de esfuerzos, para obtener desplazamientos de los diferentes puntos de una superficie, de los que pueden deducirse los valores de tensiones y deformaciones.

El método de muaré para el análisis de tensiones y deformaciones tiene grandes posibilidades, en teoría, pues proporciona datos en toda la superficie de la pieza a ensayar, de manera similar a la Fotoelasticidad, los mayores problemas que se encuentran generalmente asociados a la utilización de este método, radica en la posibilidad de obtención de conjuntos de líneas de separación suficientemente pequeñas.

El método queda limitado por una baja sensibilidad y, por ello resulta de mayor aplicación en problemas donde existen grandes deformaciones.

En la aplicación del método muaré se utiliza la siguiente técnica para convertir el dibujo de franjas en deformaciones unitarias:

Se obtienen dos muarés con las redes de líneas del modelo y de referencia orientadas primeramente en la dirección del eje "x" (figura 3.1) y después en las del eje "y" (figura 3.2) del plano cartesiano.

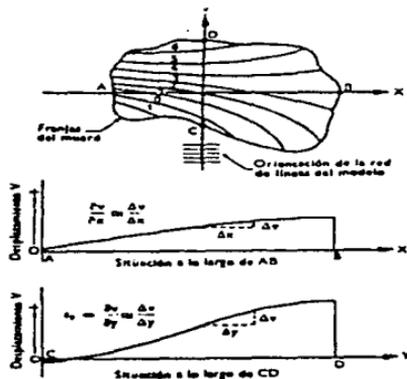
Se trazan líneas según los ejes "x" e "y", y sean AB y CD en las figuras citadas, siendo fácil de determinar los desplazamientos "U" y "V" a lo largo de estas líneas fijándose en que:

$$\text{Desplazamiento } U, V = \frac{N}{P}$$

Donde:

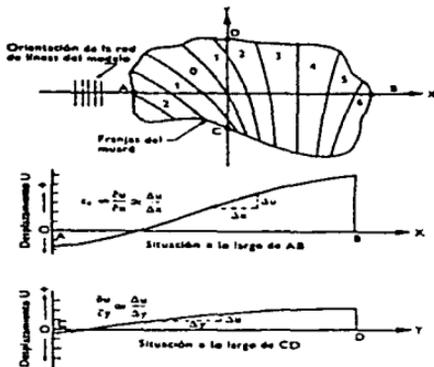
N = orden de la franja muaré

P = separación de líneas (líneas/cm)



Gráficos desplazamiento/situación utilizados para determinar $\partial u/\partial x$ y $\partial v/\partial y$.

FIGURA 3.1



Gráficos desplazamiento/situación utilizados para determinar $\partial u/\partial x$ y $\partial u/\partial y$

FIGURA 3.2

Las tangentes trazadas a estas curvas dan: $\partial u/\partial x$, $\partial u/\partial y$, $\partial v/\partial x$, $\partial v/\partial y$ como se muestran en las figuras. pueden utilizarse entonces para determinar G_x , G_y y γ_{xy} las ecuaciones $G_x = \partial u/\partial x$, $G_y = \partial v/\partial y$, $\gamma_{xy} = \partial u/\partial y + \partial v/\partial x$. Si se trazan en todas las áreas críticas líneas similares a las AB y CD, se puede obtener una visión completa de las deformaciones unitarias en toda la extensión del modelo.

I.II-3.3. Descripción del método

Este método en la práctica se coloca una de las redes de líneas (llamadas red del modelo) sobre la superficie del modelo y otra red de referencia, generalmente de la misma separación entre líneas paralelas y próxima a la del modelo.

Cuando se carga el modelo se deformarán sus líneas y seguirán los movimientos de la superficie que se produzcan en el modelo. Como es lógico, las líneas de referencia no cambiarán, - como consecuencia, se formarán unas franjas de interferencia llamadas *muaré* (figura 3.3) al transmitirse la luz entre dos redes de líneas.

La transmisión de la luz a través de las líneas del modelo y - de referencia, consiste en una serie de escalones luminosos - con anchos diferentes, dependiendo de la distorsión de la red de líneas del modelo.

Queda pues claro que las franjas *muaré* son lugares geométricos de los puntos que tienen la misma componente de desplazamiento en dirección perpendicular a las líneas de red de referencia.

TRES TIPOS DE FRANJAS MUARE

(Ilustración tomada de la bibliografía: Analisis experimental de tensiones)

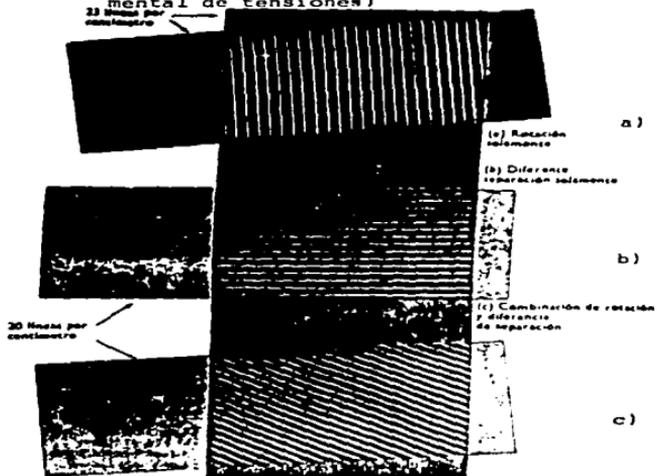


FIGURA 3.3

I. II-4. EXTENSOMETRIA

Esta técnica tiene por objeto la medida de las deformaciones unitarias exteriores, y la obtención a través de ellas del estado superficial de tensiones existentes en un punto.

En un principio las limitaciones de su empleo han sido debidas a las dificultades tecnológicas de su puesta en práctica. Pero el desarrollo experimentado por la electrónica en los últimos años ha crecido, de tal modo que su aplicación ha hecho que la extensometría deje de estar al servicio exclusivo de los laboratorios ya sea cada vez más utilizada en los procesos industriales de fabricación.

Numerosos utilizadores comprenden las ventajas del método, pero su especialidad no es la electrónica y se encuentran con dificultades, no solo con la elección del equipo mejor adaptado a la resolución de su problema y en la utilización práctica de los extensómetros eléctricos, sino en el procesado de los datos obtenidos.

Como en lo particular de este trabajo de tesis, se verá la aplicación directa de los extensómetros eléctricos en un problema de ingeniería, será de gran importancia tratar brevemente los fundamentos y principios básicos de esta tecnología y su campo de aplicación, el equipo electrónico asociado y del tratamiento de los datos obtenidos en función de los principios básicos de la mecánica de materiales.

I.II-4.1. EXTENSOMETROS MECANICOS

I.II-4.1.1. Definición

Un extensómetro mecánico es aquel instrumento que mide deformaciones a través de elementos mecánicos, realizándose medidas directas en el cambio de longitud de una probeta. Estas medidas mecánicas consisten en amplificar los desplazamientos relativamente pequeños hasta valores apreciables a simple vista.

La amplificación de los desplazamientos se pueden hacer a través de métodos fundamentales y aparatos transductores que utilizan técnicas para este propósito.

I.II-4.1.2. Ventajas y desventajas

Las mayores desventajas en relación con los extensómetros eléctricos de resistencia son el peso, el tamaño, la mala respuesta frente a fenómenos dinámicos y el gran margen de medida limitado.

Sin embargo hay muchos casos en que la seguridad en su calibrado, junto un alto costo de instrumentación electrónica, hace interesante la utilización de aparatos de medida de desplazamientos mecánicos.

Por otra parte, un extensómetro mecánico puede usarse para hacer lecturas en un gran número de posiciones, usando puntos fijos para señalar la longitud de medida en base a cada uno de ellos.

I.II-4.1.3. Tipos y clasificación

E
X
T
E
N
S
I
O
N
E
S
M
I
N
I
M
I
S
T
R
O
S

EXTENSOMETROS DE
LECTURA DIRECTA

Extensómetro Whittmore

Extensómetro de Forest

EXTENSOMETROS DE
AMPLIFICACION
MECANICA SENSILLA

Extensómetro de cuña

Extensómetro Berry

Extensómetro Olsen

EXTENSOMETROS DE
SISTEMA DE PALAN-
CAS MULTIPLES

Extensómetro de Porter-
Lipp

Extensómetro Huggenberger

EXTENSOMETROS CON
PALANCAS OPTICAS

Extensómetro de espejos
Marten

Extensómetro óptico Tu-
ckerman

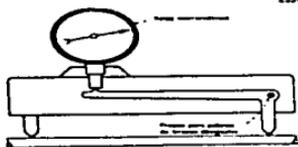
EXTENSOMETROS CON
OTROS SISTEMAS DE
AMPLIFICACION

Extensómetro con célula
fotoeléctrica

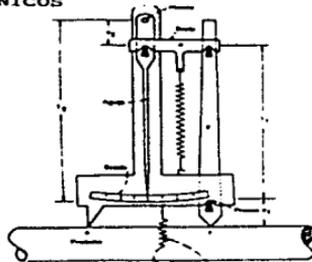
Extensómetro de vidrios
planos

Extensómetros neumaticos

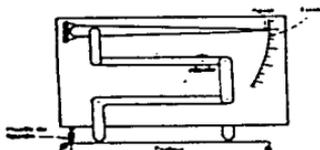
EXTENSOMETROS MECANICOS



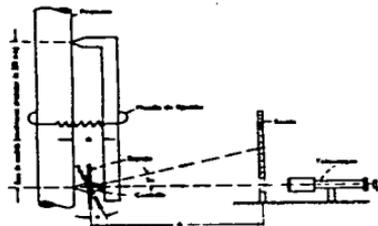
BERY



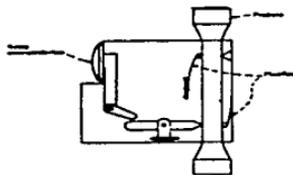
HUGGENBERGER



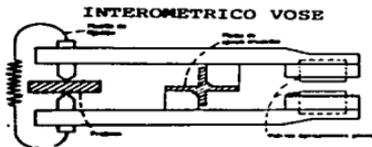
PORTER-LIPP



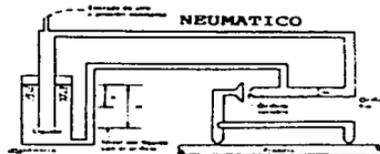
MARTEN



TINIUS OLSEN



INTEROMETRICO VOSE



NEUMATICO

I.II-4.2. EXTENSOMETROS ELECTRICOS

I.II-4.2.1. Definición

El extensómetro eléctrico de resistencia es un elemento que - transforma pequeños cambios de dimensión en cambios equivalentes de resistencia eléctrica. Su utilización constituye un me dio de medir y registrar la deformación como una magnitud - eléctrica .

Los extensómetros eléctricos son los dispositivos de mayor uso en la medición de deformación unitaria. Su operación se basa en el principio de que la resistencia eléctrica de un conductor cambia cuando se le sujeta a la deformación mecánica. En el caso típico, se pega un conductor a la muestra, en condiciones libres de carga, con un pegamento aislante. A continua ción se le aplica la carga, lo cual produce una deformación en la muestra y en el elemento resistivo.

El valor de la deformación se obtiene por medio de la medición de cambio de resistencia eléctrica en el elemento y por un - procedimiento de cálculo que se describirá más adelante.

La extensometría tiene por objeto la medida de las deformaciones superficiales de los cuerpos, y por ello sirve para evaluar todas las magnitudes físicas capaces de originar deformaciones superficiales en los cuerpos sobre los que actúen.

I.II-4.2.2. Desarrollo histórico

El estudio de la variación de la resistencia eléctrica de un conductor en función de la variación de sus características - mecánicas fué iniciado en 1856 por THOMSON.

Los primeros ensayos de medida de alargamiento superficial de un material fueron efectuados al principio del siglo XX.

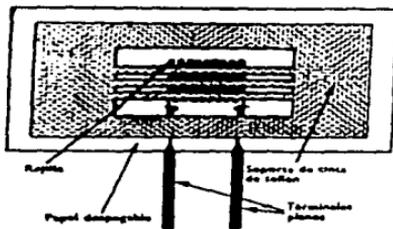
El elemento resistente estaba constituido por un depósito de carbono coloidal sobre un soporte aislante, pero a pesar de -

de una gran sensibilidad, estos extensómetros eléctricos no pasaron jamás del laboratorio, ya que la influencia de las variaciones de temperatura y del estado higométrico impidieron toda medida válida.

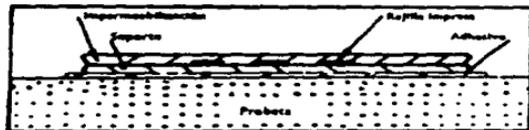
En el año de 1935 el profesor SIMMONS, de Estados Unidos de America realizó las primeras experiencias sobre hilo metálicos en colados, y en el año de 1937 el profesor RUGE, del Instituto de Tecnología de Massachusetts creó las primeras galgas constituidas por un hilo metálico plegado varias veces por sí mismo.

La entrada en guerra de los Estados Unidos de Norteamérica implicó un gigantesco programa de estudios de construcciones navales y aeronáuticas, siendo entonces utilizada la extensometría de una manera sistemática, apesar de que la tecnología disponible en aquella época hacía difícil su aplicación.

I.II-4.2.3. Partes y fabricación de extensómetros eléctricos
 Una banda extensométrica esta formada por dos elementos funda-
 mentales, que son el soporte y el conductor eléctrico sensi-
 ble a las deformaciones (figuras 4.1, 4.2) , habiendo evolu-
 cionado grandemente a la constitución y técnicas de fabricación
 de dichos elementos.



VISTA SUPERIOR (EXTENSOMETRO)
 FIGURA 4.1



VISTA LATERAL (EXTENSOMETRO)
 FIGURA 4.2

En un principio se emplearon con gran difusión soportes de pa pel y conductores de sección circular (figura 4.3), pero en o tros, presentaban los grandes inconvenientes de la higroscopi i dad del papel, que hacía perder el aislamiento de la banda y el elevado factor de sensibilidad transversal en las partes - curvas del conductor, intentándose compensar éste último efeg to dando forma de zig-zag u otros diseños ingeniosos (figura 4.4). Actualmente una banda de calidad se fabrica sobre sopog tes de resina epóxica y por procedimiento de fotograbado, se consiguen formas y dimensiones imposibles por los metodos clá sicos (figura 4.5), ya que los modelos pueden hacerse a esca las muy aumentadas, constituyen éstas las llamadas bandas de trama peculiar o de film metálico.

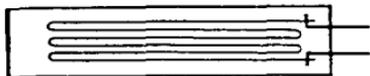


FIGURA 4.3

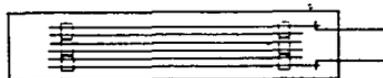
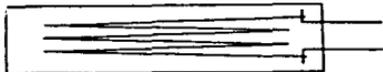


FIGURA 4.4



FIGURA 4.5

Las aleaciones del metal conductor responden a las características específicas de cada tipo, siendo a veces riguroso secreto en el proceso de fabricación, en el que se incluyen técnicas sofisticadas para conseguir mejoras en la utilización de extensómetros (figura 4.6).

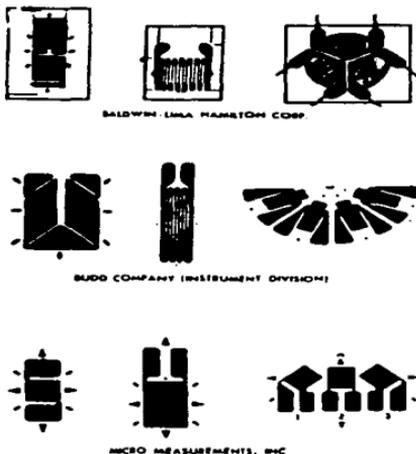


FIGURA 4.6

A título de ejemplo, en la serie CEA de la casa Vishay-Micro-measures, el tratamiento dado a los extremos para soldadura de cables, hace posible que la unión soldada tenga mayor resistencia mecánica a la tracción del cable que normalmente se utiliza, siendo una ventaja que confiere seguridad a una medida extensométrica.

I.II-4.2.4. Estado actual y aplicación

Los extensómetros comercializados actualmente están comprendidos básicamente en dos categorías: los de elemento sensible metálico y los de elemento sensible de semiconductor.

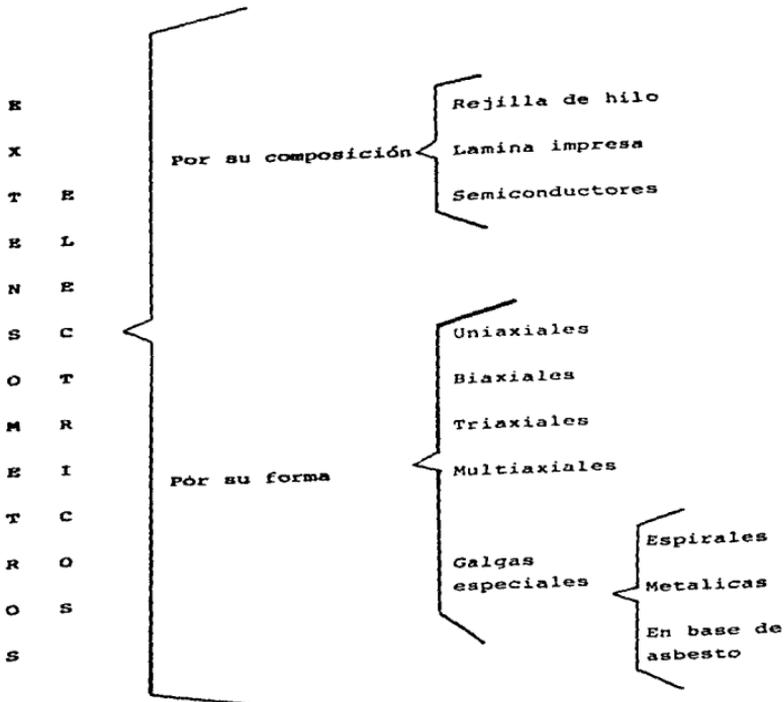
Estos tipos básicos, cuando se utilizan con aparatos de medida adecuados y correctas técnicas experimentales, proporcionan un medio exacto y digno de confianza, para medir deformaciones estáticas y dinámicas en un cuerpo de temperaturas que van desde las criogénicas hasta por encima de los 650°C.

El extensómetro eléctrico de resistencia ha encontrado gran aplicación y aceptación en el desarrollo de transductores (células de carga, aparatos para medida de par y captadores de presión) e instrumentos de medida, que se usan en campos que varían desde el análisis experimental de esfuerzos hasta investigaciones y prácticas médicas y quirúrgicas.

Las medidas de extensómetros son ahora practicadas normalmente en los laboratorios, y en las diversas industrias, como la construcción naval, aeronáutica, material ferroviario, industria del automóvil, estructuras metálicas, máquinas-herramientas, grúas y caldería, oleoductos, unidades de alta presión, grandes máquinas eléctricas, obras públicas,etc.etc.

Su campo de aplicación se amplía continuamente y su utilización se beneficia de las nuevas tecnologías.

I.II-4.2.5. Tipos y clasificación



I.II-4.2.6. Características particulares

a) Por su composición

Extensómetros con rejilla de hilo:

Los tipos constructivos de las rejillas de hilo, las variedades de terminales y las técnicas de unión a la pieza influyen en el comportamiento de los extensómetros.

La construcción en forma de rejilla plana (figura 4.7) debe ser siempre preferida a la enrollada.

Este último tipo de construcción fue necesario, debido a la falta de uniformidad de los hilos de diámetro menores de 0.025 mm., necesarios para lograr extensómetros de alta resistencia de longitud menor de 6mm.

Mientras que los de terminales de hilo cilíndrico de aproximadamente de 0.25mm. de diámetro, son robustos y fácil manejo. Fueron las primeras en usarse y tienen bajo precio.

Galgas de hilo:

- De hilo plano Hilo 30 μ m
Cupro-Níquel ó Níquel-Cromo.
- De solenoide aplastado. Base de papel fenólico
ó baquelita de 500-700 μ m

TIPOS DE EXTENSOMETROS DE REJILLA
PLANA CON DIFERENTES TERMINALES

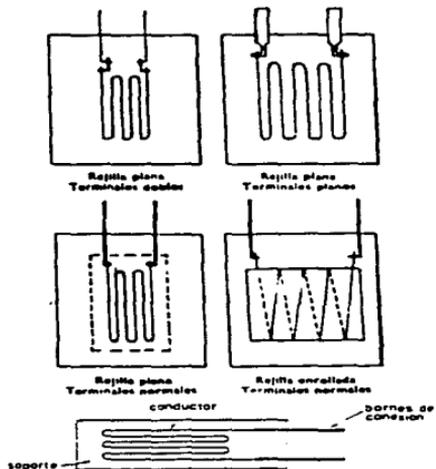


FIGURA 4.7

Extensómetros de lamina impresa o film:

Se fabrican por unproceso de circuito impreso sobre una delgada de una alcaición especial. Los espesores de la lamina oscilan entre 0.0025 y 0.0125 mm.

La gran superficie disponible en los dibujos de la rejilla impresa dan lugar a:

- a) Buenas condiciones de transmisión de calor entre la rejilla y el cuerpo a ensayar.
- b) Son posibles mayores intencidades de corriente sin desarrollar fuertes gradientes de temperatura entre rejilla y probeta y entre rejillas y soporte aislante.

El exeso de material en las vueltas de la rejilla de éste tipo de extensómetros dan lugar a:

- a) Reducir la sensibilidad transversal.
- b) reducir la histerisis y la fluencia.

Las proporciones de los conductores en la rejilla de los extensómetros impresos dan mayor flexibilidad y facilidad de adaptación perpendicularmente a la rejilla de mayor rigidez en los planos paralelos a la misma (figura 4.8).

Galgas de lamina impresa:

-Son las más usadas.

-Niquel-cobre

Constantan
Selcom
Ferry
Karma

} Nombres
comerciales

-Espesor de 4-10 μm

-Base:-epoxy

-Poliester

20-80 μm

EXTENSOMETRO DE LAMINA IMPRESA O FILM. (ilustración tomada de la bibliografía: Análisis experimental de tensiones)

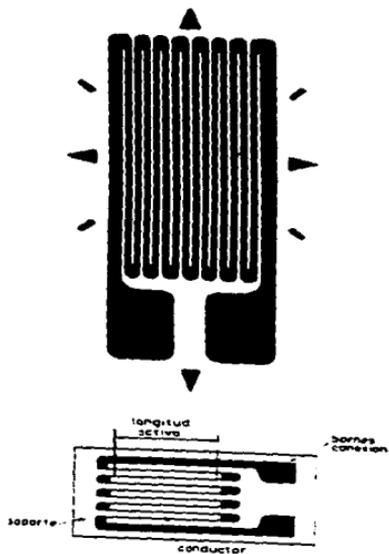


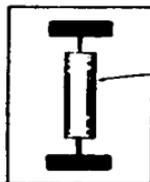
FIGURA 4 - 8

Extensómetros de semiconductores:

- Se hacen generalmente de un circuito de cilicio que es considerablemente más ligero que la mayoría de los metales.
- Los límites de deformación de estos extensómetros son: oscilan entre 1000 y $10\ 000 \times 10^{-6} \text{C}$
- La característica principal de estos extensómetros es su gran capacidad de variación de resistencia en función de la deformación.
- Como estan hechos de material semiconductor se pueden hacer extensómetros de gran resistencia en pequeño tamaño (figura 4.9)
- Los límites de temperatura dependen del soporte o de los elementos a utilizar.
- El cilicio de estos extensómetros presenta alguna sensibilidad a la deformación incluso a temperaturas de 600°C .
- Se debe tener en cuenta este tipo de extensómetros los efectos de los grandes cambios de resistencia en los circuitos eléctricos de medida.
- Como la resistencia de estos extensómetros pueden variar de un 10% a un 20%, hay que considerar sus efectos de los circuitos tipicos.
- Una solución puede ser el utilizar para la alimentación, una fuente de intensidad constante.
- Presentan cambios de resistencia que no son funciones lineales de la deformación.
- Su comportamiento puede comprenderse mejor conociendo las propiedades piezoresistivas de los materiales semiconductores que se utilizan en su construcción.

Galgas semiconductoras:

- Silicio
- Germanio
- Arceño de galio
- Material semiconductor
- Base-E-Poliester
- El factor K puede ser variable hasta $K > 100$
- Tiene gran coeficiente termico
- Precio= 10 veces mayor que las de lamina impresa.



Elemento resistivo
semiconductor

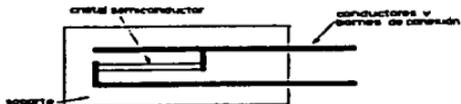
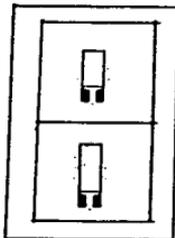


FIGURA 4.9

b) Por su forma

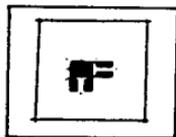
Uniaxiales



Un solo eje de medida

- Longitudes útiles: 0.3m/m - 70m/m
- Aplicación: Deformaciones sobre un solo eje
 - .Determinación de fatigas cuando se conocen las direcciones de esfuerzo (una dirección)
 - .Realización de captadores.

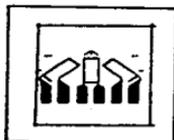
Biaxiales



Dos ejes situados, generalmente a 90°

- Longitudes útiles: 1 - 20 m/m
- Aplicación: Estado de tensiones cuando se conocen las direcciones principales.
 - .Medida de par de torsión.
 - .Captadores compensados.

Triaxiales



Tres ejes

- Longitudes útiles: 2 - 15 m/m
- Aplicaciones: Determinación del estado de tensiones superficiales.

Multiaxiales

Más de tres ejes (normalmente 4 ejes)

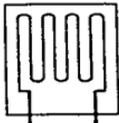
-Aplicaciones: Comprobación de la medición.

Ejm. con 0-90-45 tendremos una medida
con 0-90-135° comprobamos esa medida.
.Un eje de repuesto

Galgas especiales**Espirales**

-Dimensiones: \varnothing 15 - 20 mm

-Aplicación: Medida de presiones.

**Metalicas de hilo**

- Longitud: 10 m/m

- Fijación por soldadura

- Aplicación: Medida de deformaciones hasta en + 1000°C de temperatura.

I.II-4.2.7. Características generales

Las características generales más importantes cuyos diferentes valores podemos observar en los catálogos comerciales son:

- a) **Resistencia de la galga.** Valores comerciales desde 120 ohm hasta 1000 ohm.
- b) **Factor de galga.** Para las galgas normales su valor es 2 y para las semiconductoras llega hasta 200.
- c) **Histéresis mecánica.** Un valor típico es 7.
- d) **Límite de fatiga.** Viene expresado por el número de ciclos que aguanta a un esfuerzo determinado.
- e) **Sensibilidad transversal.** Un valor normal es 1% de la sensibilidad longitudinal.
- f) **Deformación máxima.** En los tipos normales el valor alcanzado es de 3000.
- g) **Efecto de temperatura.** Es muy importante el efecto de la temperatura ya que las deformaciones medidas en una galga no sometida a esfuerzos puede alcanzar por efecto de la temperatura hasta 50 μ C. Por ello es muy importante utilizar dispositivos cuando sea necesario la compensación de temperatura.

I.II-4.2.8. Principio, unidad y metodos de medida

Principio de medida:

Un transductor llamado galga se une solidamente al cuerpo cuya deformación requiere medirse para que experimente sus mismas variaciones de longitud. La resistencia eléctrica de la galga es función de su longitud y su variación de longitud se obtiene midiendo la variación de su resistencia eléctrica.

La variación de la resistencia eléctrica de la galga es proporcional a su variación de longitud.

La galga clásica está constituida por un hilo metálico cilíndrico plegado varias veces sobre sí mismo, como se muestra en la figura 4.10.

$$\text{Sea: } R = \rho \frac{L}{S} ; R = \rho \frac{L}{\pi r^2} \quad \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} K$$

Donde:

L = Longitud inicial de la galga.

R = Resistencia inicial de la galga.

ΔL = Variación de longitud.

ΔR = Variación de la resistencia.

S = Sección circular del hilo.

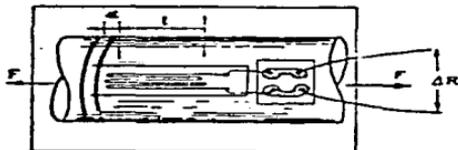


FIGURA 4.10

r = Radio de la sección circular.

ρ = Resistividad del hilo metálico.

ν = Coeficiente de Poisson del hilo metálico.

K = Factor de galga.

Unidad de medida:

La magnitud utilizada es adimensional y se denomina: "Deformación Unitaria". La unidad correspondiente es la microdeformación ($\mu\epsilon$ = microstrain)

$$1\mu\epsilon = 10^{-6} \text{ m/m}$$

Metodos de medida:

Directo. Cuando lo que se mide es la variación de resistencia que experimenta la galga al variar su longitud. La precisión es grande pero solo es utilizable para medidas de régimen estático.

Indirecto. Cuando no se mide directamente la variación de la resistencia, sino su magnitud que es la función de ella, como la variación de tensión ó intensidad.

Por introducir más conversiones de magnitudes, la precisión de este método es menor, pero permite efectuar mediciones de régimen dinámico.

I.II-4.2.9. Dominio de utilización

Las deformaciones unitarias medibles depende naturalmente de la galga extensométrica utilizada. desde 50 hasta 50 000 $\mu\epsilon$, son valores alcanzados normalmente, pero en condiciones especiales pueden medirse desde 1 hasta 200,000 $\mu\epsilon$.

Las galgas son muy sensibles a las variaciones de temperatura, y hay que proveer montajes adecuados para su compensación. Desde -200°C hasta $+180^{\circ}\text{C}$ es la zona normal de trabajo, pero con las galgas de base de asbesto se pueden alcanzar los 400°C y con las galgas de base metálica se puede llegar hasta los 100°C .

La longitud de la zona del cuerpo cuya deformación se mide, - puede variar desde 0.3mm hasta 150mm en aplicaciones muy especiales.

Los factores ambientales tales como presión, humedad, aceite, acidos corrosivos, abrasivos, campos eléctricos y magnéticos, etc..... no limitan el dominio de utilización de los extensómetros si se cuida adecuadamente la elección de éstos y la - protección adecuada.

I.II-4.2.10. Cuadro de comparación entre galgas

CONCEPTO	HILO	FILM	SEMICONDUCTORAS
Factor "K"	2	2	100
Precisión	Buena	Muy buena	Regular
Coefficiente termico	Pequeño	Pequeño	Elevado
Sensibilidad Transversal	Regular	Muy buena	Mala
Gama de tem. de utilización	-200+100°C (+1000°C)	-200+200°C	-10+100°C
Dispersión de características	Mediana	Muy pequeña	Elevada
Alargamiento máximo	3%	3-5%	1%
Resistencia nominal	120-240-350	-1000	+1000

I.II-4.2.11. Factor de sensibilidad y sensibilidad transversal

El termino "Factor de Sensibilidad" se utiliza para definir - las características de sensibilidad de los extensómetros eléctricos de resistencia.

Indica la variación de la resistencia del conductor en relación con el cambio de longitud que lo provoca.

$$PS = \frac{\Delta R}{R} / \frac{\Delta L}{L}$$

El factor de sensibilidad de un conductor metálico dependerá en gran manera de las características concretas de la aleación que se use cuando se aplique una deformación estática; pero - todos los metales y aleaciones tenderán hacia el valor de 2 - cuando se supere el límite elástico del conductor.

Las vueltas de los extensómetros de rejilla de hilo ó lamina conductora son también responsable de las características perjudiciales de los extensómetros eléctricos de resistencia, conocida como "Sensibilidad Transversal".

Viene definida como la relación entre la respuesta perpendicular a la rejilla y paralela al eje de la misma pudiendo definirse como:

$$K_T = \frac{PS \text{ (Transversal)}}{PS \text{ (Longitudinal)}}$$

DONDE: K_T se expresa usualmente como un porcentaje (%)

La "Sensibilidad transversal" aparece debido a que cada curva de la rejilla del extensómetro representa una pequeña cantidad del conductor, en un ángulo recto en el eje mayor de la rejilla, y respondera a la deformación lateral o transversal de la superficie en que esta montada.

La "Sensibilidad transversal" se mide usualmente por medio de un dispositivo de calibrado que produce un campo de deformaciones unitarias uniaxial puro.

Los valores representativos de la sensibilidad transversal en los modernos extensómetros eléctricos de resistencia van desde cero (0) hasta tanto como 0.1 (10%).

I.II-4.2.12. Compensación por efectos de temperatura

Todos los materiales conocidos sensibles a la deformación cambian de resistencia con la temperatura, aunque en algunos el cambio es pequeño e incluso nulo en un intervalo limitado de temperaturas.

Para evitar errores importantes debido a ésta causa, se usa siempre algún procedimiento de "Compensación de temperatura" cuando se miden tensiones en una prueba estática.

La forma más antigua en el análisis experimental de esfuerzos de compensación de temperatura todavía es válida, utiliza el circuito de "Puente Wheatstone" en el que se conecta el extensómetro pasivo para compensar los efectos perjudiciales de la temperatura.

Se le denomina normalmente sistema con extensómetro de compensación. Este, idéntico al activo en tipo y procedente del mismo lote, se montan en la misma pieza que sufra deformaciones durante la prueba y colocándolo en el mismo ambiente térmico. Los dos extensómetros, activo y de compensación, se conectan entonces a las ramas adyacentes del Puente Wheatstone del aparato de medida (figura 4.11).

Los efectos de temperatura comunes a los extensómetros conservan el equilibrio del puente y no se produce ninguna señal resultante.

De esta forma solamente el extensómetro activo que está sometido a la deformación causada por la tensión en el cuerpo ensayado, provocará un desequilibrio del puente, proporcional a la magnitud de la deformación unitaria.

ARREGLO EXPERIMENTAL PARA EFECTUAR LA
COMPENSACION POR TEMPERATURA EN LOS
EXTENSOMETROS ELECTRICOS.

(Ilustración tomada de la bibliografía:
Metodos experimentales para ingenieros.)

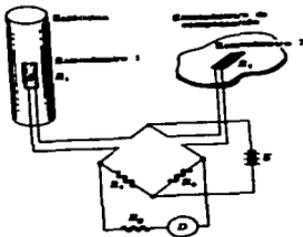


FIGURA 4.11

C A P I T U L O

I I

I N S T A L A C I O N
D E
E X T E N S O M E T R O S
Y
M E D I C I O N
D E L A S
D E F O R M A C I O N E S

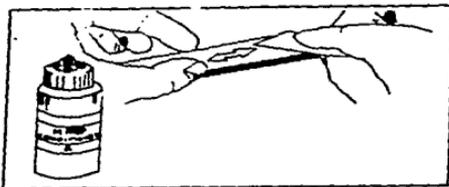
II-1. PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACION DE SUPERFICIES**PASO 1**

- Desengrasar totalmente el área de instrumentación, con un solvente como el C S M-1 ó el F T F-1 ó acetona, en caso de materiales como titánio y muchos plásticos el F T F-1 es el preferible.
- El desengrasado debe hacerse con solventes que no esten - contaminados, es aconsejable que se utilice recipientes - desechables como aerosol.
- El desengrasado deberá efectuarse siempre en un solo sentido, utilizando la gasa una sola vez (figura 1).

**FIGURA 1**

PASO 2

- En superficies oxidadas ó con imperfecciones muy notorias se debe lijar la superficie con lija del 220 ó 320.
- El lijado final se efectua con una lija del 320 ó 400 sobre la superficie empapada con acondicionador M-PREP A. -enseguida seque frotando con una gasa seca, repita en varias ocasiones el lijado húmcdo y luego seque lentamente toda la superficie con una gasa.
- Para mejor resultados. el lijado debe hacerse a 45° encon trados (figura 2a).



FIGRA 2a

- Quite todos los residuos y aplique acondicionador nuevamente en un tallado suave con una gasa en solo sentido.
- Nunca utilizar soluciones para secar , porque estas dejan invariablemente contaminantes y reduce la oportunidad de un buen pegado. (figura 2b)

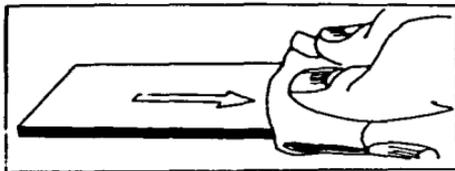


FIGURA 2b

-A continuación se trazan los ejes de referencia, con la ayuda de un bolígrafo de una punta fina (lápiz de grafito del N° 5 para superficies de aluminio ó un bolígrafo sin tinta para superficies de acero) para alinear el extensómetro eléctrico (figura 2c).

Valiéndose del ácido y del neutralizador se pueden grabar los trazos, repasándolos primero con el ácido y limpiándolo luego con el neutralizador, mediante un isopo de algodón (figura 2d).

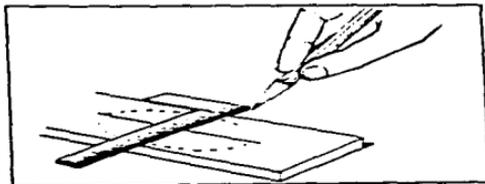


FIGURA 2c

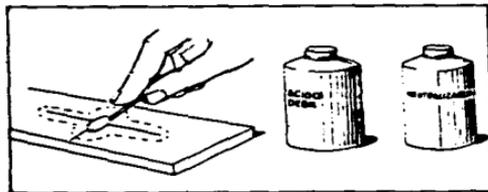


FIGURA 2d

PASO 3

Ahora se aplica una cantidad abundante de neutralizador M-PREP A y tallar la superficie con isopos, con un movimiento lento en un solo sentido (figura 3), seque cuidadosamente la superficie con una gasa limpia. No secar hacia atrás o más allá de la superficie porque se pueden depositar los contaminantes.

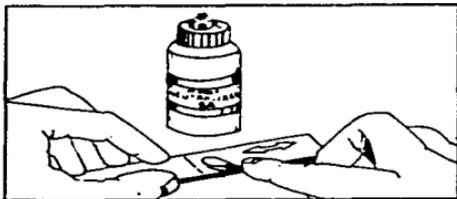


FIGURA 3

PASO 4

Con unas pinzas pequeñas retirar el extensómetro eléctrico (strain-gage) de su envoltura de plástico y colóquelo con la superficie de pegado hacia abajo sobre una superficie de vidrio (figura 4).

Se empieza por depositar el extensómetro y el conector de protección sobre un cristal bien limpio, utilizando para ello unas pinzas.

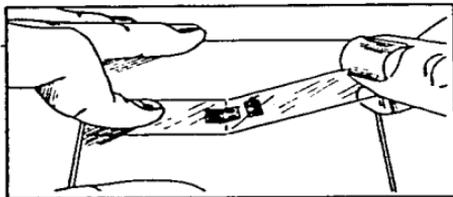


FIGURA 4

PASO 5

- Esta superficie debe de estar perfectamente limpia químicamente es decir limpia con acetona.
- Si se van a utilizar terminales, colóquelas en forma adyacente al extensómetro eléctrico, como se muestra en la figura dejando un espacio de aproximadamente 1.6 mm entre las terminales y la superficie de pegado del extensómetro eléctrico.
- Colocar de 10 a 15 cm de cinta adhesiva de celofán (diurex) MICROMEASUREMENTS N° PCT-2A sobre el extensómetro eléctrico y las terminales (figura 5), cuidando que quede centrado el extensómetro eléctrico sobre la cinta, cuidadosamente levantar el diurex a un ángulo aproximadamente de 45° respecto a la superficie, trayendo consigo el extensómetro eléctrico.

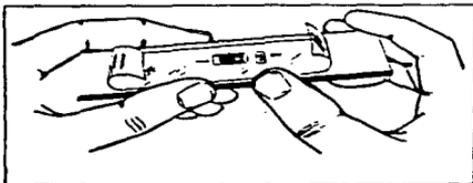


FIGURA 5

PASO 6

- Colocar El diurex con el extensómetro eléctrico, tal tal que las marcas de alineamiento (triangulos) del extensómetro eléctrico queden perfectamente alineados con las marcas efectuadas sobre la superficie de prueba. Si por alguna razón quedara desalineado levante nuevamente el diurex con el extensómetro a un ángulo pequeño, hasta que quede despegado completamente de la superficie y alínielo correctamente sosteniendo firmemente un extremo del diurex a la superficie (figura 6).
- Este realineamiento es posible hacerlo sin contaminar, utilizando la cinta diurex PCT-2A ya ésta tiene el pegamento sobre la misma, cuando se despegue de la superficie.

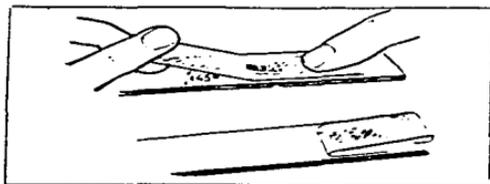


FIGURA 6

PLUJOGRAMA (DIAGRAMA DE BLOQUES)

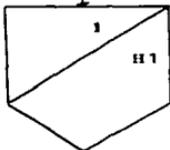
PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACION DE SUPERFICIES PREVIA A LA INSTALACION DE EXTENSOMETROS ELECTRICOS.

Identificar el material sobre el cual se va a trabajar.

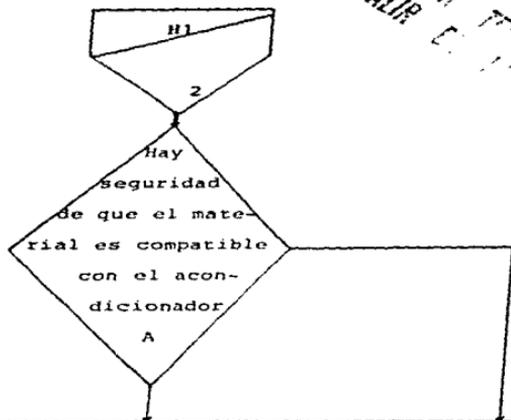
Seleccionar el solvente y abrasivos de acuerdo a lo indicado en la tabla N° 1 del Anexo A.

Desengrasar con un solvente (ver tabla N° 1 Anexo A)

lijar la superficie hasta retirar todas las sustancias extrañas adherida a la misma.



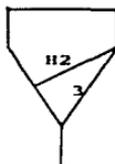
ESTA TAREA NO DEBE
SALIR DEL SISTEMA



Dar un acabado con lija N° 400 humedecida con el acondicionador A.

Limpiar la superficie de acuerdo a las instrucciones de la tabla N° 1 Anexo A

Marcar la localización y orientación del deformímetro (S) eléctrico (S) sobre la superficie del material.



Limpiar la superficie con el acondicionador
A.

Dar una limpieza con el neutralizador 5

Proceder a la instalación del extensómetro
eléctrico lo más pronto posible. Ver instruc-
ciones de la tabla N°1 del Anexo A.

II.2. PEGAMENTOS Y MATERIALES DE SOPORTE

La gran mayoría de los extensómetros que se usan desde temperaturas criogénicas hasta 90°C se construyen con elementos sensibles pegados a una delgada banda de material llamada "Soporte" .

Usos y requerimientos:

- Sirven para facilitar el manejo del extensómetro.
- Sirven para mantener finos los conductores de la rejilla en - dirección apropiada.
- Sirven para proporcionar soporte a las terminales ó apéndices de conexión.
- Deben ser buenos aislantes eléctricos a cualquier temperatura de trabajo del extensómetro.
- Deben ser flexibles para permitir el fácil pegado a superficies de perfil variado.
- Deben ser adecuados para la relación de transmisión de las deformaciones.

TIPOS DE SOPORTES:

- Aglomerantes Nitocelulóides:
soportan temperaturas alrededor de 80°C.
- Resinas Fenólicas:
Sus temperaturas de utilización van desde 200°C a 300°C.
- Resinas Aporídicas:
Exposición a temperaturas por encima de 300°C.

P E G A M E N T O S

M-BOND 200

Una botella (1 onz/28g)
Adhesivo certificado
M-BOND 200.
Una botella con pincel
y tapa (20ml) M-BOND 200
Catalizador.

M-BOND GA-2

Seis recipientes mezcladores
(15g c/u) GA-2 Resina.
Una botella (15ml) Agente
de cura 10-A
Seis goteros calibrados.

M-BOND AE-10/15

Seis recipientes con mez-
clador (100c/u) EA resina
Una botella (15ml) Agente
de cura 10.
Seis goteros calibrados
Seis varas mezcladoras
Una botella (15ml) agente
de cura 15.

M-BOND AE-10 BULK-KIT

200 AE, Paquetes de Resina
40g Agente de cura 10.
25g Agente de cura 15.
Tres goteros calibrados.

M-BOND 600

4 botellas (11g c/u)
 Agente de cura Parte A
 4 botellas (8g c/u) Resina
 parte B
 4 brochas con tapa para mez-
 clar y distribuir el adhesivo

M-BOND 600-3

1 Botella (38g) Agente de
 cura parte A.
 1 Botella (19g) de resina
 parte B.
 1 Botella (2.6g) Acclerador
 parte C.
 1 Botella de polietileno
 mezclador.

M-BOND 610

4 Botellas (11g c/u)
 Agente de cura parte A
 4 Botellas (14g c/u)
 Resina parte B
 4 Brochas con tapa para
 distribuir y mezclar
 el adhesivo
 4 Embudos Mezcladores.

M-BOND GA-60

Un recipiente de resina (72g)
 Un recipiente de endurecedor
 (28g).

CUADRO DE SELECCION DE ADHESIVOS

TIPO	DESCRIPCION GENERAL	NOTAS
M-BOND 200	<p>Certificado para el uso de galgas, reemplaza al E-910</p> <p>Temperatura de cura rapido</p> <p>Para propuesta general de laboratorio.</p> <p>Para corto periodo de aplicaci3n.</p>	<p>Excelente temperatura de curado -</p> <p>baja elongaci3n, resistente ala -</p> <p>fatiga, esencialmente libre de -</p> <p>deslizarse y facil de maniobrarlo -</p> <p>con el tiempo se deteriora a ele- -</p> <p>vadas temperaturas, absorbe la -</p> <p>humedad, en el campo de pruebas -</p> <p>no es usado para periodos largos, -</p> <p>adecuada protecci3n y revestimien- -</p> <p>to, la botella debe estar sellada -</p> <p>hasta estabilizar la temperatura -</p> <p>de curado.</p>
M-BOND AE-10	<p>Dos componentes 100% s3lido, sistema de temperatura de curado, para propuesta general de an3lisis.</p> <p>Adhesivo transparente me- -</p> <p>dio-riscoso.</p>	<p>Los resultados son obtenidos en el tiempo de 6 hr a 24°C.</p> <p>Recomendado para altas tempraturas, quimicamente muy baja resistencia a la humedad.</p>
M-BOND AE-15	<p>M-BOND AE-10 y AE-15 resina y agente de cura 10 y 15.</p> <p>Sistema de resina identica a AE-10 pero con menos agente reactivo de cura</p> <p>Recomendado para aplicaci3nes criticas incluyendo transductor.</p>	<p>Larga vida de conservaci3n que AE-10, permite la instalaci3n de galgas multiples. Buena ejecuci3n bajo cura a 125°C por 6 hr.</p> <p>La superficie debe de estar muy aspera para su m3xima elongaci3n</p> <p>La aplicaci3n criog3nica requiere de muy delgadas l3neas de pegamento.</p>

TIPO	DESCRIPCION GENERAL	NOTAS
M-BOND GA-2	2 componentes parcialmente llenos, 100% solido, sistema de resina epoxica para uso general en el análisis. Más alta viscosidad que el sistema AE	Recomendada para muy elevadas temperaturas, para mejor ejecución y resistencia a ataques químicos. Frecuentemente para llenar superficies irregulares, fácilmente identificable por el color del pegamento.
M-BOND 610	Dos componentes, solvente delgado para alta ejecución. Refrigerante para amplio rango de temperatura por encima de 370°C, baja viscosidad, susceptible a líneas de pegamento de 200 uin.	Ancho rango de temperatura de operación, adhesivo disponible de objetivo general, recomendado para alta precisión, transductor a temperatura arriba de +230°C. El limite de vida es afectada por la oxidación y la sublimación.
M-BOND 600	Similar a M-BOND 610 excepto este es usado como agente reactivo de cura, tambien esta disponible como un sistema de tres componentes (M-BOND 6003).	La vida de operación es baja en comparación a la M-BOND 610, pero tiene la ventaja de baja temperatura de curado y tiempo de reacción rápida. Despues de la aplicación empieza a curar en 30 min.
MBOND GA-60	Dos componentes particularmente llenos (100%) elevada temperatura de cura, adhesivo apoxico, propuesto para baja viscosidad.	es ampliamente usado para llenar superficies irregulares por su alta viscosidad, resistente al material químico, cuando esta completamente curado el pegado de líneas es generalmente de 0.05mm de grueso.

II.3. METODO A SEGUIR PARA LA COLOCACION DE LOS EXTENSOMETROS ELECTRICOS

PASO 1

Una vez preparada la superficie y el extensómetro adherido al diurex, situar éste sobre las marcas de alineamiento en el punto de medida, fijando un extremo y levantando el otro como se muestra en la Figura 1.1.

COLOCACION DE LA BANDA EXTENSOMETRICA SOBRE EL CUERPO EN ENSAYO

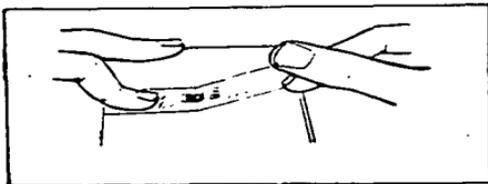


FIGURA 1.1

PASO 2

Con el pincel del acelerador se aplica éste, sobre el reverso de la banda extensométrica y terminal, procurando no contaminar la banda con adhesivo de la cinta. Dejar secar 1 minuto. (figura 2.2)

**APLICACION DEL ACELERADOR EN LA BANDA
EXTENSOMETRICA**



FIGURA 2.2

PASO 3

Aplicar una o dos gotas de pegamento sobre la superficie en la que se ha depositado dicho adhesivo. (figura 3.3)

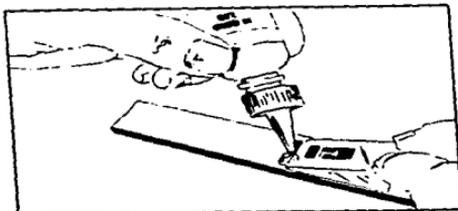


FIGURA 3.3

PASO 4

Al cabo de 30 seg se va bajando la galga extensométrica. La galga extensométrica se manipulara sin tocarla con los dedos, sujetando la terminal con unas pinzas. (figura 4.4)

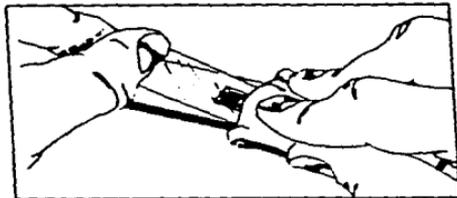


FIGURA 4.4

PASO 5

Situada la galga extensométrica en el punto y dirección exactas, se coloca sobre ella una delgada lámina de teflon y se presiona sobre ella para repartir uniformemente los esfuerzos además para evitar que se formen burbujas de aire (figura 5.5 a). Presionar durante tres minutos como mínimo (figura 5.5b)

COLOCACION DE LA LAMINA DE TEFLON PARA
REPARTIR UNIFORMEMENTE LOS ESPUERZOS

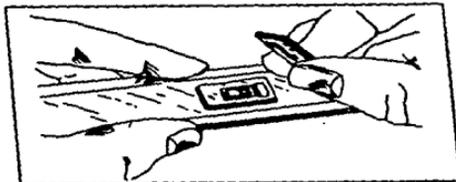


FIGURA 5.5a

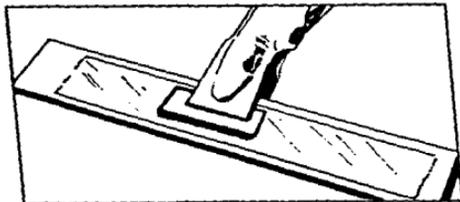


FIGURA 5.5b

A los 10 minutos como mínimo se puede quitar el papel transparente (Diurex) que ayudo a pegar el extensómetro. (figura 5.5c)

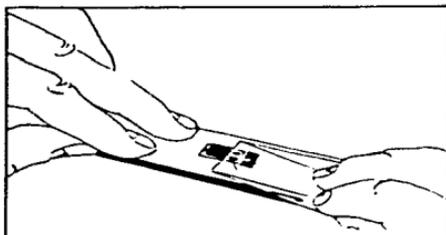


FIGURA 5.5c

- 6°- Retirar la lámina de teflón.
- 7°- Aplicar una gota del mismo pegamento sobre la zona en que irá colocada la terminal de la galga extensométrica.
- 8°- Antes de 30 segundos fijar la terminal a la superficie utilizando la lámina de teflón.
- 9°- Comprobar la continuidad, el valor óhmico (120 ohmios) y la deriva a masa (100 megaohms) de cada extensómetro de las terminales.

PASO 10

Efectuar la preparación de los cables para soldarlos a las terminales de las galgas extensométricas (figura 10.10).

El proceso de soldadura de las bandas a los hilos de unión de los instrumentos de lectura, requieren una especial atención, por lo tanto se procederá de la siguiente forma:

- a) Descubrir y estañar la punta del cable.
- b) Proteger con papel autoadhesivo debil la banda, dejando al descubierto solamente los puntos a soldar.
- c) Depositar una gota de soldadura lo más pequeña posible sin aportar excesivo calor que podría desprender la banda del soporte (no debe exeder más de dos segundos).
- d) Presentar el cable ya preparado y sin aporte de soldadura, solamente manteniendo caliente y muy limpia la punta del soldador (cautin), fijar la punta de los cables ya estañados a las terminales de la banda esperando a que éstos solden.

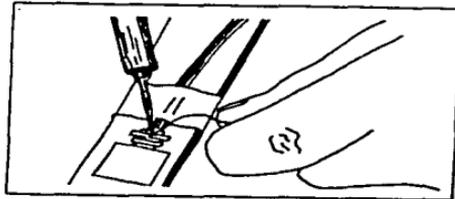


FIGURA 10.10

PASO 11

Efectuar las conexiones entre terminales para formar las ramas del puente. (figura 11.11)

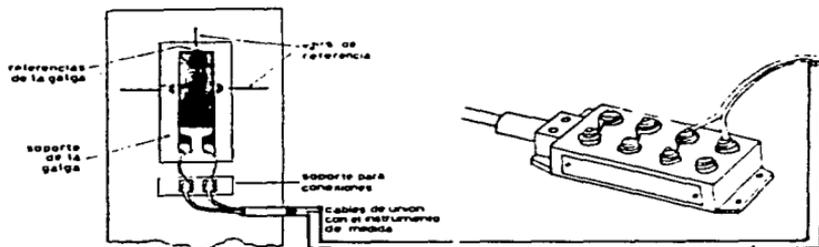


FIGURA 11.11

12°-Comprobar nuevamente la continuidad, el valor óhmico y la deriva a la masa del extremo opuesto de la línea.

PASO 13

Aplicar sobre los extensómetros y terminales una protección.- Las galgas son delicadas y por lo tanto deben ser protegidas en función de las condiciones ambientales y de la duración - del estudio. En general la protección se considera bajo el aspecto de aislamiento eléctrico y de fortaleza mecánica. Por - lo tanto seguiremos los siguientes pasos para su protección:

a) Extender bien el producto (M-COAT A) sobre la superficie - y si hay que dar varias capas, que la última cubra cubra por completo a las anteriores (figura 13.13).

b) Cuidar que el espesor del producto protector sea el adecuado, además de que no queden fisuras ni poros y que el recubrimiento se adhiera perfectamente al material.

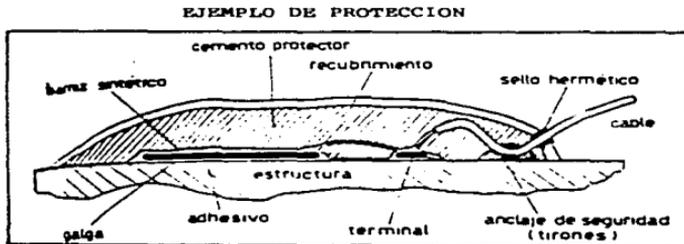


FIGURA 13.13

14°- Despues de 12 hrs. comprobar nuevamente la continuidad, el valor óhmico y la deriva a masa de todas y cada una de las ramas del puente desde el otro extremo de las líneas de de conexión.

II-4. INSTRUMENTACION BASICA PARA LA MEDICION DE RESISTENCIAS (Puente Wheastone)

Para hacer uso del principio básico de funcionamiento de un extensómetro eléctrico de resistencia, su variación de la resistencia con la deformación debe estar conectado a un circuito capaz de medir pequeños cambios de resistencia. Para medir esa variación de resistencia se utiliza el "Puente de Wheastone" con preferencia a cualquier otro circuito (figura 4.1)

El "Puente de Wheastone" es un sistema pasivo formado por cuatro impedancias montadas dos a dos en serie. La tensión de alimentación E es aplicada en dos vértices opuestos, y en los dos restantes se recoge la tensión de medida V .

ESQUEMA DE PRINCIPIO DEL PUENTE DE WHEASTONE

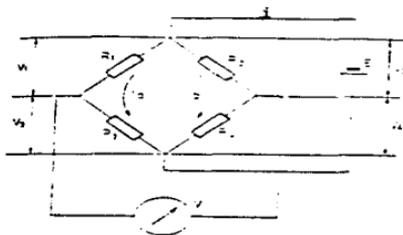


FIGURA 4.1

Condición de equilibrio:

El puente esta equilibrado cuando no aparece ninguna diferencia de potencial (d.d.p.) en la diagonal de medida. Para ello es preciso que:

$$V_1 = V_2$$

ó lo que es igual

$$i_a R_1 = i_b R_2$$

$$V_3 = V_4$$

$$i_a R_3 = i_b R_4$$

entonces:

$$\boxed{\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}} \dots\dots\dots (4.1)$$

Luego de cualquier cambio en la relación R_1/R_3 puede ser - equilibrado mediante el reajuste de la relación R_2/R_4 es decir, actuando sobre las resistencias del lado opuesto.

La tensión de desequilibrio viene determinada por la diferencia entre V_1 y V_2 (ó entre V_3 y V_4). Por Kirchof:

$$V = E \left[\frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_4} \right] \dots\dots\dots (4.2)$$

Si se cumple la ecuación de equilibrio (4.1) se tiene:

$$V = E \left[\frac{R_1 R_3}{(R_1 + R_3)^2} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \right] \dots\dots\dots (4.3)$$

De donde se deduce que las resistencias influyen con distinto signo sobre la tensión de salida según la rama considerada.

Partiendo de una resistencia cualquiera, se cumple la regla - de que las resistencias citadas en ramas adyacentes influyen en sentido contrario, mientras que las de la rama opuesta lo hace en el mismo sentido. Esta regla es muy importante en efectos prácticos, pues indica como tiene que estar montadas - las galgas en cada caso (figura 4.2).

Cuando las resistencias de todas las ramas tienen el mismo valor, la ecuación (4.3) queda:

$$V = \frac{E}{4} \left[\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_4}{R_4} \right] \dots \dots \dots (4.4)$$

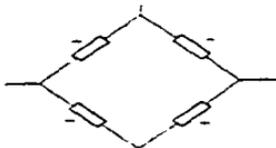


FIGURA 4.2

II-4.1. Relación entre deformación (Extensómetro) y señal de salida (Puente Wheastone)

El objeto principal de la extensometría es el conocimiento - del estado de deformaciones, pero en el estudio de los circuitos de medida se ha visto que las deformaciones del material donde se monta la banda, producen una variación de la resistencia de la misma y que al ser ésta parte activa de un Puente de Wheastone, origina una d.d.p. en una de sus diagonales proporcional a la deformación, es decir que será necesario - establecer una relación entre el estímulo (deformación) y la respuesta (d.d.p. en el puente). Esta relación es:

Si la expresión $\left[\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_4}{R_4} \right]$ de la ecuación (4.4)

y la sustituimos por $P \frac{R}{R}$ tendremos:

$$V = \frac{E}{4} P \frac{\Delta R}{R} ; \text{ y sabiendo que } K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon}$$

Despejando $\Delta R/R$ de estas dos últimas e igualandolas tenemos:

$$\boxed{\frac{V}{\epsilon} = \frac{E}{4} PK} \dots\dots\dots (4.4a)$$

Relación importante sobretodo cuando la lectura se efectúa - con instrumentos que no dan lecturas directas en microdeformaciones.

II-4.2. Calibración de las resistencias en un Puente de Wheatstone

La puesta a punto de una cadena de medida exige la determinación exacta de la correspondencia entre los valores del parámetro físico a medir y las indicaciones del instrumento (microdeformaciones por unidad de tensión, por dígito, etc). En eso consiste la calibración, que puede ser directa, teórica o simulada. En el primer caso se trata de medir un estímulo físico perfectamente controlado. Es el mejor sistema pero no siempre es posible. En el procedimiento teórico hay que conocer la sensibilidad de todos los elementos que integran la cadena de medida, mientras que la calibración simulada constituye una solución intermedia, donde el estímulo físico es sustituido por el estímulo eléctrico equivalente.

En el caso concreto de un Puente de Wheatstone para la extensometría la técnica de calibración consiste en producir en una rama del puente, por shuntado de una resistencia (en paralelo), un desequilibrio igual al que se produciría al someter a determinadas sollicitaciones el elemento de ensayo (figura 4.3).

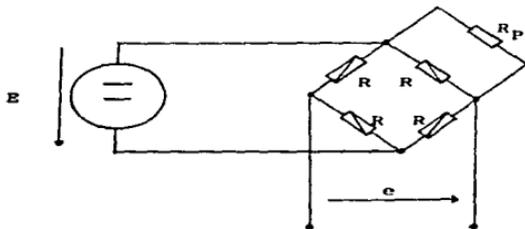


FIGURA 4.3

Consideremos el Puesto de Wheastone con una sola galga activa teniendo las cuatro ramas del puente resistencias de valor R (FIGURA 4.5). El puente está equilibrado, es decir, la tensión diagonal e es igual a cero.

Si una resistencia R_p se coloca en paralelo a una de las resistencias R , se obtiene una rama de resistencia R' es decir sufre una variación de resistencia $R=R-R'$

$$\Delta R = R - R' = R - \frac{R R_p}{R + R_p} = \frac{R^2}{R + R_p} \dots\dots\dots(4.5)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{R}{R + R_p} \dots\dots\dots(4.6)$$

Despejando R_p de (4.6) obtenemos:

$$R_p = \left(1 - \frac{\Delta R}{R}\right) \left(\frac{R}{\Delta R/R}\right) \dots\dots\dots(4.7)$$

y como $\frac{\Delta R}{R} = F \cdot \Delta L/L$

Donde F es el factor de la galga indicado por el fabricante. Obtenemos:

$$R_p = (1 - F \cdot \Delta L/L) \left(\frac{R}{F \cdot \Delta L/L}\right) \dots\dots\dots(4.8)$$

Como en general, $1 \gg F \cdot \Delta L/L$, la ecuación (4.8) se simplifica:

$$R_p = \frac{R}{F \cdot \Delta L/L} \dots\dots\dots(4.8)$$

Si el numero de galgas activas es "n" ,se puede considerar co-
mo multiplicando po "n" el factor de la galga, ya que la sen-
sibilidad total ha aumentado, y como la resistencia de cali-
bración se coloca en paralelo a una sola de las ramas del -
puente, se puede escribir final-mente:

$$R_p = \frac{R}{n \cdot F \cdot \Delta L/L} \dots \dots \dots (4.9)$$

Donde:

R_p = Resistencia de calibración.

R = Valor nominal de la resistencia de una rama del
puente.

F = Factor longitudinal de sensibilidad de la banda.

$\Delta L/L$ = Alargamiento unitario equivalente, que produce R_p .

n = N° de brazos activos del circuito del puente.

Ejemplo:

Consideremos una galga KIOWA KB-6-B3 de las siguientes carac-
teristicas:

Resistencia de la galga= 120,2 ohms, resistencia del cable=2

Resistencia total = 122.2 ohms, factor de galga= 2,08,

Resistencia de calibración =160 kilo-ohms

Obtener el equivalente que produce R_p .

Despejando $\Delta L/L$ de la ecuación (4.9) obtenemos:

$\Delta L/L = (R/R_p)(1/n \cdot F)$ sustituyendo valores tenemos:

$$\Delta L/L = \left[\frac{122.2 \Omega}{160} \frac{1}{(1)(2.08)} \right] = 360 \mu\text{S}$$

II-5. MONTAJES DE MEDIDA CON GALGAS EXTENSOMETRICAS

El Puente de Wheastone se presenta a diferentes montajes con galgas extensométricas. El estudio de cada uno de ellos parte de casos concretos donde es preciso medir una sollicitación - determinada.

CASO I: Barra prismatica de eje recto sometida a tracción simple

-Primer montaje: 1 galga activa, alineada en la dirección de la fuerza (figura 5.1a)

Circuito: 1/4 de puente, alimentado a tensión constante. (figura 5.1b)

Condición de equilibrio inicial: $R_g = R_a - b = R_{bC} = R_{od} = R$

para una pequeña variación en la resistencia de la galga ($R + \Delta R$).

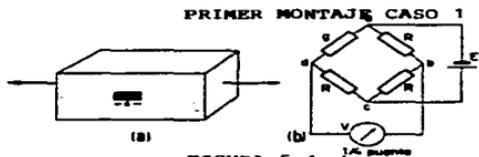


FIGURA 5.1

$$\frac{V}{E} = \frac{\Delta R}{4R + 2\Delta R}$$

traducido en deformaciones: $(G = \frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{K} \frac{\Delta R}{R})$

$$\boxed{\frac{V}{E} = \frac{KC}{4 + 2KC}} \dots\dots\dots(5.1)$$

Donde: K=Factor de la galga, V=Tensión de salida, E=Tensión de entrada, C= Deformación.

Segundo montaje: dos galgas activas en ramas adyacentes; una de ellas alineada en la dirección de la fuerza aplicada y la otra en la dirección perpendicular, acusando el efecto de Poisson (figura 5.2a).

Circuito de 1/2 puente ($E=Constante$) (figura 5.2b)

Condición de equilibrio inicial:

$$R_{galga 1} = R_{galga 2} = R_{a-b} = R_{b-c} = R$$

Variación de la resistencia de la galga 1: $R + \Delta R$

Variación de la resistencia de la galga 2: $R - \sqrt{\nu} \Delta R$

$\sqrt{\nu}$ = Coeficiente de Poisson

SEGUNDO MONTAJE CASO I

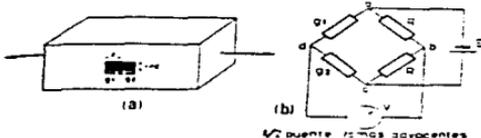


FIGURA 5.2

Entonces:

$$\frac{V}{E} = \frac{(1+\nu) \Delta R}{4R+2(1-\nu) \Delta R} = \frac{(1+\nu) K \epsilon}{2+K \epsilon (1-\nu)} \dots \dots \dots (5.2)$$

Tercer montaje: Cuatro galgas activas, dos de ramas opuestas en la dirección de la fuerza aplicada y las dos restantes en la dirección perpendicular al efecto Poisson (figura 5.3a).

Circuito: Puentes completo ($E=Constante$) (figura 5.3b)

Condición de equilibrio inicial: $R_{g1} = R_{g2} = R_{g3} = R_{g4} = R$

R_{g1} Varía $R + \Delta R$

R_{g2} " $R - \sqrt{\nu} \Delta R$

R_{g3} " $R + \Delta R$

R_{g4} " $R - \sqrt{\nu} \Delta R$

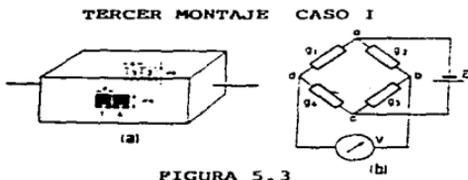


FIGURA 5.3

Entonces:

$$\frac{V}{E} = \frac{(1 + \sqrt{\nu}) \Delta R}{2R + (1 - \sqrt{\nu}) R} = \frac{(1 + \sqrt{\nu}) K \epsilon}{2 + K \epsilon (1 - \sqrt{\nu})} \dots \dots \dots (5.3)$$

CASO II: Barra prismática de eje recto sometida a flexión simple

En este caso se producen esfuerzos iguales y opuestos: la superficie convexa está sometida a tracción mientras que la convca lo es a compresión (figura 5.4)

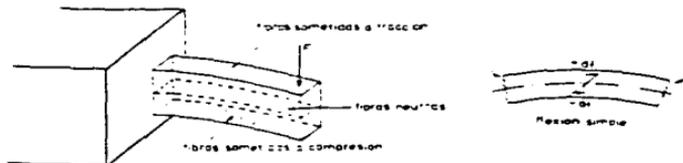


FIGURA 5.4

Cuarto montaje: Cuatro galgas activas dos a dos en ramas opuestas y sometidas a esfuerzos iguales pero de signo contrario (figura 5.5).

Circuito: Puentes completo ($E=Ctte$), $R_{g1}=R_{g2}=R_{g3}=R_{g4}=R$

R_{g1}	varia	}	$R + \delta R$	} $\delta R = \Delta R$
R_{g2}	"	}	$R - \delta R$	
R_{g3}	"	}	$R + \delta R$	
R_{g4}	"	}	$R - \delta R$	

Entonces:

$$\frac{v}{E} = \frac{\Delta R}{R} \text{ KG}$$

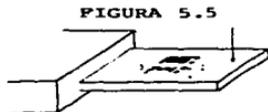


FIGURA 5.5

(5.4)

CASO III: Barra prismática de eje recto sometida a flexión y tracción

Cuando la sollicitación en flexión va acompañada de tracción - y compresión, los esfuerzos dejan de ser iguales en las dos superficies (figura 5.6, 5.7a)

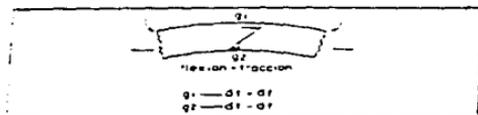


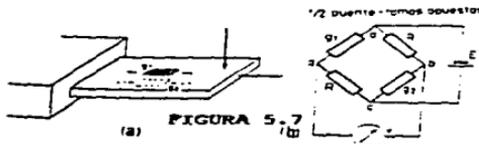
FIGURA 5.6

Quinto montaje: dos galgas activas en ramas opuestas, sometidas a esfuerzos de tracción y flexión (5.7a)

Entonces:

$$\frac{V}{E} = \frac{KGT}{2} \dots\dots\dots (5.5)$$

lo mismo da si se trata de compresión: los efectos de la flexión se anulan.



CASO IV: ARBOL SOMETIDO A UN PAR DE TORCION

En este caso, las galgas experimentan las deformaciones máximas si van montadas en direcciones que forman 45° con las generatrices.

Empleando de nuevo el montaje 4°, son 4 galgas activas, sucede que acusan deformaciones iguales y de signo contrario dos a dos (figura 5.8).

La ecuación de medida es idéntica a la del montaje 4° pero - la relación entre esfuerzo y deformación esta determinado por un módulo de elasticidad especial:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

DONDE;

E= Es el módulo de elasticidad longitudinal.

De haber ademas sollicitaciones de tracción y de flexión, se eliminaran entre sí, (siempre y cuando el montaje sea de 4° - galgas activas

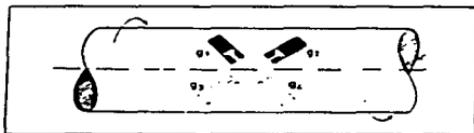


FIGURA 5.8

FORMULAS PARA EL CALCULO DE TRANSDUCTORES



$$\epsilon_1 = \frac{F}{E a e}$$

$$\epsilon_2 = \frac{\nu F}{E a e}$$

LAMINA EN TRACCION

F= Fuerza aplicada
 a= anchura
 e= espesor
 ϵ_1 deformación longitudinal
 ϵ_2 " " " " transversal



$$\epsilon_1 = \frac{4 F}{\pi (D_o^2 - D_i^2) E}$$

$$\epsilon_2 = \frac{\nu 4 F}{E (D_o^2 - D_i^2)}$$

TORO CIRCULAR EN TRACCION Y COMPRESION

F= Fuerza repartida
 D= Diametro exterior
 d= Diametro interior
 ϵ_1 = Deformación longitudinal
 ϵ_2 = " " " " transversal



$$\epsilon_1 = \frac{3 P l}{E a^3} = \frac{3 \epsilon l}{2 L^2}$$

$$\epsilon_2 = \frac{3 \nu P l}{E a^3} = \frac{3 \nu \epsilon l}{2 L^2}$$

$$f = \frac{P l^3}{3 E I} = \frac{3 P L^3}{8 a^3 E}$$

$$N = 0.55 \frac{1}{L} \frac{E I}{P} = 0.16 \frac{a}{L} \frac{E}{P}$$

LAMINA EN FLEXION

F= Fuerza aplicada
 a= Anchura
 e= Espesor
 L= Brazo fuerza-empotramiento
 l= Brazo fuerza banda
 N= Primera frecuencia propia
 f= Flecha
 ϵ_1 = Deformación longitudinal
 ϵ_2 = " " " " transversal



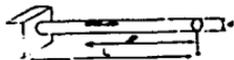
$$\epsilon_1 = \frac{3 F L}{E a^3} = \frac{3 f}{L^2}$$

$$\epsilon_2 = \frac{3 \nu F L}{E a^3} = \frac{3 \nu f}{L^2}$$

$$f = \frac{3 F L^3}{8 a^3 E}$$

LAMINA TRIANGULAR EN ISOPLEXION

F= Fuerza aplicada (en el vertice)
 b= Anchura base
 L= Brazo fuerza-encastamiento
 f= flecha
 La distancia de las bandas no
 ϵ_1 = Deformación longitudinal
 ϵ_2 = " " " " transversal.



$$\delta = \frac{4Fl}{\pi E d^3} = \frac{32Fl}{\pi E d^3}$$

$$N = 0.66 \frac{l}{d} \frac{F}{P}$$

LAMINA CILINDRICA EN FLEXION

F=Fuerza aplicada
 d=2.r. diametro
 l= Brazo fuerza-encastamiento
 N=Primera frecuencia propia
 f=Flecha (desplazamiento de F)
 ϵ_1 =Deformación longitudinal
 ϵ_2 " " " " transversal

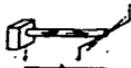


$$\delta = \frac{3FR}{E a^3} \left(1 - \frac{2}{\pi}\right)$$

$$f = 1.79 \frac{FR}{E a^3}$$

ANILLO DINAMOMETRICO

F=Fuerza aplicada
 e=Espesor
 a=Anchura
 R=Radio medio
 f=Flecha total
 ϵ_1 =Deformación longitudinal ext.
 ϵ_2 " " " " " " " " int.



$$\theta = \frac{M}{E I} = \frac{M}{E \frac{\pi d^4}{64}} = \frac{64 M}{\pi E d^4}$$

$$\delta = \frac{2 M l}{\pi E d^4}$$

$$\epsilon = \frac{f}{2(1 + \mu)}$$

ARBOL EN TORSION

M=M1 Momento aplicado
 L= Longitud total del arbol
 θ = ángulo de giro en radianes
 La distancia de las bandas no afecta.
 ϵ_1 = Deformación de una de las
 ϵ_2 " " " " de la otra ban
 da.

II-6. SISTEMA UTILIZADO EN EL REGISTRO Y CAPTACION DE DATOS

DIAGRAMA DE BLOQUES**CIRCUITO DE MEDIDA
(captador)**

Es cualquier circuito extensométrico, bien en el aspecto de bandas extensométricas ó bajo el concepto de captador. Generalmente prodrá ser cualquier elemento transductor de energía mecánica en eléctrica.

AMPLIFICADOR

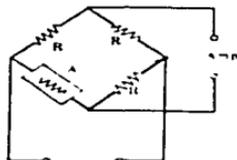
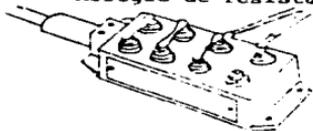
- Es una unidad intermedia entre el circuito de medida y el registrador. Su utilización será justificada cuando la señal del captador sea insuficiente para excitar a los instrumentos de lectura o registro.

REGISTRADOR

Es el instrumento que recibe las informaciones transmitidas por los captadores a través de los módulos intermedios para ser grabadas.

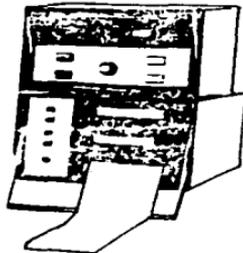
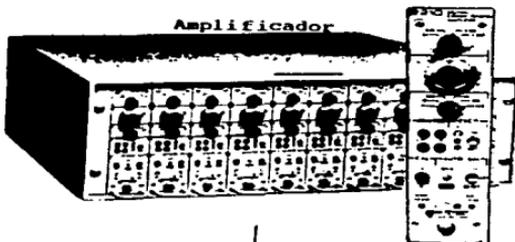
ESQUEMATIZACION DEL SISTEMA UTILIZADO EN EL REGISTRO Y
CAPTACION DE DATOS

Arreglo de resistencias



Circuito

Amplificador

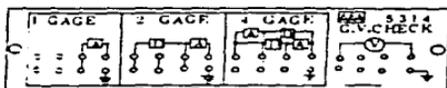


Registrador

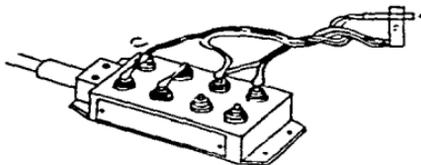
II-6.1. Funcionamiento e instalación de aparatos para la captación de datos

CAJA DE GALGAS :

La caja de galgas consiste en una caja, cuerdas y conectores. - La caja de galgas esta equipada con terminales para conectar a lo largo de las galgas que opera con tres resistores integrados de 120 Ohms para ser conectados con las galgas en forma de un circuito puente (figra 6.1b). De acuerdo al tipo de conexión de las galgas, esto puede ser provisto por una, dos o cuatro medidas de galgas (figura 6.1a).



(a)



(b)

FIGURA 6.1

En la figura 6.2 muestra el circuito y las conexiones de la caja de galgas en la cual las clavijas de conexión A y C es - para manejar la salida de éstas, provisto por un par de puentes, mientras que las clavijas B y D son para integrar la salida de ésta a la entrada del amplificador de deformaciones.

CIRCUITO Y CONEXIONES DE LA CAJA DE GALGAS DE GALGAS

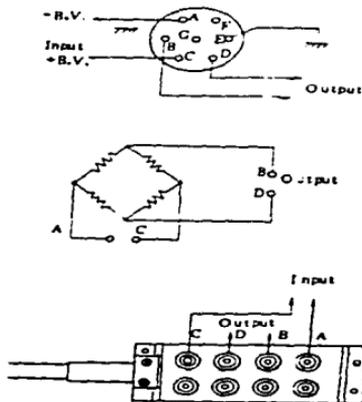


FIGURA 6.2

Metodo de una galga:

Este método es el más simple. de acuerdo a este método el puente circuito es compensado por tres resistores integrados y un extensómetro eléctrico (figura 6.3).



FIGURA 6.3

Utilizando unas pinzas quitar la cubierta de vinyl del cable hasta dejar 5 ó 6 cm. de cable pelado, una vez pelado el cable, poner en corto circuito las terminales, como se muestra en la figura 6.4 , soldar estas terminales con el material adecuado. Los cables que van de la caja de galgas a los extensómetros deben ser largos y gruesos lo cual favorece a la medición.

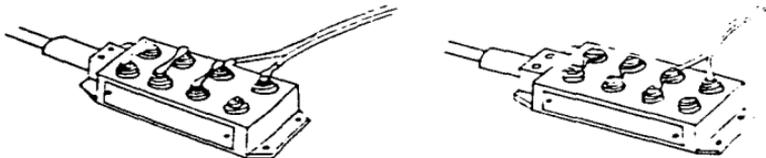


FIGURA 6.4

Metodo de las dos galgas:

En algun momento no se puede ejecutar medidas exactas, ya que el material a ser medido es afectado por el cambio de temperatura y así el valor de la resistencia cambia de resultado.

En orden de evitar algo semejante en afectar el cambio de temperatura de las galgas con las mismas características, una de ellas puede ser empleada como galga activa y la otra como falsa es decir de compensación (figura 6.5).

CIRCUITO Y CONEXION DEL METODO DE 2 GALGAS

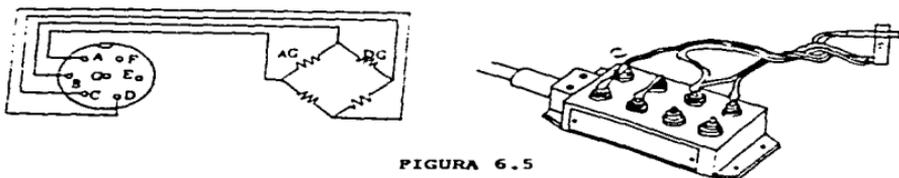


FIGURA 6.5

Usar hilo conductor de la misma especie para las terminales A y D, no dejar dispersar el hilo conductor, es mejor amarrarlo en un paquete. Esto es para mejorar la compensación de temperatura y estabilizar la capacidad de línea de los hilos conductores.

Metodo de las cuatro galgas:

De acuerdo a este método, cada una de las patas del puente - circuito es equipado con una galga (figura 6.6).

CIRCUITO DEL METODO DE LAS 4 GALGAS

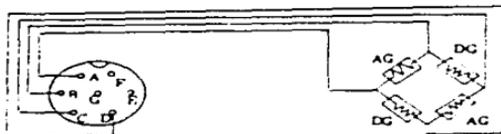


FIGURA 6.6

Similar al método de las dos galgas, este método puede doblar las salidas mientras se ejecuta la compensación de temperatura.

Este método es empleado principalmente para medir deformaciones dentro de un cuerpo rotando el cual se usa para hacer un aro deslizante. El mismo procedimiento es utilizado para este método, es decir el procedimiento de conexión de de la caja de galgas a los extensómetros eléctricos, como en el método de las dos galgas.

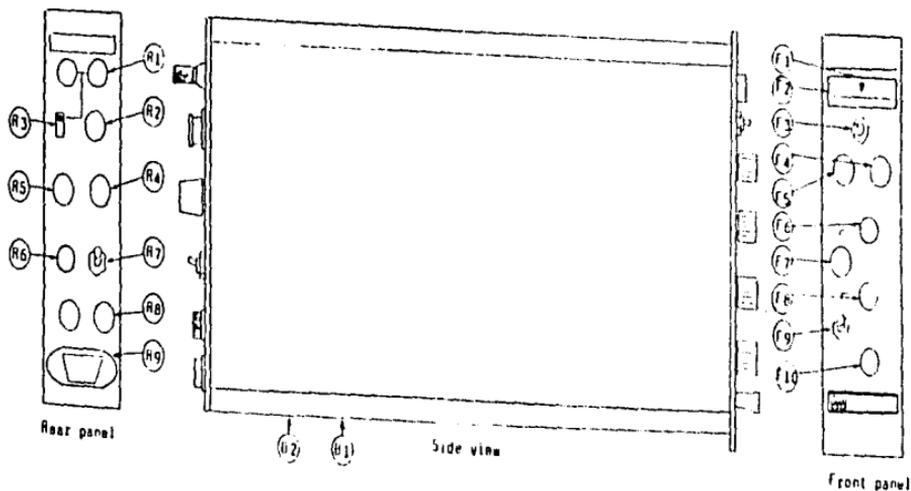
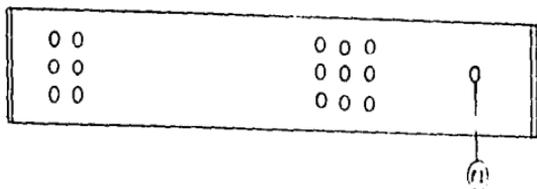


Fig.1 EXTERNAL VIEW OF INSTRUMENT (MODEL 6M52)

AMPLIFICADOR DE DEFORMACIONES MODELO 6M52

AMPLIFICADOR DE DEFORMACIONES 6 M 5 2**PARTES EXTERNAS QUE LA INTEGRAN (Controles)**

- F1**.....Lampara
- F2**.....Contador (Balance)
- F3**.....Interruptor atenuador (BAL-OUT)
- F4**.....Ajustador, Balace resistivo (R)
- F5**.....Ajustador, Balance capacitivo (C)
- F6**.....Atenuador (ATT)
- F7**.....Ajustador de ganancia continuamente variable
(FINE)
- F8**.....Interruptor, equivalente standar de deformación
(CAL)
- F9**.....Selector de polaridad del equivalente standar de
deformación (+-)
- F10**.....Filtro interruptor (FILTER)

- R1**.....Portador de señales de sincronización (TERMINALES)

- R2**.....Conector para la caja de galgas
- R3**.....Portador de señales de sincronización
(IN"ERRUPTOR)
- R4**.....Interruptor, selector de salida (GALV)
- R5**.....Ajustador de voltaje de la galga (GV)
- R6**.....Conector de salida (OUT-PUT)
- R7**.....Fuente de poder, interruptor (AC V-BAT 12 V)
- R8**.....Fusible (DC 1A, AC 0.5A)
- R9**.....Multiconector
- B1**.....Terminales del portador de señales de sincronización
- B2**.....Fuente de poder unicamente para corriente alterna AC.

INSTRUCCIONES DE OPERACION DEL AMPLIFICADOR

- 1.- Asegurarse de que el interruptor de la fuente de poder B2 este en la posición OFF.
- 2.- Conectar el cable de la fuente de poder hacia el multiconector R9 del amplificador.
- 3.- Conectar el cable de salida de la caja de galgas hacia el conector R2 del amplificador.
- 4.- Colocar el selector de toma de corriente R7 en la posición adecuada, ya sea para corriente alterna (AC) o corriente directa (DC).
- 5.- El atenuador F6 debe estar en la posición OFF.
- 6.- El selector de equivalencia standar de deformación F8 debe de estar en la posición más baja (30×10^{-6})
- 7.- Colocar el selector de cuenta F3 en la posición BAL-OUT
- 8.- Presionar el boton F11 para que nuestro circuito (Puente Wheastone) se balancee automaticamente en 5 seg.
- 9.- Colocar el selector F8 del equivalente standar de deformación en la posición adecuada para la calibración del extensómetro.
- 10.- Operar el atenuador F6 de menor a mayor sensibilidad, de tal manera que no se sature la señal de salida al aplicarle el voltaje a nuestro circuito.
- 11.- Manipular el selector de polaridad F9, tanto para tensión como para compresión (+, -, respectivamente). En los dos casos se puede manipular el ajustador F7 para poder obtener un voltaje de calibración más exacto.
- 12.- Una vez terminada la calibración, aplicar el voltaje standar de deformación (+, -, (F9)).
- 13.- Las magnitudes de una medida de deformación puede ser calculada a partir de este voltaje equivalente de deformación con las diferentes señales de salida de comportamiento del fenomeno.

C A P I T U L O

I I I

P R O B L E M A T I C A

D E

L A

M E D I A

B A R R A

P E R M A N E N T E

III-1. UBICACION DEL PROBLEMA

Los trenes de origen español se pusieron en operación en Junio de 1995 en la Línea 1 que va de la estación Pantitlan a Observatorio y para Junio de 1996 se empezó a detectar en dichos trenes durante su recorrido en Línea, que se estaban originando mayores cargas en el momento de arranque o frenado. Por lo cual se hizo necesario revisar la Media Barra Permanente para determinar el estado que guarda, se observa que las partes metálicas permanecen en buenas condiciones, encontrando que los Elementos Elásticos que sirven de amortiguadores, presentan fisuras y en otros fracturas, lo que reduce el efecto de amortiguamiento en el enganche, ocasionando la transmisión de vibraciones y cargas en los elementos constituyentes de la carrocería y suspensión de dichos carros.

Aunado a dichos desperfectos se derivan una serie de anomalías extras indeseables entre las cuales podemos mencionar:

- Paros constantes en horas de servicio.
- Altos costos de mantenimiento, como reparación y recambio de piezas.
- Sueldos extras horas-hombre, etc.,etc.

De la problemática expuesta se procede a verificar el estado de esfuerzos reales que se generan en la Media Barra Permanente a través de una técnica de análisis experimental de esfuerzos. En éste caso particular utilizaremos la Extensometría (extensómetros eléctricos), dando de esta manera solución al problema que se presenta, ya sea modificando o reforzando los puntos críticos.

III-2. BARRA PERMANENTE TIPO 160 D-4

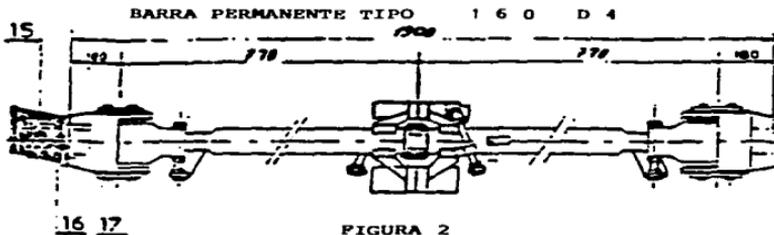
La barra permanente tipo 160 D4 (figura 2) esta destinada a - acoplar los carros de los trenes de origen español (N.E.) del Sistema de transporte colectivo Metro, ademas de absorber los esfuerzos de tracción y compresión durante el arranque y el frenado.

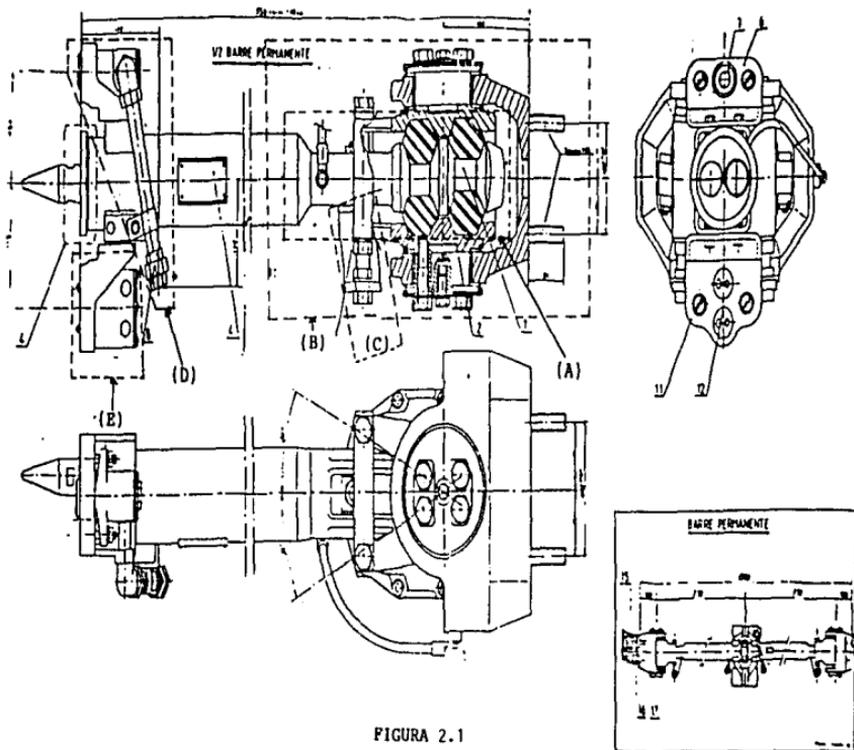
La Barra Permanente tipo 160 D-4, asegura ademas la unión neumática y la unión electrónica de frenado.

El acoplamiento se efectua manualmente, despues de la alineación de cada media barra y por atorcamiento muy lento de los carros.

El desacoplamiento se efectua de la misma forma que el acoplamiento.

BARRE PERMANENTE





III-2.1. DETALLE DE LA MEDIA BARRA PERMANENTE TIPO 160 D4

III-2.2 Descripción de los elementos que la componen

(A) Dispositivo de tracción y frenado:

Los dispositivos de tracción y frenado se componen de una barra de tracción, de cuatro elementos elásticos y dos mg días conchas. (figura 2.2)

La extremidad detras de la barra de tracción asi como los elementos elásticos son alojados en las semiconchas.

las semiconchas son centradas gracias a las armellas y son unidas por medio de seis pernos.

(B) Equipo de soporte:

El equipo de soporte representa el montaje de los siguientes elementos:

- Dispositivo de tracción y frenado.
- Soporte.
- Suspensión.

(C) Suspensión:

Esta suspensión es el blanco para mantener cada media barra verticalmente, ella permite una regulación en altitud por medio de tornillos.

DISPOSITIVO DE TRACCION
Y FRENADO

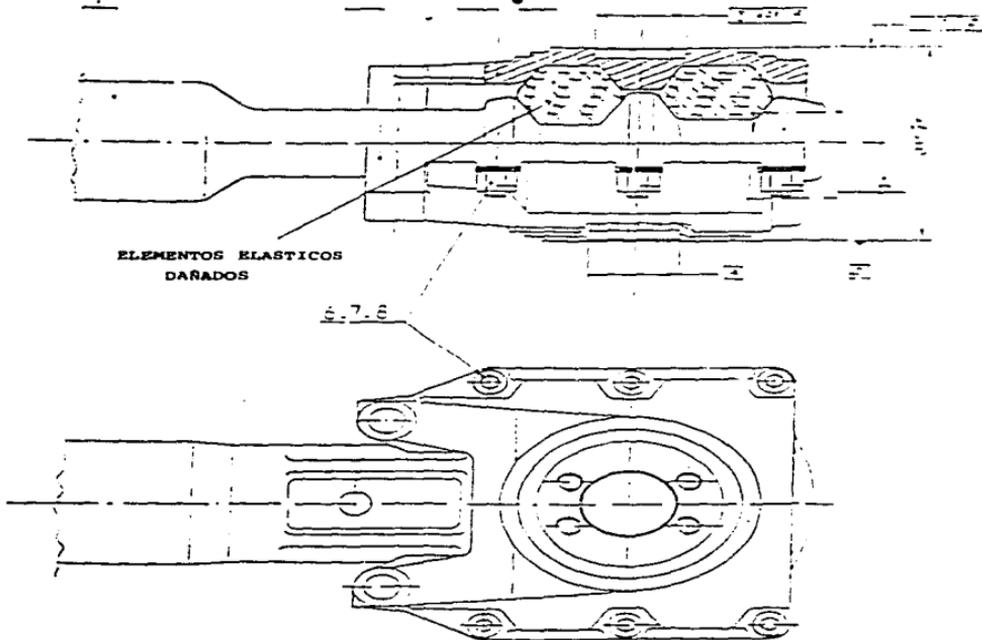


FIGURA 2.2

(D) Accesorios neumáticos:

Cada media barra esta equipada de una conexión neumática. El acoplamiento neumático se compone de un cuerpo, consigo en la parte de enfrente: unmanguito abastecedor junto con un tubo de caucho, un resorte, por la parte trasera - un tapon y consigo una junta.

El tubo esta sostenido por el cuerpo de la barra por medio de un collar o abrazadera y un resorte.

(E) Caja electrónica de frenos:

La caja electrónica de frenos esta compuesta por un cuerpo de dos soportes aislantes, cada soporte comprende de un contacto movil y un fijo.

Las conexiones son protegidas por una tapa y una junta.

NOTA:

Para mayor visualización detallada de los componentes de la media barra permanente ver anexo "B"

III-2.3. Funcionamiento y cuidado:

Principio de acoplamiento de la media barra:

Antes del acoplamiento, asegurarse de que cada media barra se encuentre dentro del eje del carro.

Aproximar muy lentamente los carros hasta que las caras de apoyo de las barras estén aseguradas por una armella o un me--chero, manteniendo a los carros dentro de esa posición

Efectuar la conexión mecánica central, con los medios collares y los tornillos con respecto al cople de presión.

Cuando se dé el acoplamiento de las semibarras, éstas deben estar al mismo nivel en el eje del carro.

Después del acoplamiento, verificar si la calidad de la unión del neumático es correcto.

III-2.4. Introducción a las fuerzas que se generan en la Media Barra Permanente

Un tren completo del Sistema de Transporte Colectivo Metro - Ciudad de México esta subdividido en tres secciones y estas a su vez en tres partes, cada sección consta de dos carros motrices en los extremos y un remolque al centro, de los cuales:

M=Motriz con cabina, N=Motriz sin cabina, R=Remolque

Apreciando en esto en forma grafica en la figura 2.3



De acuerdo a la disposición, en el arranque los carros motrices traccionan al mismo tiempo, lo mismo sucede durante el frenado, de tal manera, que supuestamente la fuerza de arrastre o frenado originada entre carros debe ser cero, es decir la barra no debe estar sometida a esfuerzo, como se muestra en la figura 2.4

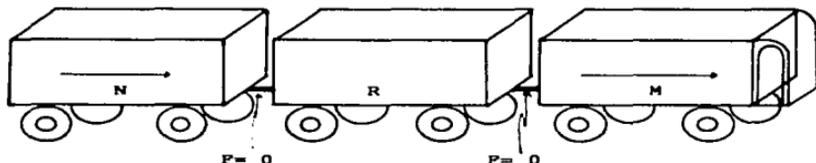


FIGURA 2.4

Sin embargo, debido a los pequeños defasamientos que se presentan durante el arranque o el frenado y aunado a las imperfecciones de la pista de rodamiento, origina que se desarrollen fuerzas de compresión y tracción entre carro y carro, - las cuales deben ser soportadas por la barra permanente y los elementos que la constituyen.

C A P I T U L O

I V

A N A L I S I S

D E L

P R O B L E M A

IV-1. JUSTIFICACION DEL METODO UTILIZADO

Se han descrito a grandes rasgos las características, ventajas y desventajas de cada uno de los métodos de análisis experimental de esfuerzos, en base a esto se ha seleccionado el método de extensometría, utilizando en este caso los extensómetros eléctricos ya que es un método que no es excesivamente costoso, da resultados confiables, esta a nuestro alcance, es menos laborioso, además que es un método que se adecua fácilmente a nuestro problema en estudio.

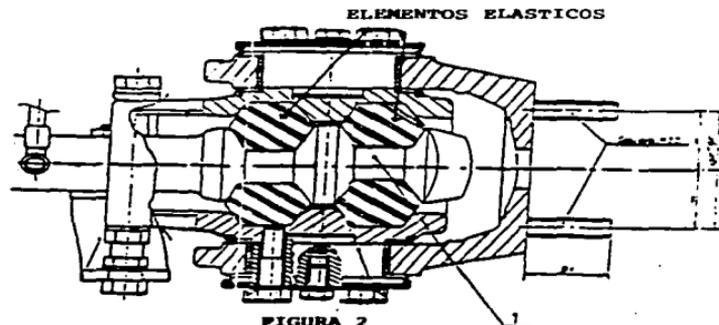
Esta técnica seleccionada ha alcanzado tal grado de perfección que normalmente los problemas de medida de deformaciones y tensiones que se presenta en el área de ingeniería tienen solución.

Con la técnica de la extensometría se puede determinar con exactitud la evaluación de fenómenos cuya influencia con la realización de proyectos es primordial con la ambiciosa meta de fabricación de coeficientes de seguridad próximos a la unidad, con esta técnica podemos reducir costos de fabricación, control de calidad, investigaciones, estudios y ensayos, nuevos rediseños, etc., etc. Son logros que incluso a corto plazo, se consiguen con equipos sencillos elementales y económicos.

IV-2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

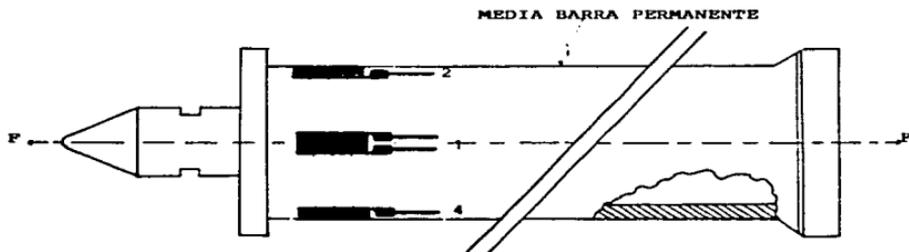
Se requiere conocer los esfuerzos reales que se generan en la **Media Barra Permanente** de los carros del tren, estando éste a su máxima capacidad de carga (4/4 de carga), para lo cual se pegarán los extensómetros en la media barra del carro 3800, - realizando un recorrido por la "Via 1" (Pantitlan-Observatorio) y "Via 2" (Observatorio-Pantitlan) de la Línea 1 del Sistema de Transporte Colectivo (S.T.C.) Metro ciudad de México, por ser ésta donde corren este modelo de trenes.

Una vez medido los esfuerzos reales através del equipo adecuado, se procederá posteriormente a realizar un análisis de los registros y en base a éstos poder determinar en que estaciones o interestaciones se desarrollan los máximos esfuerzos en dicha barra, para tomarlos como referencia de nuestro rediseño de los **Elementos Elásticos** que se estan dañando con frecuencia (figura 2).



IV-3. DESARROLLO

Seleccionando un tipo de extensómetro autocompensado, en este caso particular de tipo uniaxial debido a que la dirección de esfuerzos es en un solo sentido y pegandolos de acuerdo a la técnica antes desarrollada, se procederá a colocar los extensómetros en la dirección adecuada como se muestra en la figura 3. (tipo de pegamento seleccionado M-BOND 200)

UBICACION DE LAS GALGAS EXTENSOMETRICAS**FIGURA 3**

Una vez colocado los extensómetros en la Barra, se procederá a conectar cada uno de éstos a su caja de galgas respectiva, quedando un circuito eléctrico (Puente Wheastone) independiente por cada extensómetro como se indica en la figura 3.1.

Alimentando entre los puntos "A y C" con un voltaje "V" (INPUT) dando una señal eléctrica de salida "P" (OUT PUT).

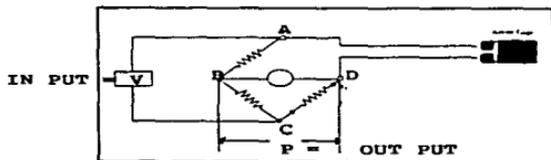
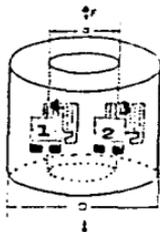


FIGURA 3.1

Después de haber montado dicho circuito con las condiciones - prestablecidas se procederá a puentear la señal de salida de cada caja de galgas hacia su respectivo amplificador de defor maciones operandolos como se describio anteriormente, dicha - señal amplificada se puenteará nuevamente hacia las entradas (IN PUT) del registrador, aparato que nos registrará la señal amplificada de cada extensómetro, que en base a ella podemos obtener datos más claros y precisos. Dicho montaje lo podemos observar en forma independiente en - la figura 3.2.

**INSTRUMENTOS DE MEDICION Y REGISTRO PARA EL USO DE
EXTENSOMETROS ELECTRICOS**

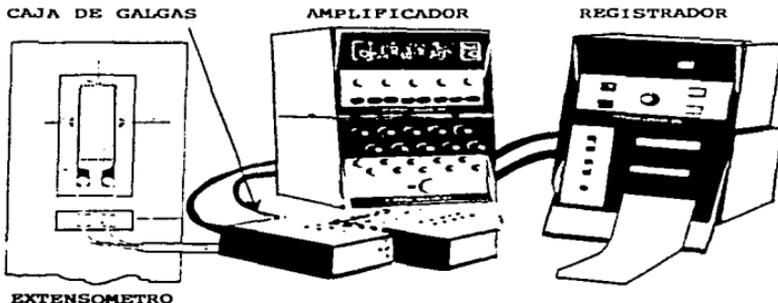


FIGURA 3.2

IV-4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Registro de las microdeformaciones

El siguiente registro muestra interestación por interestación los resultados obtenidos del análisis que se realizó sobre la Media barra Permanente que se encuentra del lado del remolque R-3800 y la motriz M-0541, estando el tren cargado a 4/4 de su capacidad (capacidad máxima)

Seleccionando el registro de la vía 2 (Observatorio-Pantitlan) ya que en ésta se registrarán las mayores microdeformaciones que sufrió la Media Barra durante el recorrido del tren en dicha línea.

Más adelante se detallará la interpretación de éste registro ya que directamente no podemos obtener los esfuerzos máximos desarrollados. Esto se realizará através de una relación muy conocida en el Análisis Experimental de Esfuerzos (Ley de Hook) Dicha relación existente entre esfuerzo y deformación es:

$$\sigma = \mu \epsilon E \dots\dots\dots (4)$$

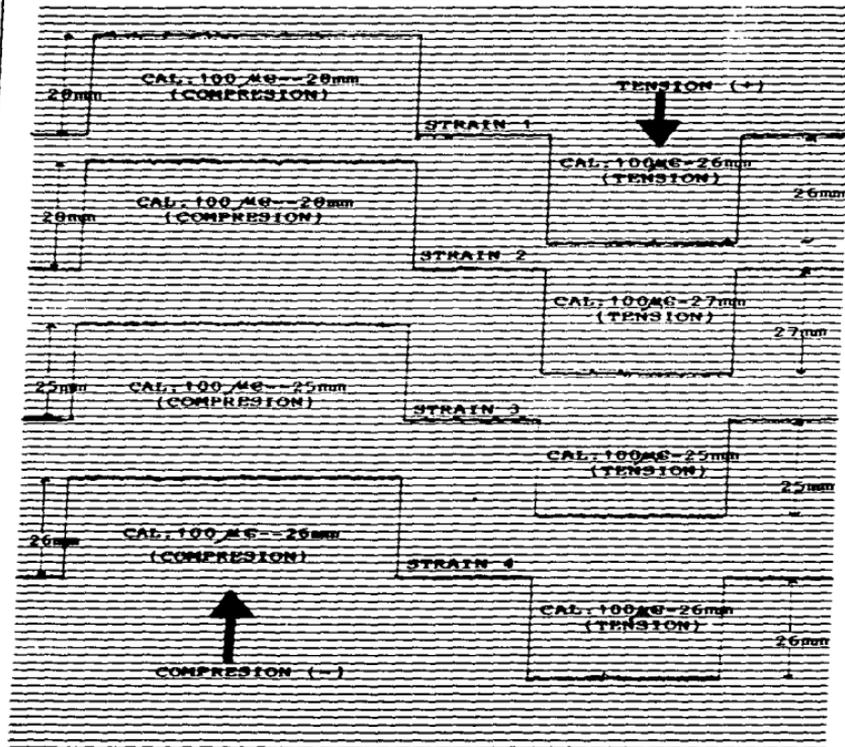
Donde:

σ = Esfuerzo

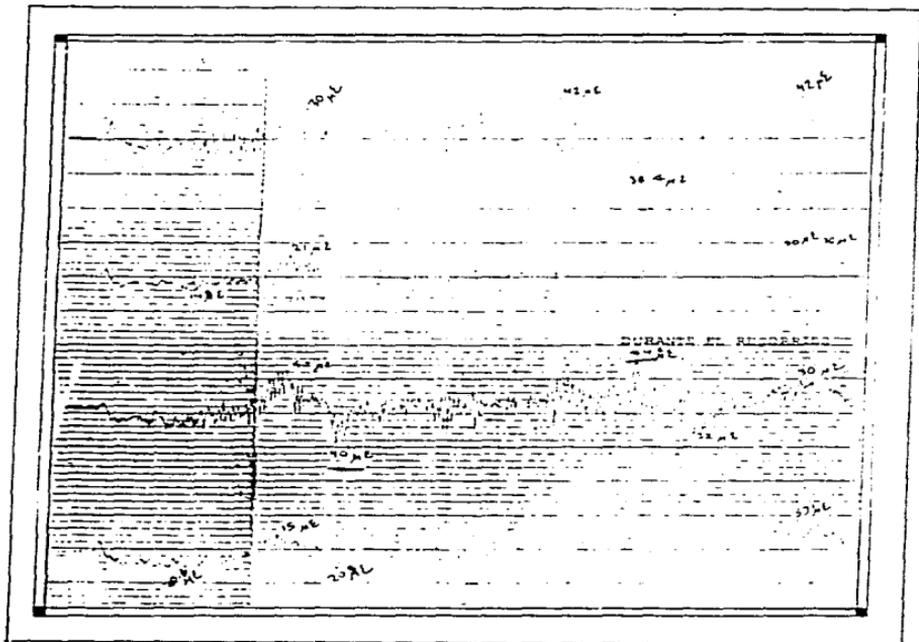
$\mu \epsilon$ = Microdeformación (obtenida através del registro)

E = Módulo de elasticidad o Módulo de Young del material donde se relizo la prueba.

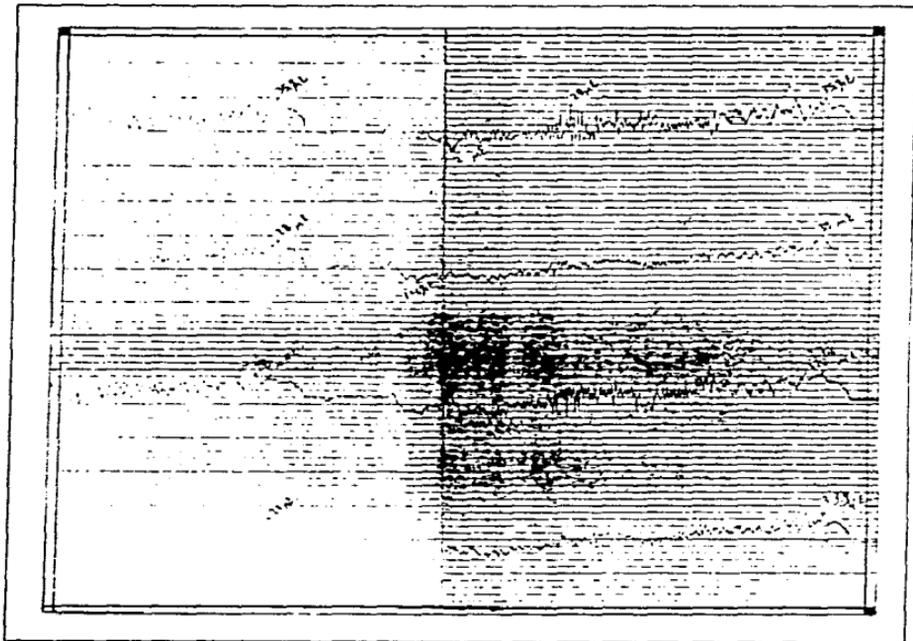
CALIBRACION DE LOS EXTENSOMETROS



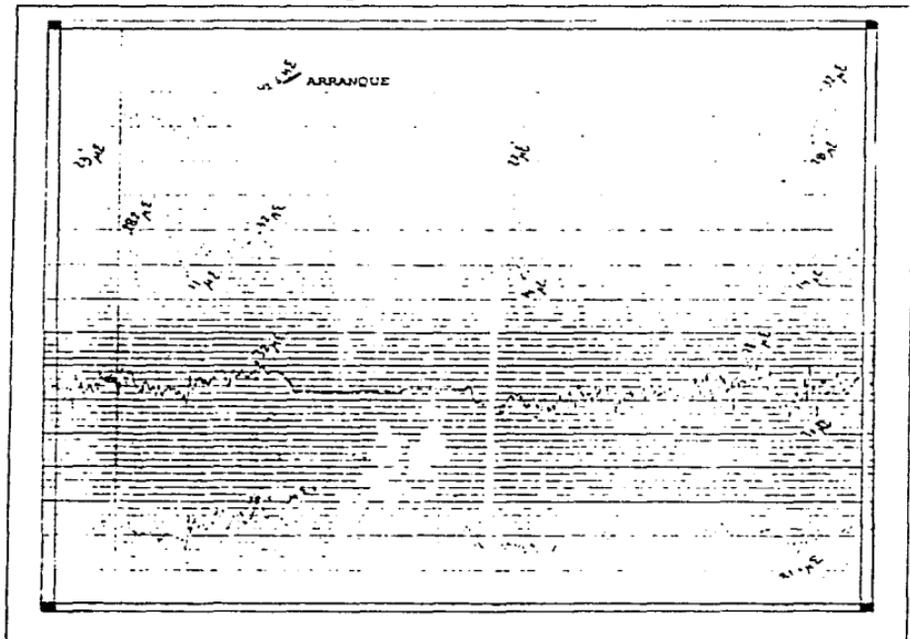
INTERESTACION TACUBAYA-JUANACATLAN



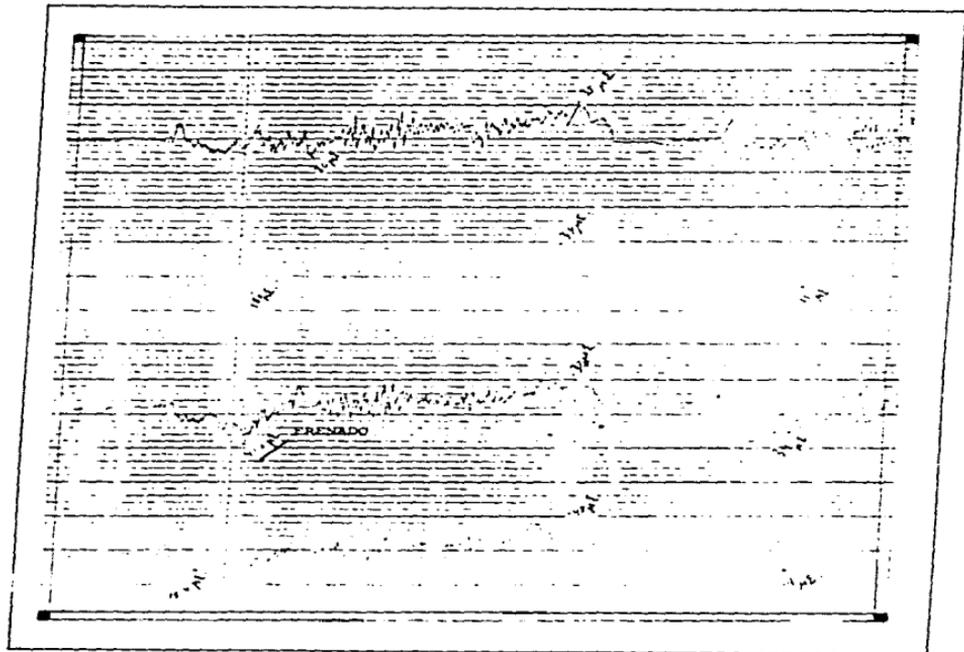
INTERESTACION SEVILLA-INSURGENTES



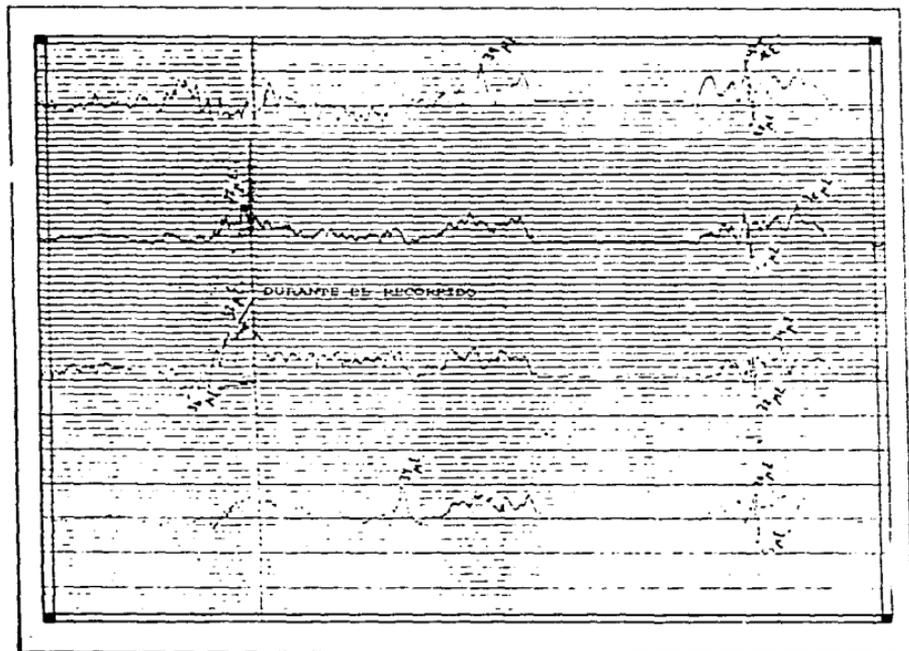
INTERESTACION SLTO DEL AGUA-
ISABEL LA CATOLICA



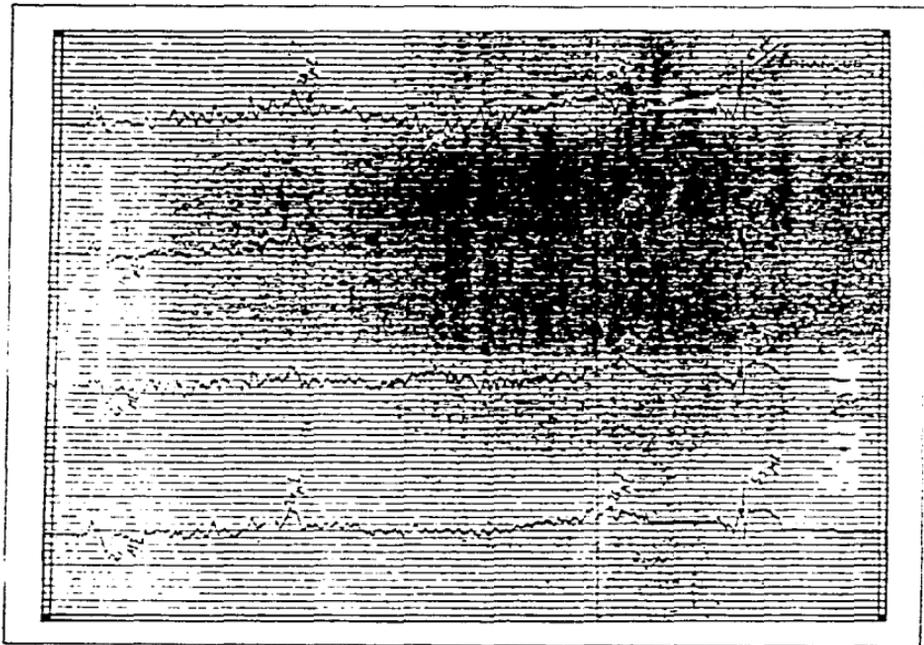
INTERESTACION I. LA CATOLICA-PINO SUAREZ



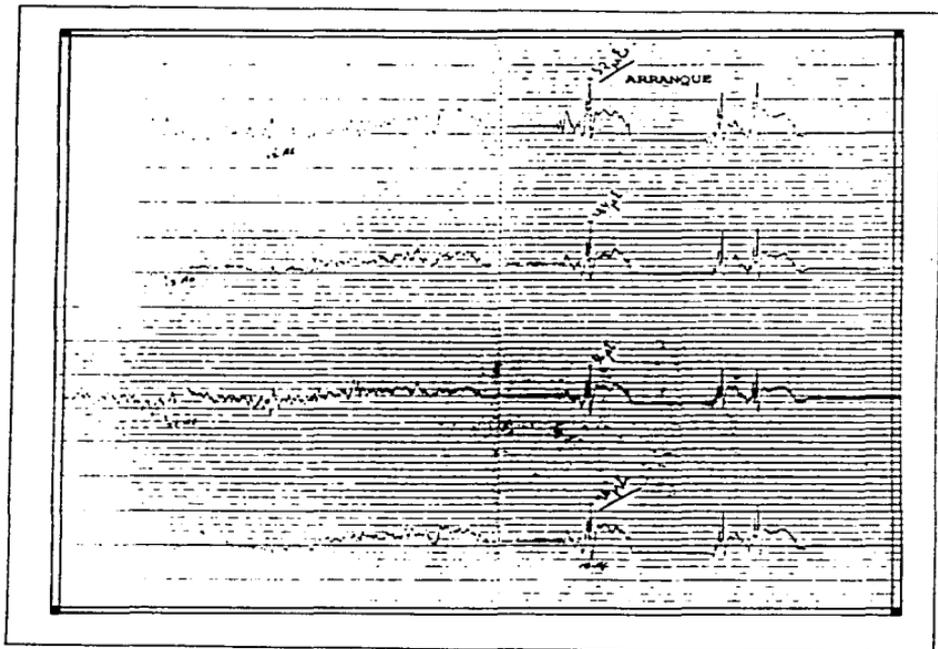
INTERESTACION CANDELARIA-SAN LAZARO



INTERESTACION SAN LAZARO-MOCTEZUMA



INTERESTACION GOMEZ FARIAS-ZARAGOZA



Interpretación de los registros:

En la calibración de cada extensómetro, aparece en el papel - del registrador una señal impresa de la siguiente forma: (figura 4).

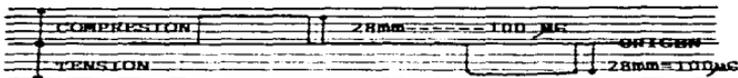


FIGURA 4

Esta señal indica la calibración de nuestro extensómetro tanto en compresión como en tensión, es decir el rango en el que fluctuara la señal de prueba, manteniendo una relación de equivalencia.

En el amplificador utilizado dicha relación de equivalencia es de "Voltaje-microdeformación ($V-\mu C$), para el caso del registrador se da analogía entre voltaje y desplazamiento, es decir $X \text{ Voltaje} = x \text{ Milímetros } (V=mm)$ quedando una relación de equivalencia "Desplazamiento-microdeformación" ($mm-\mu C$).

Midiendo con una regleta directamente desde el origen de la señal hasta donde se mantubo constante ésta, tendremos nuestro desplazamiento de calibración (tensión, compresión) que se relacionará con la microdeformación seleccionada en el amplificador.

Ejemplo:

28mm _____ 100 μC

Durante el desarrollo de la prueba el registrador arrojará se-
ñales impresas como en la figura 4.1.

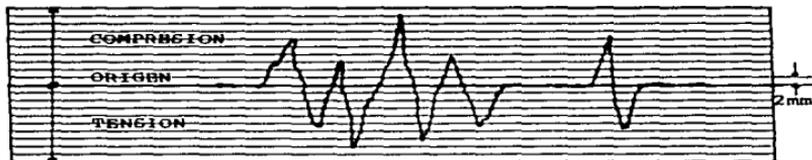


FIGURA 4.1

Para obtener los datos en microdeformaciones ($\mu\epsilon$) de este re-
gistro, se tomará la señal más alta a la que se requiera, a -
partir del origen de la señal, ya sea para tensión o compre-
sión.

Tomando como referencia la relación de calibración y sabiendo
que la dimensión entre línea y línea de nuestra hoja es de 2mm
tendremos:

$$28\text{mm} \text{-----} 100 \mu\epsilon$$

$$2\text{mm} \text{-----} x \mu\epsilon$$

$$x = \frac{(2\text{mm})(100 \mu\epsilon)}{(28\text{mm})} = 7.1 \mu\epsilon$$

Por lo tanto el valor en microdeformaciones entre línea y lí-
nea es 7.1 $\mu\epsilon$. Partiendo de este dato se obtiene la microde-
formación total, medida desde el origen hacia el pico de la -
señal (compresión-tensión).

REGISTRO N° 1
VIA 1 CARRO 3800 NE - 92

INTERESTACIONES	MICRODEFORMACION COMPRESION (EXTENSOMETRO N°)				MICRODEFORMACION TENSION (EXTENSOMETRO N°)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
PANTITLAN-ZARAGOZA	14.9	18.5	15.2	13.1	0	2.9	1.6	6.9
ZARAGOZA-G. FARIAS	12.8	23.4	12.0	13.9	7.7	8.9	8.0	11.5
G.FARIAS-AEREOPUERTO	11.4	17.7	15.2	29.3	14.6	19.2	15.2	21.6
AEREOPUERTO-BALBUENA	7.1	1.4	8.0	1.5	21.6	25.9	26.4	20.0
BALBUENA-MOCTEZUMA	7.8	7.1	9.6	7.7	16.9	14.8	27.2	16.7
MOCTEZUMA-SAN LAZARO	14.9	5.7	9.6	6.9	11.5	17.0	30.4	17.7
SAN LAZARO-CANDELARIA	17.7	8.5	18.4	12.3	26.9	20.0	45.6	26.6
CANDELARIA-MERCED	16.3	10.6	21.6	8.5	11.5	8.9	39.2	18.5
MERCED- PINO SUAREZ	24.8	7.8	16.0	8.5	16.2	14.8	32.0	17.7
P. SUAREZ-I. LA CATOLICA	12.8	6.4	10.4	10.0	20.0	14.0	40.8	21.6
I.LA CATOLICA-S.DEL AGUA	10.6	7.1	14.4	7.7	17.7	12.6	28.0	22.3
S.DEL AGUA-BALDERAS	19.9	8.5	8.0	8.5	16.9	14.8	32.0	18.5
BALDERAS-CUAHUTEMOC	14.9	7.1	20.8	7.7	13.1	14.8	35.2	18.5
CUAHUTEMOC-INSURGENTES	17.0	12.8	8.8	13.9	18.5	14.8	32.0	25.4
INSURGENTES-SEVILLA	12.8	5.7	0	0	22.4	20.7	0	0
SEVILLA-CHAPULTEPEC	9.9	7.1	4.0	0	13.1	5.9	12.0	0
CHAPULTEPEC-JUANACATLAN	11.4	7.1	12.0	9.2	25.4	13.5	24.0	21.6
JUANACATLA-TACUBAYA	13.5	11.4	21.6	8.0	17.7	14.1	22.4	21.6
TACUBAYA-OBSERVATORIO	13.5	12.0	14.4	7.7	23.1	18.5	42.4	29.3

REGISTRO N° 2
VIA 2 CARO 3800 NE-92

INTERESTACIONES	MICRODEFORMACIONES (µG) TENSION (EXTENSOMETRO N°)				MICRODEFORMACIONES (µG) COMPRESION (EXTENSOMETRO N°)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
	OBSERVATORIO-TACUBAYA	0	0	0	0	0	0	0
TACUBAYA-JUANACATLAN	38.5	14.8	40.0	20.8	42.6	29.8	49.6	33.1
JUANACATLAN-SEVILLA	28.5	14.8	38.4	14.6	41.2	35.5	37.6	27.7
SEVILLA-INSURGENTES	26.9	14.8	48.0	19.2	35.5	34.1	33.6	33.9
INSURGENTES-CUAHUTEMOC	21.6	14.8	29.6	16.2	35.5	30.5	36.0	33.9
CUAUTEMOC-BALDERAS	18.5	21.5	44.6	24.6	27.0	23.4	24.0	23.1
BALDERAS-S. DEL AGUA	13.1	8.1	27.2	15.4	40.5	24.1	34.4	26.2
S.AGUA-I. LA CATOLICA	23.1	14.8	36.8	21.6	42.6	28.4	27.2	38.5
I.CATOLICA-PINO SUAREZ	20.0	16.3	41.6	15.4	35.5	34.1	37.6	47.7
PINO SUAREZ-MERCED	20.8	13.3	27.2	15.4	48.3	28.4	44.8	28.5
MERCED-CANDELARIA	17.7	14.8	32.0	15.4	49.7	35.5	40.0	42.3
CANDELARIA-SAN LAZARO	26.9	17.8	35.2	24.6	42.6	35.5	52.0	34.6
SAN LAZARO-MOCTEZUMA	11.5	14.8	20.8	20.8	67.4	46.1	40.0	55.4
MOCTEZUMA-BALBUENA	19.2	13.3	24.0	10.8	29.1	24.1	26.4	33.1
BALBUENA-AEREOPUERTO	10.8	12.8	32.0	13.9	38.3	19.2	25.6	24.6
AEREOPUERTO-G. FARIAS	23.1	10.4	40.0	15.4	27.7	19.2	18.4	23.1
G. FARIAS-ZARAGOZA	12.3	13.3	30.4	15.4	51.8	44.0	36.0	46.2
ZARAGOZA-PANTITLAN	42.0	8.0	46.0	23.0	39.0	33.0	48.0	46.0

M A X I M A S M I C R O D E F O R M A C I O N E S
" V I A 1 " " V I A 2 "

INTERESTACIONES	MICRODEFORMACIONES MAXIMAS $\mu\text{G} = 1 \times 10^{-6}\text{G}$			
	V I A 1		V I A 2	
	TENSION	COMPRESION	TENSION	COMPRESION
PANTITLAN-ZARAGOZA	6.9	15.2	46.0	46.0
ZARAGOZA-G. FARIAS	11.5	23.4	30.4	51.8
G. FARIAS-AEREOPUERTO	21.6	17.7	40.0	27.7
AEREOPUERTO-BALBUENA	26.4	8.0	32.0	38.3
BALBUENA-MOCTEZUMA	27.2	9.6	24.0	33.1
MOCTEZUMA-SAN LAZARO	30.4	14.9	20.8	* 67.4
SAN LAZARO-CANDELARIA	* 45.6	18.4	35.2	52.0
CANDELARIA-MERCED	32.0	21.6	32.0	49.0
MERCED-PINO SUAREZ	39.2	* 24.8	27.2	48.3
P. SUAREZ-I. LA CATOLICA	40.8	12.8	41.6	47.7
I. CATOLICA-S.DEL AGUA	28.0	14.4	36.8	42.6
S. DEL AGUA-BALDERAS	32.0	19.9	27.2	40.5
BALDERAS-CUAHUTEMOC	35.2	20.8	* 49.6	27.0
CUAHUTEMOC-INSURGENTES	32.0	17.0	29.6	36.0
INSURGENTES-SEVILLA	22.3	12.8	48.0	35.5
SEVILLA-CHAPULTEPEC	13.1	9.9	38.4	41.2
CHAPULTEPEC-JUANACATLAN	25.4	12.0	40.0	41.2
JUANACATLAN-TACUBAYA	22.4	21.6	40.0	49.6
TACUBAYA-OBSERVATORIO	42.4	14.4	0	0

(*)= Interestación con mayor microdeformación (Tensión, Compresión)

MAXIMOS ESPUERZOS
REGISTRADOS EN LA MEDIA BARRA
PERMANENTE
TIPO 160 D-4 DURANTE EL RRECORRI-
DO REALIZADO EN LA LINEA 1

POR EL TREN NUMERO 11 NE-92

$$\sigma = \mu \epsilon \quad ; \quad \sigma = F/A \quad ; \quad F = \sigma A \quad ; \quad E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

A = Area de la barra de tracción circular hueca = 34.47 cm².

INTERESTACION	TENSION			COMPRESION		
	DEFOR- MACION 1x10 ⁻⁶ ($\mu\epsilon$)	ESFU- ERZO Kg/cm ² (σ)	PUERZA kg (F)	DEFOR- MACION 1x10 ⁻⁶ ($\mu\epsilon$)	ESFU- ERZO Kg/cm ² (σ)	PUERZA Kg (F)
JUANACATLAN-TACUBAYA	40.0	84.0	2895.5	49.0	102.9	3546.9
INSURGENTES-SEVILLA	48.0	100.8	3474.6	35.5	74.5	2569.7
I.LA CATOLICA-P.SUAREZ	41.6	87.4	3011.3	47.7	100.2	3473.9
CANDELARIA-SAN LAZARO	35.0	73.5	2533.5	52.0	109.2	3764.1
SAN LAZARO-MOCTEZUMA	20.8	43.7	1506.3	67.4	141.54	4878.9
GOMEZ PARIAS-ZARAGOZA	30.4	63.8	2199.2	51.8	108.8	3749.6
ZARAGOZA-PANTITLAN	46.0	96.6	3329.8	46.0	96.6	3329.8

Esfuerzo real calculado:

$$\sigma = \mu \epsilon \quad [\text{Kg/cm}^2]$$

$\mu \epsilon$ = Es la microdeformación máxima calculada a través de los datos obtenidos del registrador. [Adimensional]

E = Es el módulo de elasticidad del material de la barra de tracción, que es igual a $21\,000 \text{ Kp/mm}^2 = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$
(1 Kilopond = 1 Kg)

La barra de tracción es de acero al bajo carbono (acero dulce)

COMPRESION

Máxima microdeformación :

$$67.4 \mu \epsilon = 67.4 \times 10^{-6} \epsilon$$

Esfuerzo máximo a compresión

$$\sigma = 67.4 \mu \epsilon (2.1 \times 10^6)$$

$$\underline{\sigma_{\text{máx.C}} = 141.5 \text{ Kg/cm}^2}$$

Fuerza máxima a compresión:

$$F_{\text{máx.C}} = (\sigma_{\text{máx.C}}) (\text{Area})$$

$$F_{\text{máx.C}} = (141.5 \text{ Kg/cm}^2) (34.5 \text{ cm}^2)$$

$$\boxed{F_{\text{máx.C}} = 4878.9 \text{ Kg}}$$

TENSION

Máxima microdeformación:

$$48 \mu \epsilon = 48 \times 10^{-6} \epsilon$$

Esfuerzo máximo a tensión:

$$\sigma = 48 \mu \epsilon (2.1 \times 10^6)$$

$$\underline{\sigma_{\text{máx.T}} = 100.8 \text{ Kg/cm}^2}$$

Fuerza máxima a tensión:

$$F_{\text{máx.T}} = (\sigma_{\text{máx.T}}) (\text{Area})$$

$$= 100.8 \text{ Kg/cm}^2 (34.5 \text{ cm}^2)$$

$$F_{\text{máx.T}} = 3477.6 \text{ Kg.}$$

DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS ELASTICOS

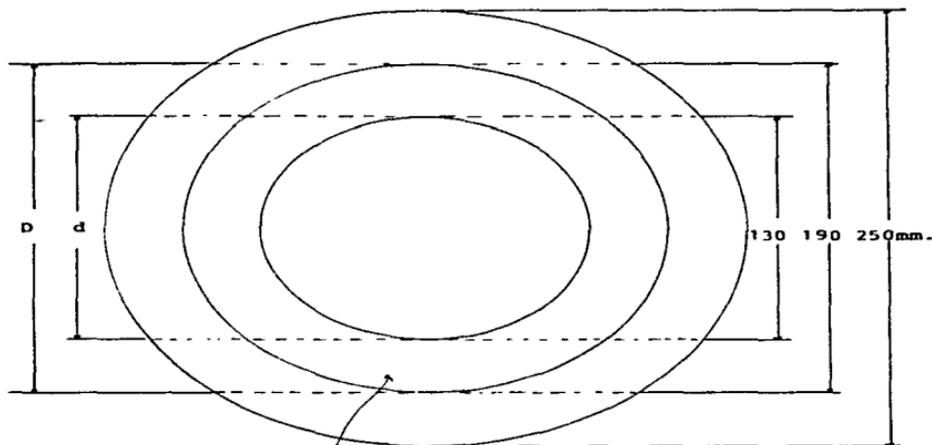


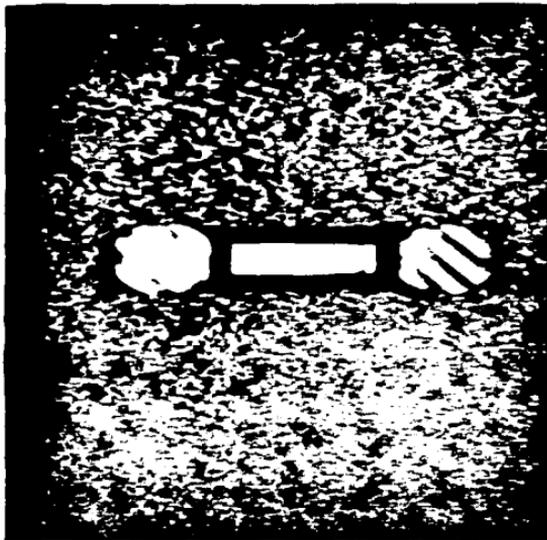
FIGURA 4.2

$$\text{Area de un anillo} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = A_1$$

$$A_1 = \frac{3.14(190^2 - 130^2)}{4}$$

$$A_1 = 15079.6 \text{ mm}^2 = 150.8 \text{ cm}^2$$

VISTA FRONTAL DE UN ELEMENTO ELASTICO
(FOTOGRAFIA)



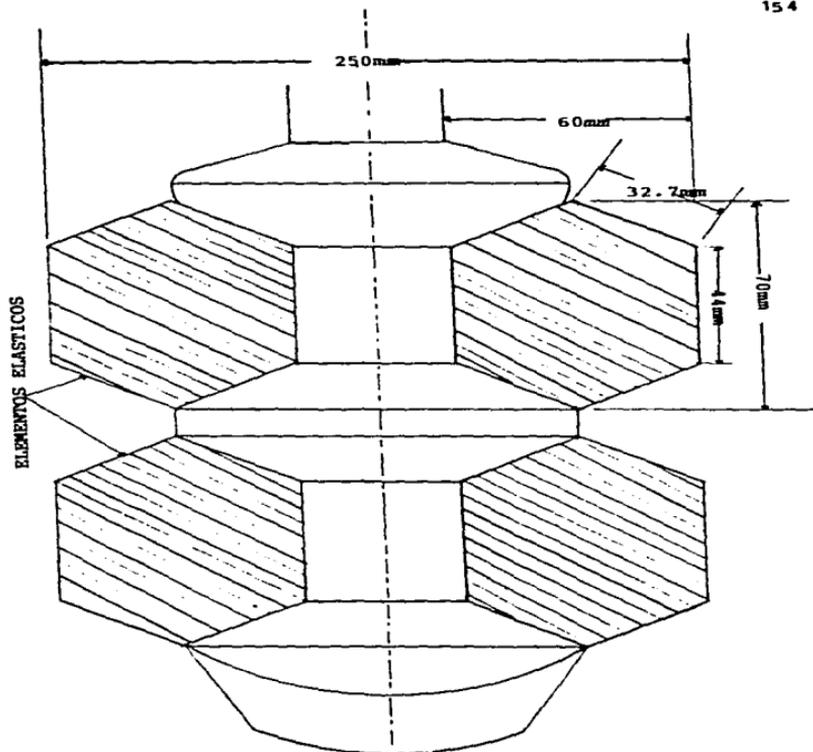


FIGURA 4.3

Angulo considerado en el calculo de esfuerzos en los elementos elásticos

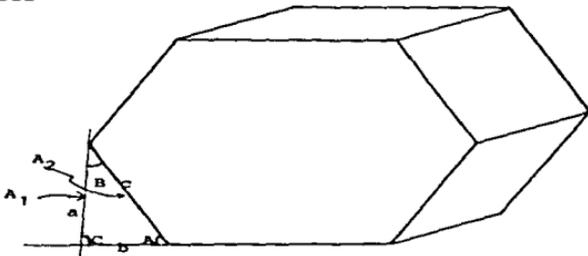


FIGURA 4.4

Lados del triángulo:

$$a = 30\text{mm}$$

$$b = 13\text{mm}$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$c = 32.7\text{mm}$$

Angulos del triángulo

$$\sphericalangle A = ?$$

$$\sphericalangle B = ?$$

$$\sphericalangle C = 90^\circ$$

$$\sphericalangle A = \cos^{-1} \left[\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \right]$$

$$\boxed{\sphericalangle A = 66.5^\circ} \quad \therefore \quad \sphericalangle B = 23.4^\circ$$

Area considerada para el calculo de esfuerzos en los elementos elásticos

$$A_2 = A_1 / (\cos \sphericalangle B)$$

$$A_2 = 150.8 \text{ cm}^2 / \cos 23.4^\circ$$

$$\boxed{A_2 = 164.3 \text{ cm}^2}$$

ANÁLISIS: En una diferencial de elemento elástico para realizar un estudio de fuerzas.

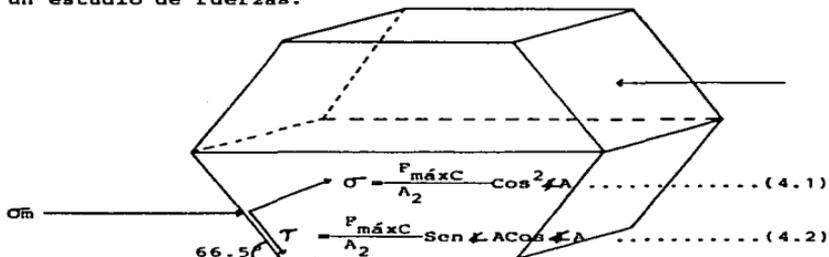


FIGURA 4.5

$F_{\text{máx}}$ = Fuerza máxima obtenida en la barra de tracción
 = 4878.9 Kg.

A_2 = Area considerada que conforman 2 elementos elásticos
 = 164.3 cm² (1 aro)

Sustituyendo los valores en (4.1) y (4.2) respectivamente:

$$\sigma_x = \frac{4878.9 \text{ Kg}}{164.3 \text{ cm}^2} \cos^2 66.5^\circ = 4.7 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_x = 4.7 \text{ Kg/cm}^2 \text{ entre 2 aros que componen 4 elementos elásticos} = \boxed{2.4 \text{ Kg/cm}^2}$$

$$\tau_{xy} = \frac{4878.9 \text{ Kg}}{164.3 \text{ cm}^2} \text{Sen } 66.5^\circ \text{Cos } 66.5^\circ = 10.9 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau_{xy} = 10.9 \text{ Kg/cm}^2 \text{ entre 2 aros que componen 4 elementos elásticos} = \boxed{5.4 \text{ Kg/cm}^2}$$

En base a los esfuerzos obtenidos (normal y cortante) a través de las ecuaciones 4.1 y 4.2, procedemos a mostrar el estado de esfuerzos figura 4.6 y con éste poder dibujar el Círculo de Mohr figura 4.7, obteniendo de esta forma los esfuerzos máximo, mínimo y cortante máximo a que están sometidos los elementos elásticos.

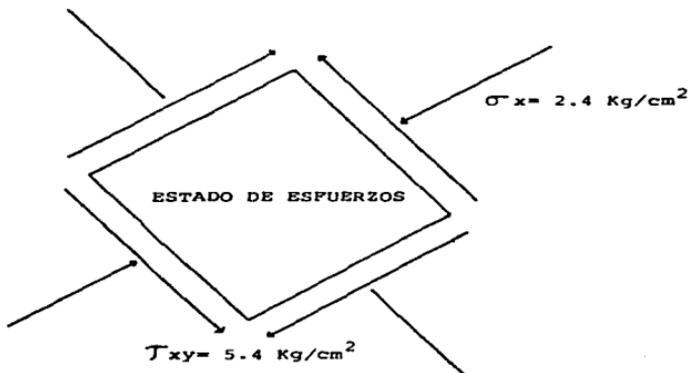
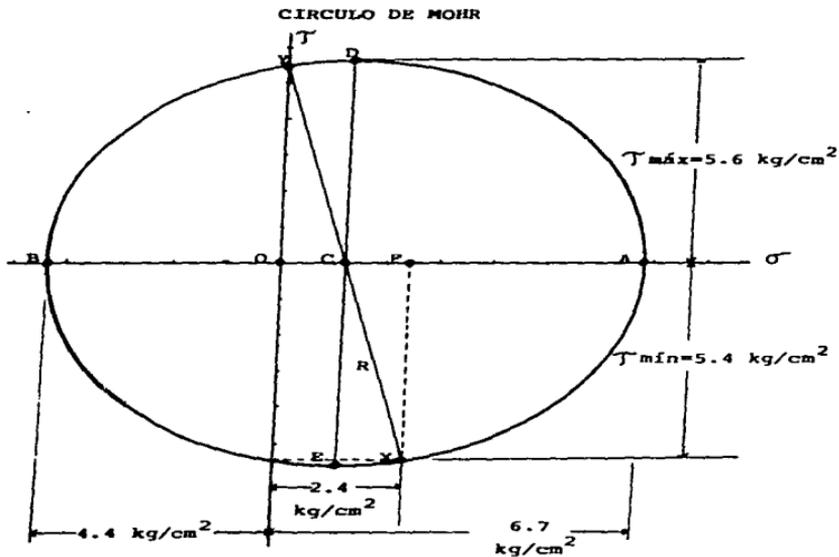


FIGURA 4.6



$$\sigma_{\text{prom}} = \frac{x+y}{2} = \frac{2.4+0}{2} = 1.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{máx}} = OA = 6.7 \text{ kg/cm}^2 \text{ (91.6 PSI)}$$

$$\sigma_{\text{mín}} = OB = 4.4 \text{ kg/cm}^2 \text{ (60.2 PSI)}$$

$$T_{\text{máx}} = 5.6 \text{ kg/cm}^2 \text{ (76.6 PSI)}$$

IV-5. REDISEÑO .

Hasta el momento se ha dado suficiente material para discutir y decidir realizar un rediseño.

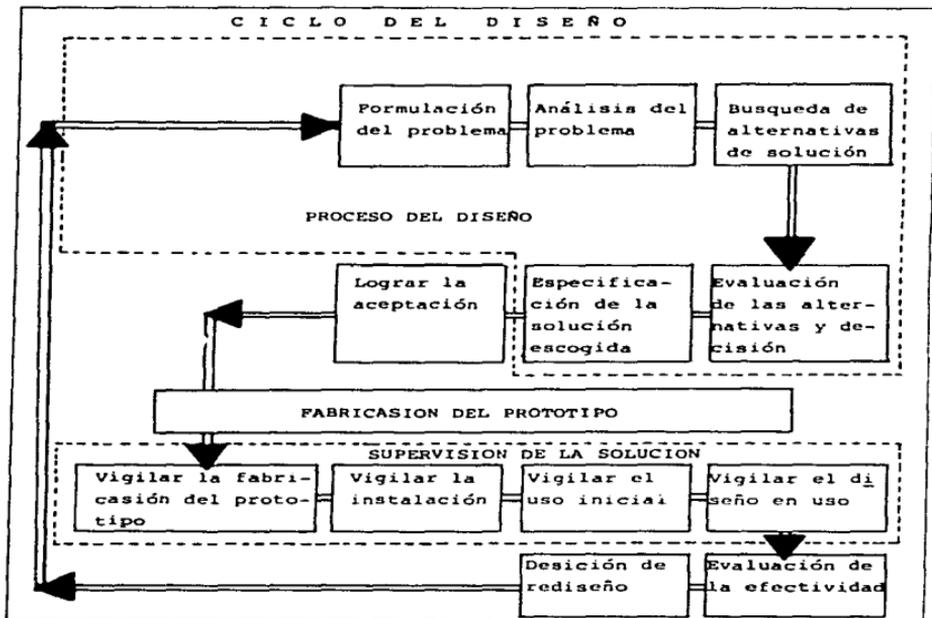
Ya que se ha planteado, formulado, analizado, evaluado y especificado la solución escogida para el problema en cuestión.

De antemano se ha recurrido al postulado de la evaluación de la efectividad, que consiste en la evaluación periodica de la de la efectividad del diseño original, proporcionandonos una base para decidir cuando es conveniente para proceder al rediseño, es decir, cuando se decide rediseñar un nuevo elemento es por que el diseño original se ha llevado a la práctica, se evalua su efectividad durante su servicio, se observa y se califica que dicho elemento no es práctico para las condiciones a que esta sometido, es por lo que existe la necesidad de iniciar una modificación de las características originales del elemento y adecuarlas a los requerimientos que nos exige para un buen funcionamiento y servicio.

Siempre y cuando no alterar demasiado las características del diseño ya que nos podría resultar contraproducente y caro, pues, puede producir una larga y compleja cadena de modificaciones de ajuste que, al divergir por caminos insospechados, pueden sacudir con su impacto al diseño.

De lo último mencionado, es por lo que se decidio de no modificar las propiedades físicas o geometricas de los elementos elásticos, pero sí, sus propiedades químicas para una mayor resistencia.

Para darnos una idea más general de como se puede lograr un - diseño y que postulados se deben de tener en cuenta para tomar la decisión de realizar un rediseño, en el siguiente diagrama de bloques se puede apreciar la secuencia ordenada para llevar acabo un diseño:



Rediseño:

Con los resultados obtenidos del análisis de fuerzas, se ha po dido constatar que los esfuerzos máximos a que están sometidos los Elementos Elásticos son de magnitud relativamente baja, pe ro aún así éstos se vienen fisurando y fracturando. Esto nos da a entender que los Elementos Elásticos tienen una baja resistencia a la tensión-compresión con respecto a los es fuerzos obtenidos, dándose así los desperfectos mencionados.

Por lo tanto fue necesario tomar la decisión de realizar un re diseño de acuerdo a los criterios y normas que se deben con siderar.

De acuerdo a las normas SAE-ASTM de compuestos de elastómeros para aplicación automotriz (tablas incluidas en el anexo "C") se ha seleccionado un elastómero de mayor resistencia a la ten sión-compresión, tomando en cuenta el tipo, clase y a que prue bas debe estar sometido dicho elastómero para que preste un buen servicio, aunado a las condiciones de sobrecarga que pueden estar expuestos los Elementos Elásticos.

El elastómero seleccionado (tabla 1 anexo "C") cuenta con las siguientes características:

10R1 7 05 B, D, G, H, N, R

DONDE:

10R1 = Tipo de caucho. Que es un compuesto de caucho natural caucho sintético o combinación de éstos.

7= Rango de dureza: 70 \pm 5 Shore A	ASTM D676
05= Mínima resistencia a la tensión: 500 PSI	ASTM D412
(= 35.0 kg/cm ²)	
B = Prueba de compresión	ASTM D395
D = Prueba de flexión a la carga	ASTM D575
G = Prueba de resistencia a la rotura	ASTM D624
H = Prueba de resistencia a la flexión	ASTM D430
N = Prueba de resistencia al impacto	ASTM - - -
R = Prueba de resiliencia	ASTM D945

Factor de seguridad:

Mediante los esfuerzos obtenidos, tanto el de rediseño como el del análisis, podemos conseguir el factor de seguridad con el cual estará trabajando nuestro nuevo elastomero. Este factor de seguridad lo obtenemos de la siguiente forma:

$$FS = \frac{\sigma_{\text{final}}}{\sigma_{\text{admisible}}} = \frac{500 \text{ PSI}}{91.6 \text{ PSI}} = 5.4$$

Asegurándonos que nuestros nuevos Elementos Elásticos, con este factor de seguridad no sufrirán más fisuramientos ni fracturas, y de esta forma mantener un desempeño confiable.

Criterio del esfuerzo máximo para rediseño:

Para finalizar nuestro rediseño, propondremos el criterio del esfuerzo cortante máximo, el cual nos ayudara a predecir el comportamiento de los nuevos elementos elásticos con respecto al inicio de la fluencia y la fractura, asegurandonos en que momento pueden fallar y en que limites podemos estar seguros de que no fallen. Este criterio da predicción seguras con respecto a los resultados de ensayos y se aplica sólo a los materiales dúctiles. Afirma que se inicia la fluencia siempre que, en un elemento mecánico, el esfuerzo cortante máximo de una probeta a tensión.

Para éste criterio la falla ocurre siempre que:

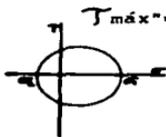
$$\tau_{\text{máx}} = \frac{S_y}{2} \dots \dots \dots (E)$$

DONDE:

S_y = es la resistencia a la tensión (obtenido de tablas del anexo "C")

S_y = 500 PSI ($\approx 35.0 \text{ kg/cm}^2$)

$\tau_{\text{máx}}$ = es el esfuerzo cortante máximo (obtenido de la diferencia $\sigma_1 - \sigma_2$ del círculo de Mohr figura 4.7, capítulo IV.4, donde $\sigma_1 = \sigma_{\text{máx}} = 6.7 \text{ kg/cm}^2$ y $\sigma_2 = \sigma_{\text{mín}} = 4.4 \text{ kg/cm}^2$. $\therefore \tau_{\text{máx}} = \frac{6.7 - 4.4}{2} = 1.15 \text{ kg/cm}^2$



Sustituyendo en (E) tenemos:

$$\frac{35.0 \text{ kg/cm}^2}{2} = 17.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$1.15 \text{ kg/cm}^2 \neq 17.5 \text{ kg/cm}^2$$

Definiendo también el concepto de seguridad de acuerdo al criterio del esfuerzo cortante máximo. Este criterio afirma que hay seguridad siempre que el esfuerzo cortante máximo de trabajo del material sea:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{S_y}{2N}$$

DONDE:

N= es el factor de seguridad calculado

N= 5.4

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{35.0 \text{ kg/cm}^2}{2 (5.4)} = 3.24 \text{ kg/cm}^2$$

Resumiendo: el esfuerzo generado en el elemento mecánico es - mucho menor al obtenido en una probeta (esfuerzo seleccionado por tablas para nuestro rediseño), por lo que el elemento mecánico no fallará en condiciones normales, quedando un margen para absorber las cargas repentinas o sobrecargas. Sin embargo, si la resistencia de corte del material excede el valor $S_y/2$, se estará limitando al esfuerzo máximo de corte a $S_y/2N$ a fin de evitar la falla a tensión.

CONCLUSIONS

C O N C L U S I O N E S

Mediante los planteamientos, análisis del problema, búsqueda y evaluación de alternativas de solución y especificación de la solución escogida que se trataron en este trabajo de tesis se pudo realizar un rediseño confiable, sirviendonos de base de comparación los resultados precisos obtenidos através del método de análisis seleccionado.

Teniendose la seguridad de que los Elementos Elásticos rediseñados no tenderán a fisurarse ni fracturarse una vez estando en servicio. Tan solo por su factor de seguridad mayor al que originalmente estuvo trabajando y a las pruebas de rediseño - que debe soportar al estar en operación.

Ademas se pudo constatar que mediante el Método de Análisis - Experimental de Esfuerzos elegido y aplicado al problema expuesto en este trabajo de tesis, que es uno de los métodos de gran utilidad en el area de ingeniería, ya que por medio de este método se logro obtener las deformaciones y con ello los máximos y mínimos esfuerzos que se estan generando en la Barra Permanente y en sus componentes de ésta de manera practica y segura. Aun que se podria obtener resultados similares con algun otro de los métodos de análisis, pero se tuvo la facilidad de realizar una evaluación de cada método y se decidió que el método seleccionado es el que se adecua a nuestras necesidades y al problema planteado.

Dicho método se baso en ciertas hipotesis simplificatorias - que nos condujo a obtener esfuerzos calculados que son sólo - aproximaciones de los reales, y con estos esfuerzos, tuvimos la facilidad de analizar los elementos elásticos con el objeto de predecir su comportamiento bajo condiciones especificas de carga y, por supuesto tambien para rediseñar dichos ele-

-mentos que ejerceran una función especificada con seguridad y economía.

De antemano se podrian mencionar las ventajas que pueden prevalecer de adoptar dicho rediseño propuesto:

-Buen funcionamiento de la Barra Permanente dando un buen servicio en las condiciones más óptimas y confiables. Derivándose con esto:

-Reducción de cargas extras de mantenimiento incluyendo las de horas-hombre.

-Un servicio de transporte con mayor rapidez, abatiéndose tiempos de recorrido sin tantos paros en horas de servicio.

ANEXO "A"

T A B L A S

D E

A C A B A D O

D E

S U P E R F I C I E S

TABLA No. 1

PREPARACION DE SUPERFICIES

(INDICE DE MATERIALES DE PRUEBA)

NOTAS ESPECIALES

- * Aplicando color al espécimen desde el momento mismo, Final y solamente.
- ** Línea 000 tipo #220 y #320, no se usan.
- Use uno solo litro. No recambie botella de plástico si es.
- ** Píele a uno con acondicionador A cuando sea necesario según se indica en la columna "Acondicionador A".
- 1) Los números indican el tiempo.

OBSERVACIONES

		1	2	3	4	5	
ACEROS (Al Carbono e Inoxidables)	1		2a 2b	3	4	5	Repita los pasos 4 y 5 si los deformímetros eléctricos no se pueden pegar dentro de los 45 minutos al término de la preparación final de la superficie.
ACEROS (Dureza Superficial)	1			2	3	4 5	La remoción del material de la superficie puede alterar las condiciones de esfuerzos residuales y/o la vida de fatiga y la resistencia al desgaste.
ACEROS (Serie 4000)	1		2)	2	3	4	El acondicionador A tiende a producir residuos negros sobre la superficie.
ACRÍLICOS		1	(1)	2)	3	4 5	Pueden verse afectados por acetona, éter, aromáticos e hidrocarburos clorinados.
ALUMINIO ANODIZADO	1			2	3	4 5	Anodizados negros o de color deberán retirarse antes de la instalación del deformímetro eléctrico. Utilice limpiadores no clorinados (domésticos o industriales). Superficie anodizada clara son aceptables para niveles de deformación elástica únicamente.
ALUMINIO, Recubrimiento	1			2	3	4 5	Deben removerse las capas de recubrimiento antes de la instalación de deformímetros eléctricos utilizando lija # 180 ó 220. Prueba para verificar la remoción del recubrimiento: (a) Limpie el área con una solución de hidróxido de sodio al 10% - el área se tornará negra en 60 segundos si el recubrimiento se ha retirado completamente; (b) Neutralice la superficie con el acondicionador A; -- (c) Lave el área con agua destilada. Proceda con la preparación de superficie según se especifica.
ALUMINIO, Fundiciones de	1		(2)	(2)	2	3 4 5 6	Los deformímetros eléctricos deberán adherirse en 30 minutos después de la preparación final de la superficie.
ALUMINIO Trabajado ó Martinado	1		(2)		2	3 4 5 6	Los deformímetros eléctricos deberán adherirse en 30 minutos después de la preparación final de la superficie.

ANEXO "B"

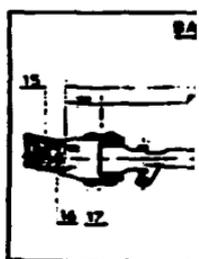
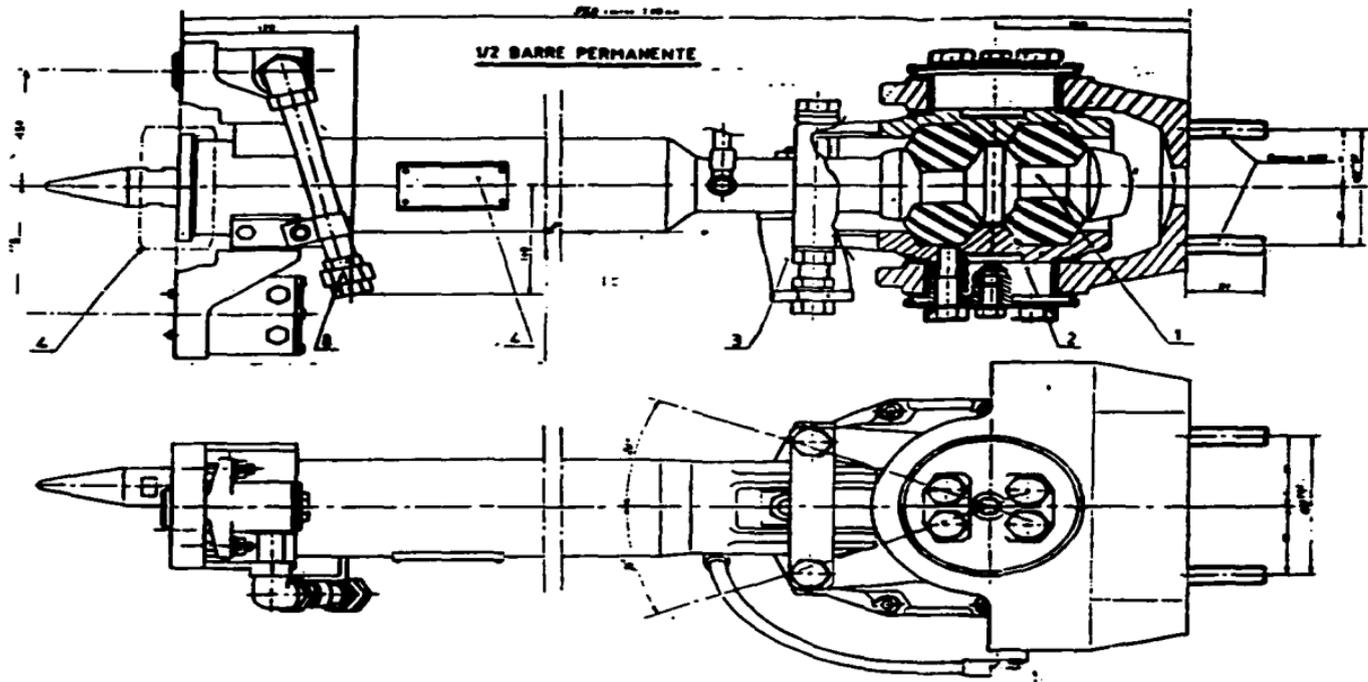
PARTES

CONJUNTAS

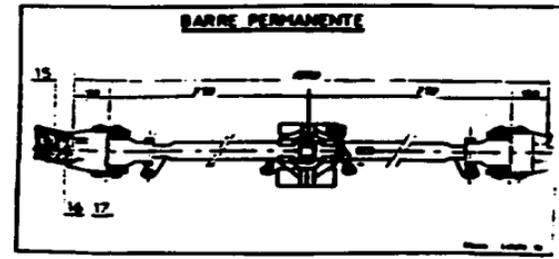
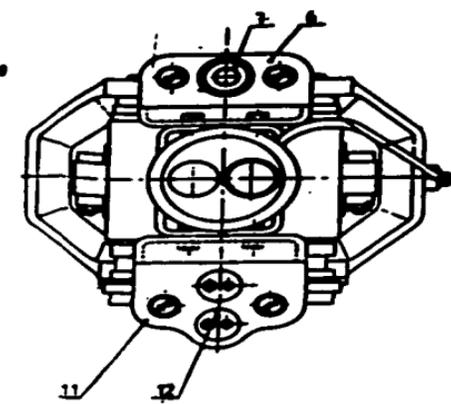
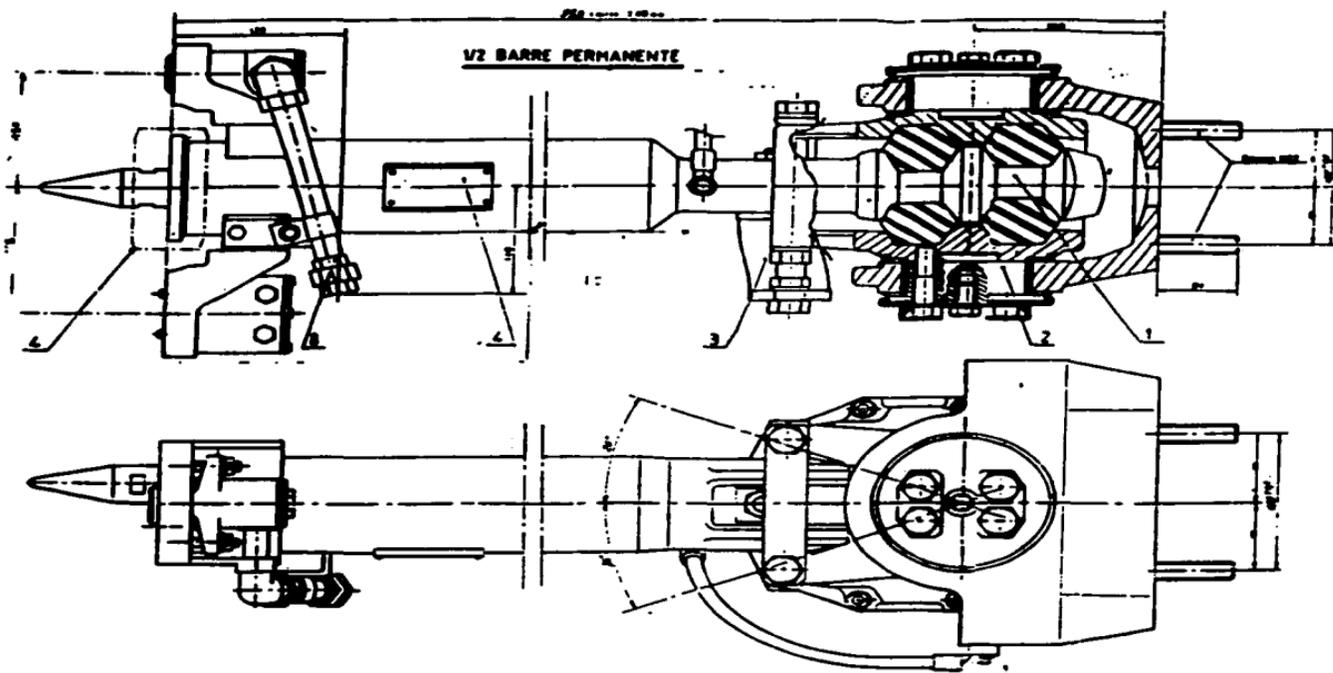
DE LA

MEDIA BARRA

PERMANENTE

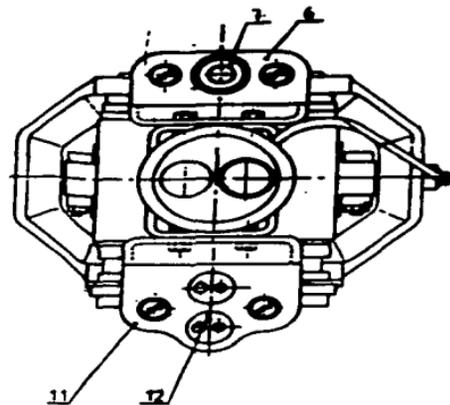
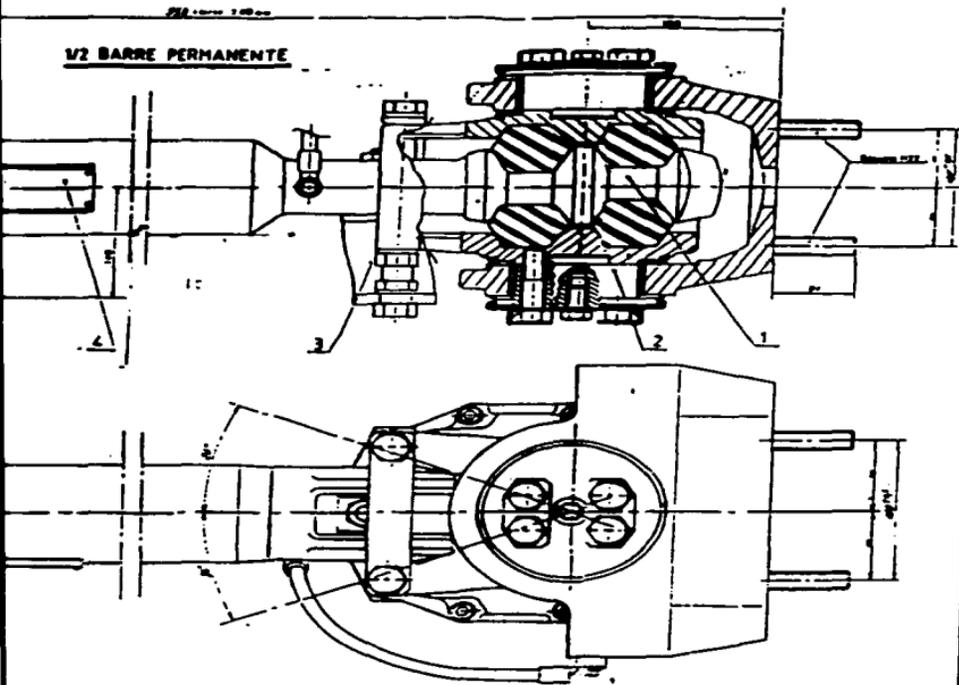


BARRE PERMANENTE
BARRA PERMANENTE

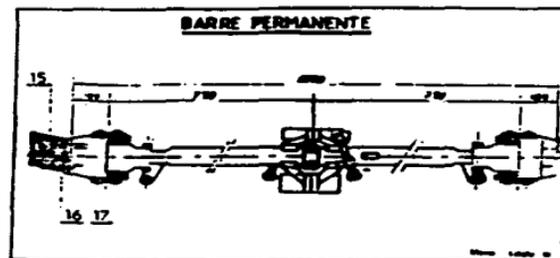


BARRE PERMANENTE TYPE 160 DA
BARRA PERMANENTE TIPO 160 DA

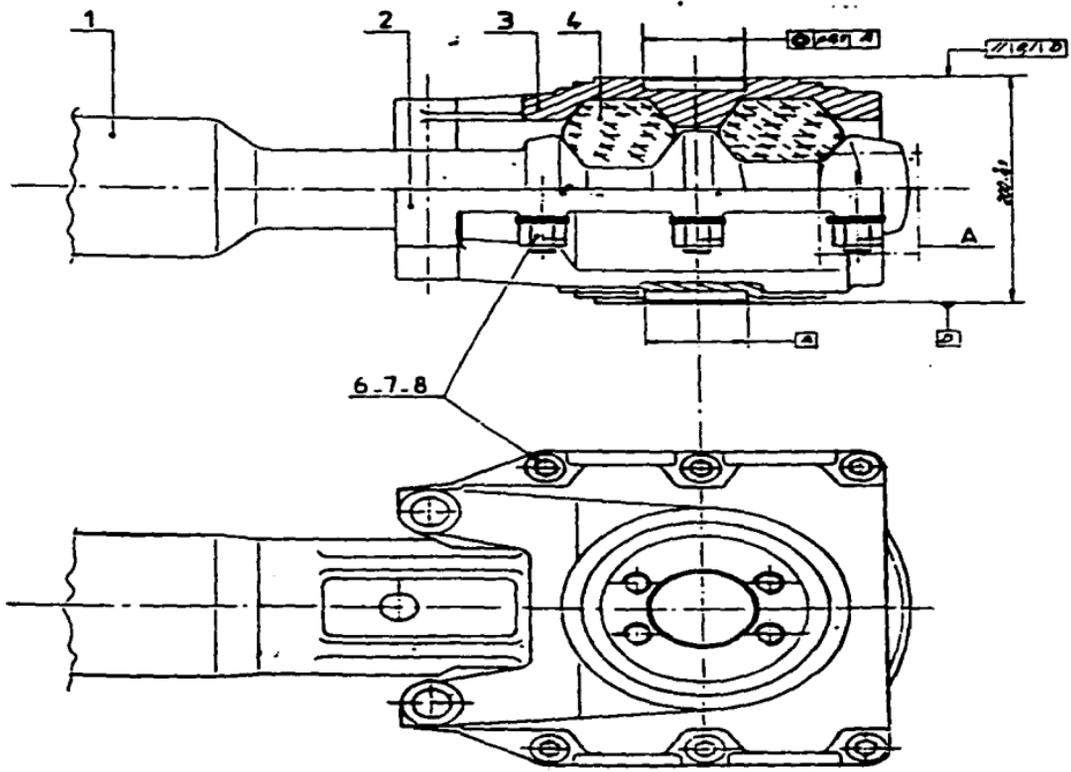
V2 BARRE PERMANENTE

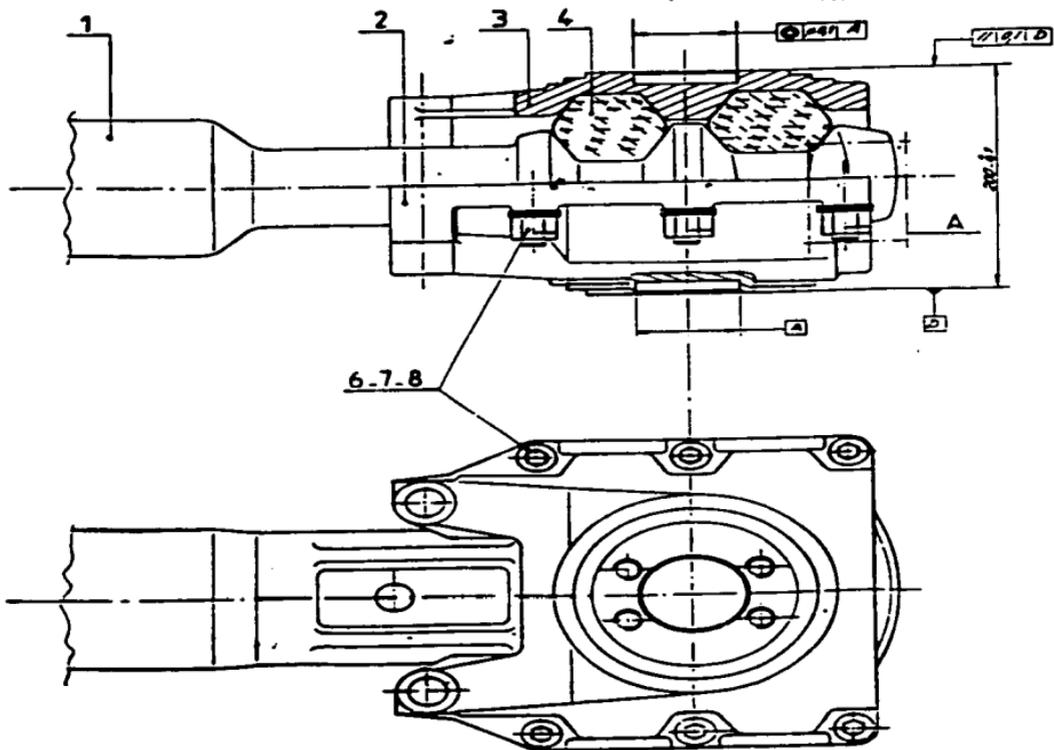


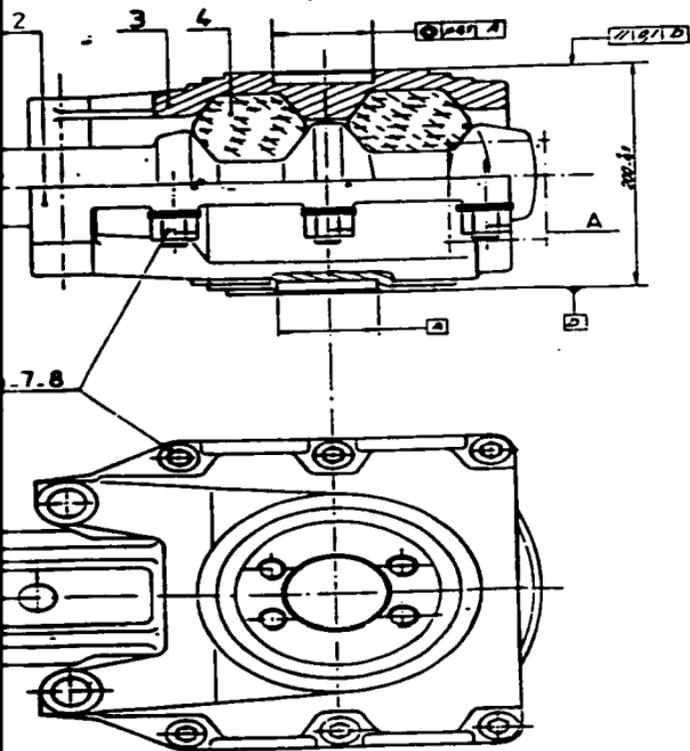
BARRE PERMANENTE



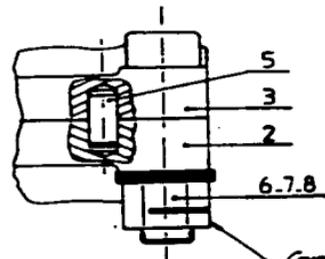
BARRE PERMANENTE TYPE 160 D4
BARRA PERMANENTE TIPO 160 D4







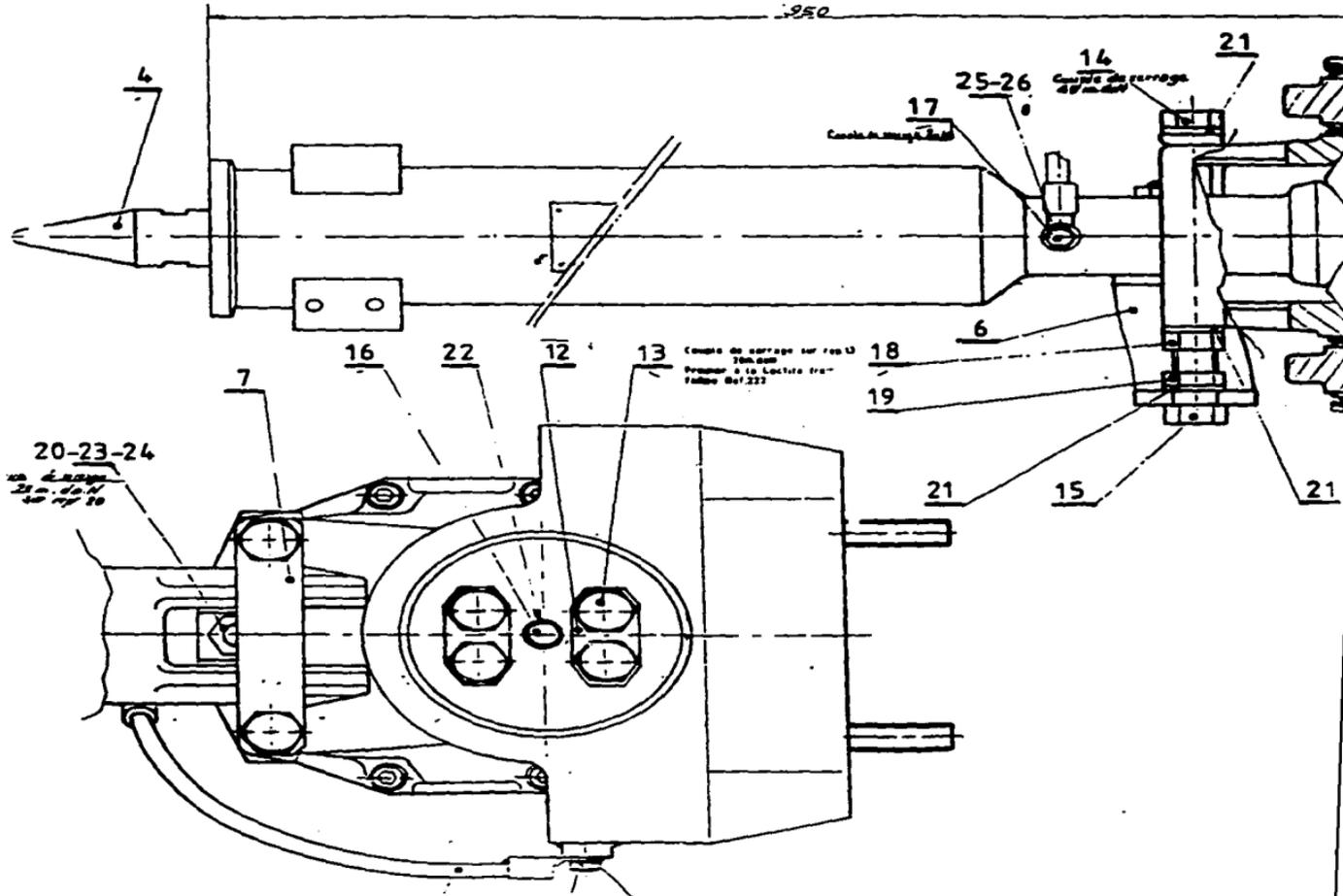
Détails . A
 Détail . A

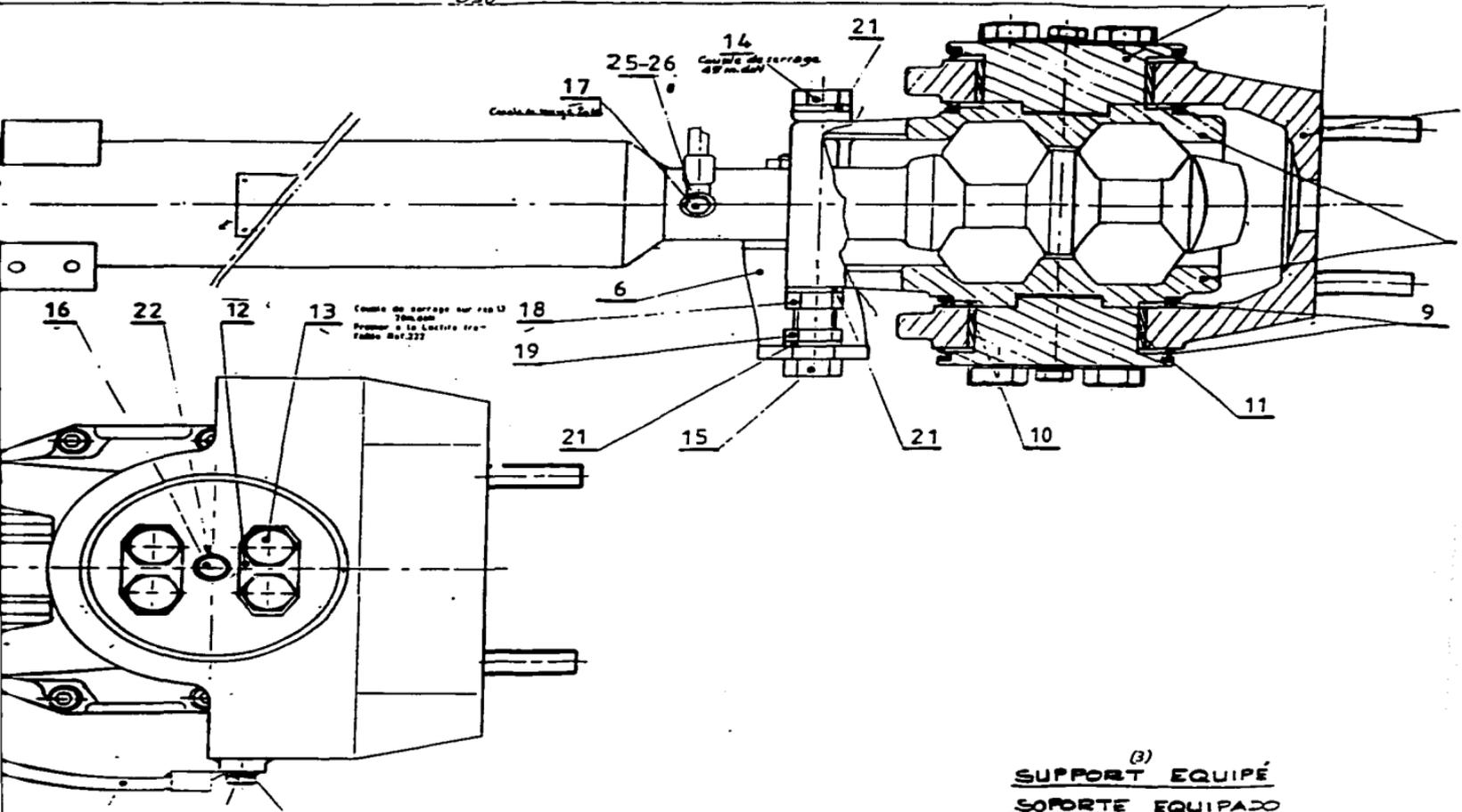


*Couple de serrage 115 m.N
 Par de apretado 165m.N*

(2)

DISPOSITIVO DE CHOQUE Y TRACCION
DISPOSITIF DE CHOC ET TRACTION





(3)
SUPPORT EQUIPÉ
SOPORTE EQUIPADO

ANEXO "C"

T A B L A S

D E

C O M P U E S T O S

D E

E L A S T O M E R O S

P A R A A P L I C A S I O N

A U T O M O T R I Z

REGULATIONS FOR ELASTOMER COMPOUNDS FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS

KEY TO ELASTOMER COMPOUNDS FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS

For detailed requirements see ASTM Designation D 375

Compounds for tires, inner tubes, sponge rubber, hard rubber, belts, hose mats, and insulated wire and cable are not included
Prepared by the ASTM Technical Committee on Automotive Rubber

EXAMPLES

R 615 R, C, F, D, and so forth
SC 615 B, C, F, D, and so forth

Solid Grades Rubber
(615)

Suffix Letters

(May be used singly or in combination)
If two suffix letters, when appended to the grade number, signify that the requirements for which they stand are to be met. If no method of test is prescribed, or if no value for the suffix letter requirement is specified in the tables, agreement as to method of test and required value shall be arranged between the purchaser and the supplier.

Letter	Test Required	ASTM Test Method
A	Heat aging (30 hr at 212 F)	D 573
B	Compression set (Method B)	D 563
C	Weather resistance	D 574
D	Load deformation	D 575
E	Oil resistance (ASTM Oil No. 1)	D 471
F	Oil resistance (ASTM Oil No. 2)	D 471
G	Oil resistance (Hydrotreatment Test Fluid)	D 471
H	Low temperature brittleness (at -60 F)	D 740
J	Low temperature brittleness (at -67 F)	D 740
K	Tear resistance	D 624
L	Flex resistance	D 490
M	Abrasion resistance	D 394
N	Adhesion to metal (Bond method during vulcanization)	D 429
O	Adhesion to metal (Bond method after vulcanization)	D 429
P	Water resistance	D 471
Q	Flammability resistance	D 568
R	Impact resistance	D 562
S	Nonswelling	D 949
T	Resilience	D 949
U	Low temperature softness (at -60 F)	D 1053
V	Low temperature softness (at -67 F)	D 1053
Z	Special requirements	—

This key is to be used only for reference and to illustrate the use of the detailed specifications.
These specifications are subject to annual revision.
Additional information will be added to this Key Chart as it becomes available.

Type R, TABLE 1
For applications where specific resistance to the action of petroleum base fluids is not required

1—Compounds of natural latex, synthetic rubber, and reclaimed stone or combined stone thereof

Type S, TABLE 2, 3, 4
For applications where specific resistance to the action of petroleum base fluids is required

2—Compounds of synthetic rubber or combinations thereof which have outstanding resistance to swelling in low aniline point oil or lubrication fluids

3—Very low volume swell
3M—Low volume swell
4C—Medium volume swell

Type T, TABLES 5, 6
For applications where specific resistance to the effects of prolonged exposure to abnormal temperatures or compounded petroleum oils, or both, is required

F—Compounds of synthetic rubber or other like materials which have the following resistance:
A—Maximum resistance to heat and cold
T—Outstanding resistance to heat and cold

TYPES, CLASSES, AND GRADES OF COMPOUNDS

Types—These specifications cover three types of compounds designated by the prefix letters R, S, and T, as follows:

Type R—Compounds made from natural rubber, reclaimed rubber, synthetic rubber, or rubberlike materials, alone or in combination, for uses where specific resistance to the action of petroleum base fluids not required.

Type S—Compounds made from synthetic rubber or rubberlike materials for services where specific resistance to the action of petroleum base fluids is required.

Type T—Compounds made from synthetic rubber or rubberlike materials for services where specific resistance to the effects of prolonged exposure to abnormal temperatures or compounded petroleum oils, or both, is required.

Classes—Type R compounds are of two classes only; Type S compounds are divided into three Classes SA, SB, and SC; and Type T compounds are divided into two Classes TA and TB. These classes are as follows:

Class SA—Compounds made from synthetic rubber or rubberlike materials having very low volume swell in low aniline point oils (ASTM 471), A

Class SB—Compounds made from synthetic rubber or rubberlike

materials having low volume swell in low aniline point oils (ASTM D 471).

Class SC—Compounds made from synthetic rubber or rubberlike materials having medium volume swell in low aniline point oils (ASTM D 471).

Class TA—Compounds made from synthetic rubber or rubberlike materials having outstanding resistance to the action of both high and low temperatures.

Class TB—Compounds made from synthetic rubber or rubberlike materials having outstanding resistance to both dry heat and oils at high temperatures.

Grades—Each class of compound has a number of different grades, each having different physical properties. The grades shall be designated by numbers following the prefix letters and, when necessary, by suffix letters after the grade number. Grade numbers shall consist of three digits, the first indicating the durometer hardness range; for example, 3 for 30 to 5 and 4 for 40 to 5. The next two digits indicate the minimum tensile strength for example, 01 for 500 psi and 13 for 1500 psi.

Suffix Letters—Suffix letters may be added singly or in combination after any grade number, to indicate additional requirements when those specified in Tables 1, 2, 3, 4, 5, and 6 as basic requirements for each type

SPECIFICATIONS FOR ELASTOMER COMPOUNDS FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS

TABLE I—PHYSICAL REQUIREMENTS OF TYPE S COMPOUNDS, NONION STABILIZED, 100 PSI

Grade	Basic Requirements						Requirements Added by Suffix Letters*			
	Minimum Temperature, °F.	Min. Tensile Strength, psi	Min. Elongation, %	Heat Aging 70 hr. at 125 F. (70 C)			Min. Compression Set at 150 F. (65 C), %	Loss of 30% Modulus at 150 F. (65 C), %	Min. Compression Set at 150 F. (65 C), %	Min. Compression Set at 150 F. (65 C), %
				Min. Change in Tensile Strength, %	Min. Change in Elongation, %	Min. Change in Compression Set, %				
4210	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	25	---
4220	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4230	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4240	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4250	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4260	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4270	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4280	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4290	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4300	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4310	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4320	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4330	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4340	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4350	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4360	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4370	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4380	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4390	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4400	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4410	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4420	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4430	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4440	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4450	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4460	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4470	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4480	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4490	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4500	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4510	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4520	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4530	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4540	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4550	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4560	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4570	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4580	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4590	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4600	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4610	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4620	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4630	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4640	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4650	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4660	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4670	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4680	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4690	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4700	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4710	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4720	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4730	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4740	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4750	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4760	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4770	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4780	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4790	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4800	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4810	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4820	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4830	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4840	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4850	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4860	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4870	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4880	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4890	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4900	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4910	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4920	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4930	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4940	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4950	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4960	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4970	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4980	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
4990	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---
5000	50	1000	400	-23	-20	+10	50	70	10	---

* See suffix, Methods of Testing.

* See suffix on Types, Classes, and Grades of Compounds.

* In order to help in S selection the number of grades retained, it is suggested that, wherever practical, these grades be used.

ade. The significance of the approved suffix letters is as follows:

Suffix Letter Test Requirement

- 1. --- Compounding for 70 hr. at 125 F. (100 C)
- 2. --- Compounding for 70 hr. at 150 F. (65 C)
- 3. --- Heat stability.
- 4. --- Heat stability.
- 5. --- Heat stability.
- 6. --- Heat stability.
- 7. --- Heat stability.
- 8. --- Heat stability.
- 9. --- Heat stability.
- 10. --- Heat stability.
- 11. --- Heat stability.
- 12. --- Heat stability.
- 13. --- Heat stability.
- 14. --- Heat stability.
- 15. --- Heat stability.
- 16. --- Heat stability.
- 17. --- Heat stability.
- 18. --- Heat stability.
- 19. --- Heat stability.
- 20. --- Heat stability.
- 21. --- Heat stability.
- 22. --- Heat stability.
- 23. --- Heat stability.
- 24. --- Heat stability.
- 25. --- Heat stability.
- 26. --- Heat stability.
- 27. --- Heat stability.
- 28. --- Heat stability.
- 29. --- Heat stability.
- 30. --- Heat stability.
- 31. --- Heat stability.
- 32. --- Heat stability.
- 33. --- Heat stability.
- 34. --- Heat stability.
- 35. --- Heat stability.
- 36. --- Heat stability.
- 37. --- Heat stability.
- 38. --- Heat stability.
- 39. --- Heat stability.
- 40. --- Heat stability.
- 41. --- Heat stability.
- 42. --- Heat stability.
- 43. --- Heat stability.
- 44. --- Heat stability.
- 45. --- Heat stability.
- 46. --- Heat stability.
- 47. --- Heat stability.
- 48. --- Heat stability.
- 49. --- Heat stability.
- 50. --- Heat stability.

* Suffix 52 denotes that the finished material must be subjected to a rigid surface test.

* Suffix 53 denotes that all surface imperfections and/or the use of materials which are as or less than the surface used for determining grade limits must be avoided.

When suffix letters, when appended to the grade number, signify requirements for which no standard is to be used, if no method is provided, or if no value for the suffix letter requirement is given in Table I, the agreement as to method of test and required strength between the purchaser and the supplier.

Compositions and Manufacture.—Compounds furnished under these specifications shall be manufactured from natural rubber, reclaimed rubber, synthetic rubber, or rubber like materials, together with added compounding ingredients of such nature and quantity as not to prevent compliance with the specified requirements. All materials and workmanship shall be in accordance with good commercial practice, and the resulting product shall be free from porous areas, weak sections, bubbles, foreign matter, or other defects affecting serviceability.

Color.—Unless otherwise specified, these compounds shall be black and free from objectionable blazes.

Methods of Testing.—The procedures enumerated in these specifications shall be determined by agreement, with the following methods of the American Society for Testing Materials except as modified in accordance with certain provisions stated herein: (1) exposure periods and temperatures prescribed by Table I, so S shall be given precedence over those specified in the ASTM methods.

Diameters: Hardness—ASTM D 774, Tentative Method of Test for Indentation of Rubber by Means of Durometer.

Tensile Strength and Elongation—ASTM D 412, Tentative Method of Tension Testing of Vulcanized Rubber, using Dia. C.

Example—Grade 5025 F1, designated a compound with good resistance aging for extreme wear on petroleum base fluids. The tensile strength is 2500 psi and an elongation minimum tensile strength of 2500 psi at 100% extension at 100 F. and constant to the above when tested at 100 F.

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

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

- 1.- **MECANICA DE MATERIALES**
Ferdinan P. Beer
E. Russel Johnston, Jr.
Mc Graw-Hill
Interamericana de México S.A.
- 2.- **RESISTENCIA DE MATERIALES**
Timoshenko
ESPASA CALPE MADRID.
- 3.- **INTRODUCCION A LA MECANICA DE SOLIDOS**
Egor P. Popov.
LIMUSA
- 4.- **MATERIALES DE INGENIERIA Y SUS APLICACIONES**
Lawarence H. Van Vlack
CONTINENTAL.
- 5.- **ANALISIS EXPERIMENTAL DE TENSIONES**
Comisión educativa S.E.S.A. (Society
for Experimental Stress Analysis)
Edición dirigida por:
W.H. Tuppeny Jr.
A.S. Kobayashi
Ediciones URMO BILBAO, 1970.

- 6.- **TEORIA DE SISTEMAS Y CIRCUITOS**
Victor Geres Greiser
Representaciones y servicios
de ingeniería S.A. 1972.
- 7.- **MANUAL DEL ESTUDIANTE PARA LA TECNOLOGIA DE
EXTENSOMETROS ELECTRICOS**
División educativa
Grupo VISHAY MEASUREMENTS
Boletín 309-C
- 8.- **STRAIN GAUGE TECHNOLOGY**
Editada por Window and G.S.
Holister.
- 9.- **CEA SERIES STRAIN GAUGE**
Grupo VISHAY MEASUREMENTS
Boletín PB-108-2
- 10.- **ADHESIVOS PARA EXTENSOMETROS ELECTRICOS**
MICRO-MEASUREMENTS
Boletín A-142-2
Octubre de 1972.
- 11.- **PREPARACION DE SUPERFICIES PARA EL PEGADO
DE EXTENSOMETROS ELECTRICOS**
Grupo VISHAY_MEASUREMENTS
Boletín B-129
Mayo de 1976

- 12.- FOLLETO
INSTRUMENTOS, MEDICIONES Y ESTUDIOS
DE ANALISIS EXPERIMENTAL DE ESFUERZOS
METRONIC
Viaducto Miguel Aleman N° 22 México, D.F.
- 13.- MANUAL PARA EL AMPLIFICADOR DE DEFORMACIONES
MODELO 6M53 y 6M52
SOLTEC CORPORATION
11684 PENDLETON STREET SUN VALLEY, CA. 91352.
- 14.- DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA
Joseph Edward Shigley
Larry D. Mitchell
Mc Graw Hill.
- 15.- MECANISMOS Y DINAMICA DE MAQUINARIA
Hamilton H. Mabie
Fred V.
LIMUSA, 1978.