

A357
C.2



BIBLIOTECA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Mecánica



“DISEÑO, CONSTRUCCION Y CALIBRACION DE UNA CELDA DE CARGA (TIPO VIGA EN VOLADIZO) PARA UNA MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYO DE MATERIALES CON ADQUISICION DE DATOS POR COMPUTADORA”

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

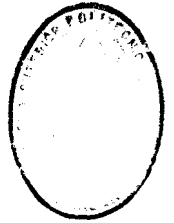
INGENIERA MECANICA

Presentado por:

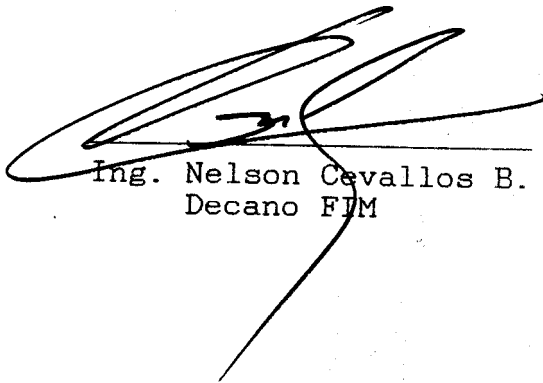
Ana Maritza Aldas Ortega

Guayaquil - Ecuador

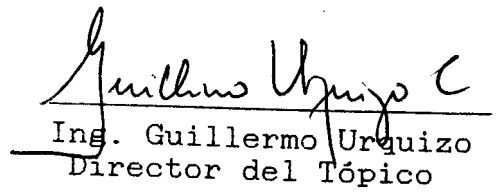
1 9 8 9



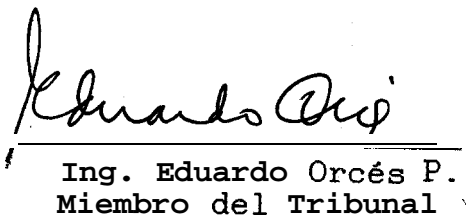
BIBLIOTECA



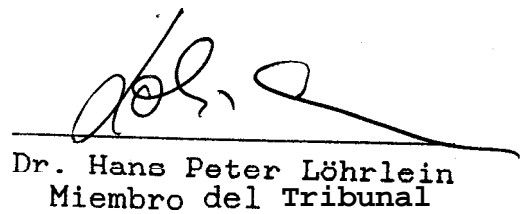
Ing. Nelson Cavallos B.
Decano FIM



Ing. Guillermo Urquiza C.
Director del Tópico



Ing. Eduardo Orcés P.
Miembro del Tribunal



Dr. Hans Peter Löhrllein
Miembro del Tribunal

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este Proyecto de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Tópico de Graduación) ,

ANA MARITZA ALDAS ORTEGA

AGRADECIMIENTO



Al Ing. Guillermo Urquizo Calderón, Director de este Proyecto de Tópico de Graduación, por su constante e invaluable ayuda.

Al Dr. Hans Peter Löhrlein y al Ing. Eduardo Orcés, profesores de las materias complementarias al Tópico de Graduación.

A mi madre, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida estudiantil, a mis compañeros de Tópico y demás personas que directa o indirectamente han colaborado con la elaboración del presente trabajo.

DEDICATORIA

A MI MADRE

A MIS HERMANOS

RESUMEN

El trabajo desarrollado consiste en el diseño, construcción y calibración del sensor de carga tipo viga en voladizo, con adquisición de datos por computadora, para una máquina universal de ensayo de materiales.

Para su desarrollo fue necesario hacer una revisión previa de fundamentos teóricos que los encontramos sintetizados en el capítulo I de este trabajo. Los capítulos subsiguientes contienen el diseño, construcción, calibración y las pruebas experimentales realizadas con la celda de carga.

En el caso del diseño, fue indispensable hacer uso de ciertos criterios cuya justificación están en el capítulo II. Al tener el material y los planos, se procedió a su construcción en el taller mecánico de la ESPOL.

La celda fue calibrada en el Laboratorio de Sólidos en la Máquina Universal de ensayo de Materiales INSTRON

1128, sus detalles los encontraremos en el capítulo III. Luego fue instalada en la Máquina Universal de Ensayo de Materiales para la cual fue diseñada. Se realizó la adquisición de datos de los ensayos por computadora. (Capítulos IV y V)



INDICE GENERAL

RESUMEN

INDICE GENERAL

INTRODUCCION

I.- FUNDAMENTOS TEORICOS

1.1.- Medida de la deformación en una superficie

1.2.- Comportamiento elástico y plástico

1.3.- Relaciones entre tensiones y deformaciones

1.4.- Deformación en tracción de un metal

II.- DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA CELDA DE CARGA TIPO
VIGA EN VOLADIZO.

2.1.- Características de la celda de carga

2.1.1.- Rango de la carga

2.1.2.- Colocación de los extensómetros

2.2.- Fórmula de la flexión elástica

2.3.- Diseño de la viga

2.4.- Diseño del empotramiento

2.5.- Diseño de la viga superior

2.6.- Diseño de los pernos

2.6.1.- Pernos del empotramiento

2.6.2.- Perno de la mordaza

2.7.- Construcción de la celda de carga

III.- CALIBRACION DE LA CELDA DE CARGA

3.1.- Proceso de pegado de un extensómetro

3.2.- Puente de Wheatstone

3.3.- Calibración de la celda de carga

IV.- ADQUISICION DE DATOS POR COMPUTADORA PARA LA
CELDA DE CARGA

4.1.- Descripción de la instrumentación utilizada

4.2.- Descripción del programa de adquisición

4.2.1.- Requisitos para la adquisicibn

4.2.2.- Funciones del programa

4.2.3.- Explicacibn del programa

V.- PRUEBAS EXPERIMENTALES

5.1.- Equipo y material utilizado

5.2.- Procedimiento general

5.3.- Ensayos de tension

5.3.1.- Nylon

5.3.2.- Cordon con hilos de seda

5.3.3.- Aluminio

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

APENDICES

A. PLANOS DE CONSTRUCCION

B. TABLAS DE RESULTADOS

C. GRAFICOS

D. FOTOGRAFIAS

E. LISTADO DEL PROGRAMA DE ADQUISICION DE DATOS

F. SIMBOLOS EMPLEADOS

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

El tema que se ha desarrollado lleva por título:
DISEÑO, CONTRUCCION Y CALIBRACION DE UNA CELDA DE CARGA
PARA MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYO DE MATERIALES (TIPO
VIGA EN VOLADIZO) CON ADQUISICION DE DATOS POR
COMPUTADORA.

El objetivo de esta celda es el de determinar el valor
de una carga desconocida mediante su uso en la máquina
universal de ensayo de materiales.

La importancia de este trabajo radica en que la celda
será instalada en una Máquina Universal de Ensayos que
no posee ningún indicador de la fuerza que se esté
aplicando a una probeta en un ensayo determinado en un
momento dado. La máquina en mención es de construcción
local (ESPOL). Corresponde al proyecto de construcción
de equipos, área de diseño y producción. En su
construcción se utilizaron fondos del proyecto
BID/ESPOL.

El sensor de carga estará conectado a un medidor de
deformación y con la ayuda de curvas de calibración, se

podrá conocer el valor de la fuerza en cualquier instante.

Se habilitará esta máquina para hacer ensayos de tensión o de compresión hasta una carga máxima de 1000 lbf. o 450 Kgf. o 4450 Nw.



CAPITULO I

FUNDAMENTOS TEORICOS

Este capítulo tiene como fin el de presentar las relaciones **matemáticas** que expresan la tensión y la deformación en un punto y las que **existen** entre la tensión y **deformación** en un cuerpo **rígido** que obedece a la ley de Hooke.

1.1. MEDIDA DE LA DEFORMACION EN UNA SUPERFICIE (Ref.#1)

Es imposible medir la tensión directamente, exceptuando los casos en los que hay implicadas tensiones de **contacto**. Por consiguiente, la medida de las deformaciones es el fundamento real de las **mediciones** experimentales de las tensiones. Por medio de la ley de Hooke y por las relaciones más generalizadas que se dan en la **sección** 1.3, esta medida de las deformaciones se convierten en tensiones.

Para medir las deformaciones, el aparato más

utilizado a nivel mundial es la galga de alambre de resistencia eléctrica, llamada usualmente galga de deformaciones o extensómetros. Se utilizan varios bucles de alambre fino o de láminas de composición especial en la estructura de estos calibradores que serán fijados a la superficie del cuerpo en estudio. Al deformarse el cuerpo, los alambres de este calibrador también experimentan deformación, variando de esta manera su resistencia eléctrica. Con un puente de Wheatstone se puede medir con exactitud la variación de la resistencia, que es proporcional a la deformación.

Es posible calibrar una barra si se la somete a cargas axiales conocidas y se anota la deformación correspondiente. Se tendrá un factor de proporcionalidad entre la carga y la deformación, si a la barra no se le hace exceder su límite elástico.

Para medir cargas pequeñas, la técnica más apropiada es la de una viga en cantilever- En este caso dos extensómetros están colocados de tal manera que se encuentran sujetos a tensión mientras que otros dos están en compresión. Todos los extensómetros están arreglados en un puente de Wheatstone de forma tal que las señales de

deformación de se suman, así se obtiene una señal amplificada cuatro veces. Este arreglo también nos asegura compensación por temperatura.

1.2. COMPORTAMIENTO ELASTICO Y PLASTICO (Ref.#1)

Al someter a un material sólido a una carga externa, esta experimentará siempre cierta deformación. La experiencia ha demostrado que el sólido recobra sus dimensiones iniciales si se elimina la aplicación de la carga, siempre que no sobrepase la carga limite. Este comportamiento del material de regresar a sus medidas originales cuando se le descarga es lo que se conoce como comportamiento elástico. Ahora bien, existe una carga limite sobre la cual el material deja de comportarse elasticamente y se la denomina limite elástico. Al sobrepasar el limite elástico, el sólido experimenta una deformación permanente que la mantiene cuando la carga ha dejado de actuar. Se dice entonces que un cuerpo ha sufrido una deformación plástica cuando ha quedado deformado permanentemente.

Siempre que el limite elástico no sea sobrepasado, para la mayoría de los materiales, la deformación que experimentan es proporcional a la carga

aplicada. Esta relación es conocida como la ley de Hooke. Por lo general se la expresa diciendo que la tensión es proporcional a la deformación y se tiene una relación lineal entre la deformación y la carga. Hay que tener claro que aunque un material se comporte elásticamente, no necesariamente la relación entre la carga y la deformación es lineal. Un ejemplo de ello es el caucho, que aunque sus características son de un material elástico, no presenta una relación lineal entre la deformación que experimenta y la carga que se le aplica en un momento dado.

1.3. RELACIONES ENTRE TENSIONES Y DEFORMACIONES (Ref. #1 y #2)

Para el estudio de tensiones y deformaciones se puede considerar a una barra de sección transversal circular uniforme que se encuentre sometida a una carga axial de tracción (fig. 1.1). Se marcan en forma imaginaria dos puntos de referencia en la superficie de la barra. Sea L_0 la distancia entre estos puntos cuando no se le está aplicando carga alguna, es decir, cuando la barra no está deformada. Al aplicar una fuerza P en un extremo, la barra va a experimentar cierta deformación, produciéndose una disminución del

diámetro y un ligero aumento en la longitud.

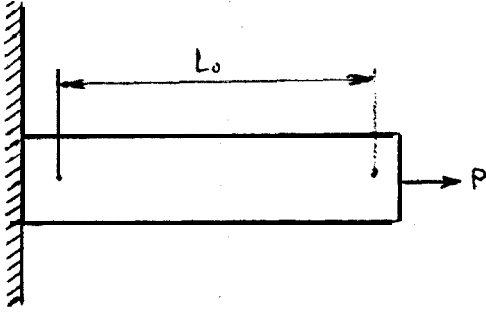


fig. 1.1

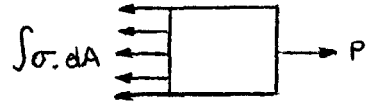


fig. 1.2

La **deformación** es una magnitud adimensional, porque relaciona el cambio de longitud a la longitud inicial y así las unidades se simplifican.

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Un diagrama de cuerpo libre para la barra de la figura 1.1 es el que muestra la figura 1.2. P es una **carga** externa que se encuentra equilibrada por la fuerza interna $\int \sigma \, dA$, siendo σ el esfuerzo normal al plano de corte y A , el **área** transversal de la barra. La ecuación de equilibrio es

$$P = \int \sigma \, dA$$

Si el esfuerzo **está** distribuido uniformemente sobre el **área** A , es decir si σ es constante, la ecuación anterior se convierte en

$$P = \int \sigma \, dA = \sigma A$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

El esfuerzo no es generalmente uniforme sobre toda el área A , por lo que la ecuación para σ expresa una tensión o esfuerzo medio.

La tensión en una dirección está relacionada con la deformación en esa dirección por el módulo de Young o módulo de elasticidad, E , representando de esta manera la ley de Hooke:

$$dx = E \epsilon x$$

Al aplicar una fuerza de tracción en la dirección de x , se produce una deformación lineal a lo largo de este eje pero al mismo tiempo esta fuerza origina contracción en las direcciones y y z . La relación existente entre la deformación del material en la dirección transversal y la deformación en la dirección longitudinal, recibe el nombre de relación de Poisson y se la representa con el simbolo μ .

$$\epsilon_y = \epsilon_z = - \mu \epsilon_x = - \frac{\mu \sigma_x}{E}$$

Para un material perfectamente isótrópico, la relación de Poisson toma un valor de 0.25. En la mayoría de los metales, su valor se aproxima a 0.33. Cabe anotar que se utiliza siempre el valor absoluto de μ en todos los cálculos.

1.4. DEFORMACION EN TRACCION DE UN METAL (Ref.#1)

Mediante un ensayo de tracción se obtienen los datos fundamentales de los metales dúctiles en cuanto a sus propiedades mecánicas. En este ensayo se somete una probeta estandarizada a una carga axial de tracción que va en aumento hasta que produce la rotura del material.

Los resultados obtenidos del ensayo se los puede representar en una curva esfuerzo-deformación conocida también como diagrama de tracción. En el eje de las ordenadas se sitúan a las tensiones y en el eje de las abscisas las deformaciones. Un ejemplo de material dúctil es el aluminio y la figura 1.3 muestra una curva típica (esfuerzo-deformación) de este metal cuando es sometido a un ensayo de tracción.

La zona elástica del material está representada por la parte recta OA de esta curva y es la que

cumple con la ley de Hooke. El punto A corresponde al máximo esfuerzo admisible, pues es hasta este valor que el metal no experimentará deformación

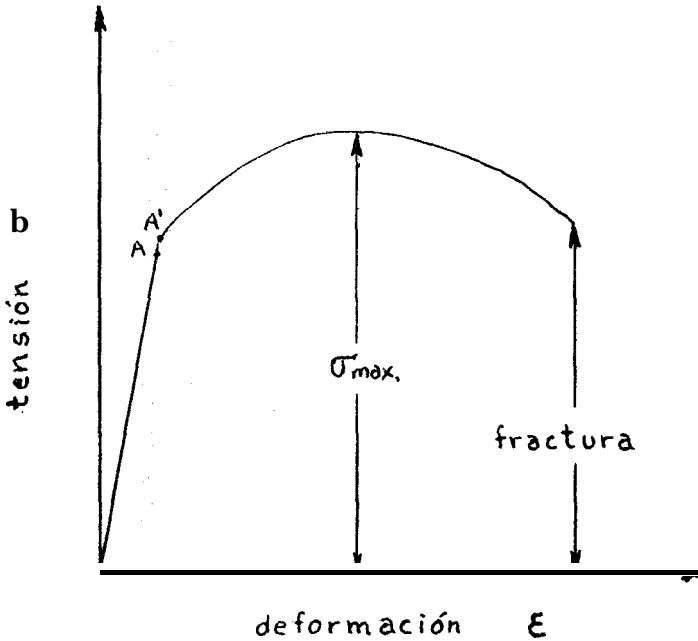


fig. 1.3

permanente. Este punto toma el nombre de límite elástico. Se suele sustituir el punto A por el punto A', a partir del cual la curva deja de ser una recta. Al pasar el límite elástico el material queda deformado, iniciándose la deformación plástica. Al ir incrementando la deformación el material se vuelve más duro, más resistente, hasta llegar a un punto donde el valor de la carga es máxima y que dividida para el área transversal de la probeta recibe el nombre de resistencia a la tracción. La carga que se necesita para producir

deformación disminuye desde la carga máxima hasta la rotura.

CAPITULO II

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA CELDA DE CARGA

TIPO VIGA EN VOLADIZO

2.1. CARACTERISTICAS DE LA CELDA DE CARGA

2.1.1. Rango de la carga

Para el diseño de la celda de carga, hay que considerar una carga de 0 a 4450 Nw. (454.1 Kgf o 1000 lb.)

La celda se la diseñará de tal forma que se encontrará empotrada en un extremo. En el extremo libre se le colocará una mordaza para el ensayo de las probetas. (ver fig. 2.1)

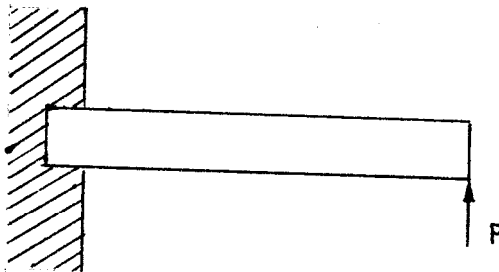


fig. 2.1

2.1.2. Colocación de los extensómetros

Se hará uso de 4 extensómetros que se los fijará a la viga en voladizo, ya que éste es el cuerpo que se va a deformar a causa de la aplicación de la fuerza P (ver secc. 1.1).

Los extensómetros se los conectarán de forma que presenten la máxima resolución en un puente de Wheatstone. En este caso, las señales de deformación de los extensómetros R1 y R3 que se encuentran sujetos a tensión se suman en una dirección. Las señales de deformación de los extensómetros R2 y R4; se suman en otra dirección pues ambas están sujetas a compresión. Así se tiene que haciendo suma de voltajes en el circuito de la fig. 2.2, se obtienen las siguientes ecuaciones:

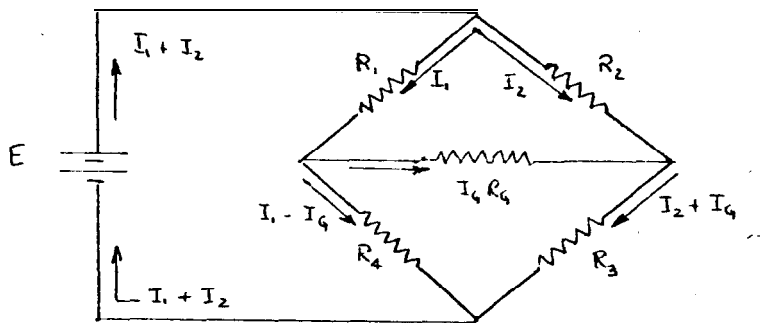


fig. 2.2

2.4. DISEÑO DEL EMPOTRAMIENTO

Para diseñar el empotramiento, se puede asumir que la viga está simplemente apoyada como se muestra en la figura 2.7.a en el caso de que la cara superior esté sometida a tensión y como en la figura 2.7.b en el caso de que esté sometida a compresión.

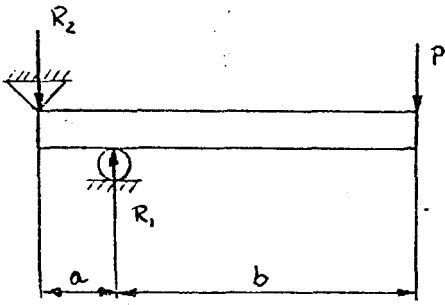


fig. 2.7.a

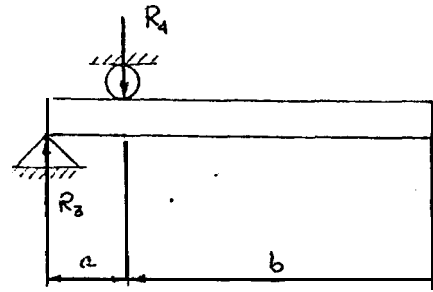


fig. 2.7.b

Haciendo $\Sigma Fy=0$ y $\Sigma Mx=0$, se obtiene el valor de las reacciones en los apoyos. Tomando el mayor valor de las reacciones, se puede asumir que esta fuerza se encuentra concentrada en el centro de lo que será el empotramiento, que para su diseño se lo asume también como una viga simplemente apoyada, como se muestra en la figura 2.8.

Conociendo el material a utilizarse que es un acero 760 con un $Sy=33 \text{ Kp/mm}^2$ o $227-38 \text{ N/mm}^2$, un factor de seguridad de 2, se sigue el

$$E_o = \frac{E R_g}{4(R + R_g)} \left[\frac{\delta R_1}{R_1} - \frac{\delta R_2}{R_2} + \frac{\delta R_3}{R_3} - \frac{\delta R_4}{R_4} \right]$$

$$R_1 = -R_2 = R_3 = -R_4$$

$$E_o = \frac{E R_g}{(R + R_g)} \left[\frac{\delta R}{R} \right]$$

Como se demostró la señal es amplificada cuatro veces. En la viga los extensómetros se los verán de la siguiente manera (fig. 2.3).

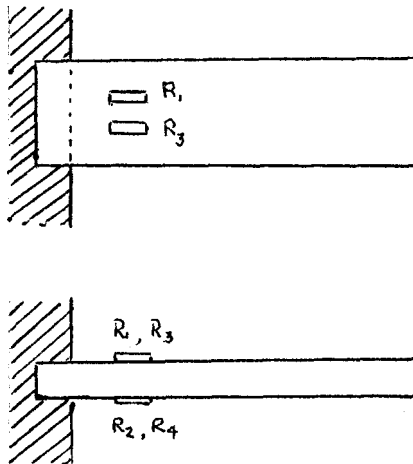


fig. 2.3

Hay que notar que estarán colocados a una distancia \$nh\$ del empotramiento (según el Principio de Saint-Venant), para evitar los efectos de borde.

2.2. FORMULA DE LA FLEXION ELASTICA (Ref.#2)

Para vigas, la fórmula de la flexión elástica es:

$$\sigma_x = - \frac{M y}{I}$$

La ecuación anterior indica que para valores positivos de M y de y, se tiene un esfuerzo normal de compresión y para valores negativos de y, el esfuerzo es de tensión. M representa el momento flexionante interno, que en la sección donde se buscan los esfuerzos es numericamente igual al momento total externo. y es la distancia perpendicular medida desde el eje neutro de la viga, ya sea hacia arriba o hacia abajo, hasta el punto donde se desea conocer el esfuerzo normal σ_x . En la figura 2.4 está la representación gráfica de estos tipos de esfuerzo.

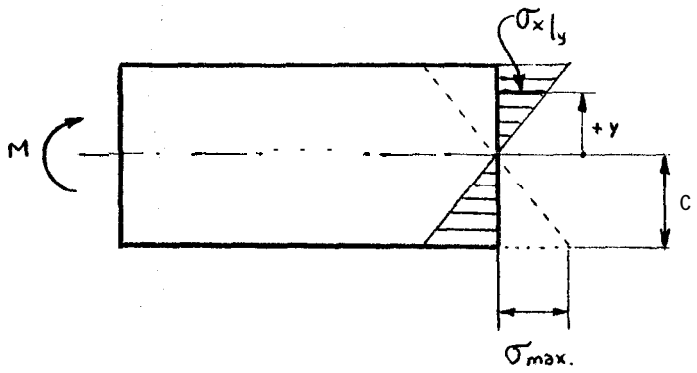


fig. 2.4

Tanto el momento flexionante M como el momento de inercia I, se mantienen constantes en la sección transversal de una viga. Entonces según la

ecuación anterior, el esfuerzo normal, σ_x , es función únicamente de y . Este esfuerzo alcanza su máximo valor (σ_{\max}) cuando el valor absoluto de y es máximo, es decir, cuando llega a la superficie superior o inferior de la viga. Al valor de $|y|_{\max}$ se lo designa como c . El signo de la ecuación del esfuerzo normal se lo omite en la práctica, puesto que su sentido se lo puede determinar por simple observación. En una sección transversal, los esfuerzos normales deben de equilibrar con el momento flexionante resistente, (cuyo sentido es conocido) por lo que formarán un par estáticamente equivalente, así:

$$\sigma_{\max} = \frac{M c}{I}$$



BIBLIOTECA

Ambas ecuaciones tienen mucha importancia en la mecánica de sólidos. El esfuerzo normal σ_x , tal como se muestra en estas ecuaciones, corresponde al único esfuerzo resultante de la flexión pura.

Debido a la relación de Poisson, en la zona donde la viga se encuentra comprimida, se observa una expansión lateral- El caso contrario ocurre cuando la viga está tensionada, es decir, que sufre una contracción lateral.

Para el caso de flexión pura, las deformaciones en los ejes y y z son: $\epsilon_y = \epsilon_z = -\mu\epsilon_x$, siendo ϵ_x , la deformación en el eje x e igual al esfuerzo normal dividido para el módulo de elasticidad. ($\epsilon_x = \sigma_x/E$)

Se hicieron varias hipótesis en la deducción de la ecuación del esfuerzo normal y son las que se presentan a continuación:

- 1) No existen cargas axiales ni de torsión actuando sobre la viga. La fuerza cortante es cero y únicamente se encuentra sometida a flexión pura.
- 2) El material es homogéneo e isotrópico.
- 3) La viga antes de ser sometida a flexión es recta con una sección transversal constante a lo largo de la misma.
- 4) El material cumple con la ley de Hooke.
- 5) La viga tiene dimensiones tales que no le permiten fallar por corrugación, aplastamiento o pandeo lateral, sino por flexión.
- 6) Existe en el plano de flexión un eje de simetría.
- 7) Durante la flexión, las secciones transversales planas permanecen planas.

2.3. DISEÑO DE LA VIGA (Ref.#2)

Al someter una viga a flexión como se muestra en la figura 2.5, aparecerán esfuerzos normales (σ) y esfuerzos cortantes (τ).

En una viga cuya sección transversal es rectangular, se tiene un esfuerzo cortante nulo cuando $y=c$, y máximo cuando $y=0$. Esto indica que no se tiene esfuerzo cortante en las superficies superior e inferior de la viga, pues vale cero, pero en cambio en el eje neutro alcanza su máximo valor. Recordando la ecuación del esfuerzo normal (secc. 2.2), se observa que es directamente

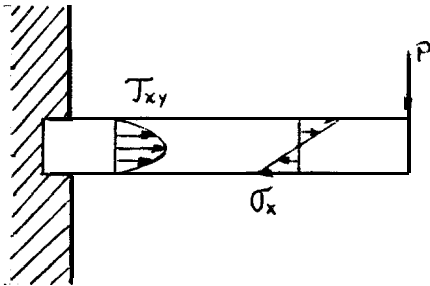


fig. 2.5

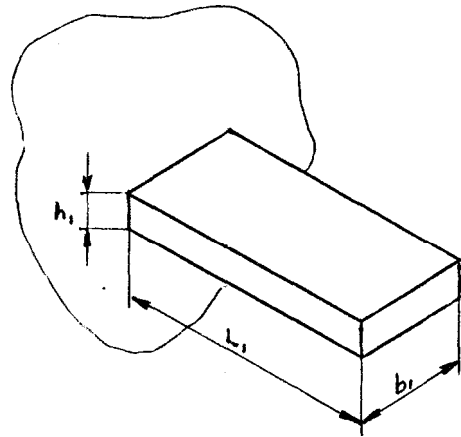


fig. 2.6

proporcional al momento flexionante M y a la distancia y , de manera que ocurre lo contrario al esfuerzo cortante, esto es, vale cero en el eje neutro y es máximo tanto en la superficie superior

como inferior de la viga. Obvio es entonces que es éste el esfuerzo que intervendrá en los cálculos a realizarse, pues es en la superficie de la viga donde serán colocados los extensómetros.

Conociendo que en una viga de sección rectangular según la figura 2.6 se tiene que:

$$M = P L, \quad c = h, /2 \quad I_x = \frac{b, h_x^3}{12}$$

y reemplazando en la ecuación del esfuerzo máximo se obtiene:

$$\sigma_{\max.} = \frac{6 P L,}{b, h, ^2}$$

Se iguala este esfuerzo máximo al esfuerzo de trabajo que a su vez será igual a la resistencia a la fluencia del material (S_y) dividida para un factor de seguridad (n).

$$\sigma_{\max.} = \sigma_w = \frac{S_y}{n}$$

Haciendo uso de un acero A-36 ($S_y = 244.8 \text{ N/mm}^2$ o 36000 lb/pulg^2), un factor de seguridad de 1.67 (que es el recomendado por el Manual de Construcciones en Acero de A.I.S.C.) y conociendo el valor de la carga ($P = 4450 \text{ N}$, 454.1 Kgf o 1000

lb.) luego de hacer varias iteraciones para obtener la mayor deflexión se llegó al diseño final:

$$L, = 165 \text{ mm.}$$

$$b, = 70 \text{ mm.}$$

$$h, = 18 \text{ mm.}$$

Como se puede observar la viga es en realidad una placa que al estar sometida a flexión presentará una deformación plana, es decir, se va a deformar en dos sentidos en x y en y. Para este caso las deformaciones en estas direcciones serán:

$$\epsilon_x = (1 - \mu^2) \sigma_x / E$$

$$\epsilon_y = \frac{\mu}{1 - \mu} \epsilon_x$$

Reemplazando los valores correspondientes a cada variable, se obtiene un $\epsilon_x = 657 \mu\epsilon$ y un $\epsilon_y = -220 \mu\epsilon$, por lo que a simple vista se deben colocar los extensómetros en la dirección de x pues es en esta dirección donde se va a tener la mayor deformación mientras que la que se presenta en el sentido de y se la puede despreciar.

En el apéndice D, foto # 1, se aprecia la construcción de esta viga.

procedimiento utilizado en la sección 2.3 y se obtiene:

$$L_2 = 130 \text{ mm.}$$

$$b_2 = 30 \text{ mm.}$$

$$h_2 = 35 \text{ mm.}$$

que corresponden a las mínimas medidas que podrán tener tanto la parte inferior como la superior del empotramiento de manera que no fallen. Hay que

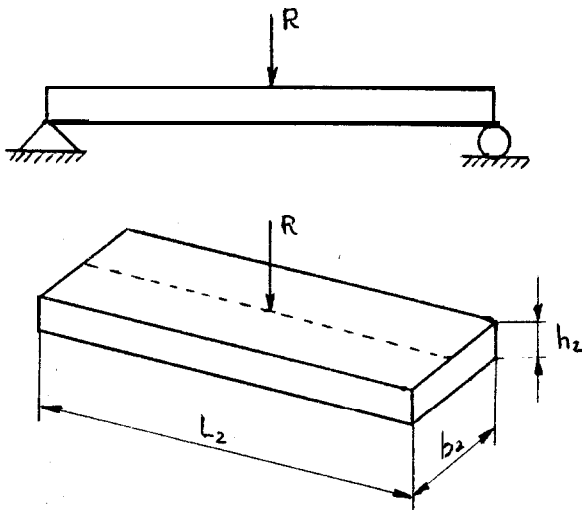


fig. 2.8

notar que al diseño de la parte superior se le ha hecho una modificación aumentándole en su altura para permitir la construcción de un canal en el que encajará la viga superior que es la que va sujeta directamente a la Máquina Universal de Ensayos. En el apéndice D, foto #2, se aprecia la construcción del empotramiento.

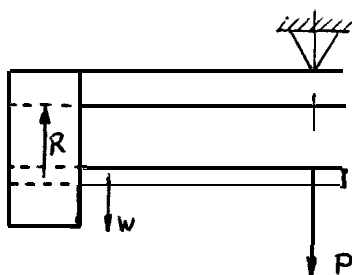
2.5. DISEÑO DE LA VIGA SUPERIOR



Según la figura 2.9, para el diseño de esta viga se tiene que considerar el peso del conjunto (w) y las reacciones que se tienen en el extremo (R). La carga total aplicada a esta viga será la suma de ambas fuerzas:

$$P = R + w$$

Donde $w = PE \cdot v$ ($PE =$ peso específico, $v =$ volumen) y tendrá un valor aproximado de 11 lb.



BIBLIOTECA

fig. 2.9

La viga tendrá la forma de una Cola de Milano para poder deslizar el empotramiento sobre ella. Se aplica nuevamente la fórmula de la flexión pero en este caso la sección transversal no es un rectángulo, por lo que es necesario dividirla en secciones para poder hallar el momento de inercia total y el valor de \bar{y} (figura 2.10) aplicando el teorema de ejes paralelos:

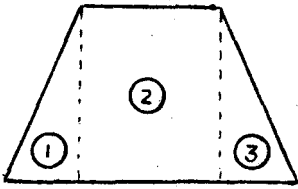


fig. 2.10

$$I_1 = I_{o1} + A_1 d_1^2$$

$$I_2 = I_{o2} + A_2 d_2^2$$

$$I_3 = I_{o3} + A_3 d_3^2$$

$$I_x = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\sigma = \frac{M \bar{y}}{I_x}$$

El material utilizado fue un acero A-36. tras varias iteraciones. las medidas finales son:

$$L_3 = 175 \text{ mm.}$$

$$b_3 = 75 \text{ mm.}$$

$$h_3 = 40 \text{ mm.}$$

que da un factor de seguridad de 2. En la figura 2.11 se aprecia una perspectiva de esta viga. En el extremo de ésta, se ha hecho una pequeña

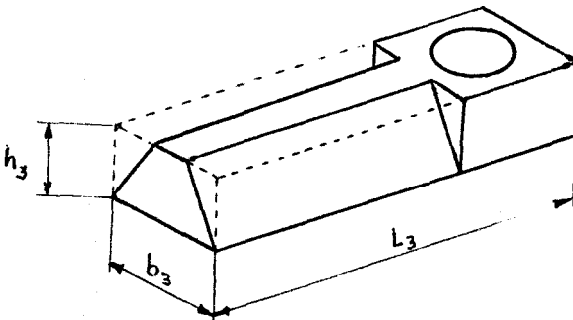


fig. 2.11

variación, de modo que permita la construcción de

una rosca para el perno que sujetará este conjunto a la Máquina Universal de Ensayos.

2.6. DISEÑO DE LOS PERNOS

Hay que diseñar los pernos que van en el empotramiento y el que va en el extremo de la viga donde se colocará la mordaza, pues el que va a sujetar la celda a la Máquina Universal de Ensayos fue diseñado previamente junto con ésta.

2.6.1. Pernos del empotramiento

Estos pernos estarán sometidos a un esfuerzo combinado de tensión y flexión (figura 2.12).

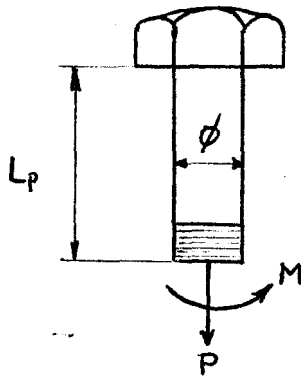


fig. 2.12

$$\sigma = \frac{M C}{I} + \frac{P}{A}$$

$$M = P L_p$$

$$A = \pi \phi^2$$

$$c = L/2 \qquad I = \frac{\phi L}{12}$$

$$\sigma_w = S_y/n$$

Asumiendo un diámetro de 12 mm se puede hallar el σ que corresponde al σ_w (esfuerzo de trabajo). El factor de seguridad obtenido es 2.

2.6.2. PERNO PARA LA MORDAZA

Como este perno estará sometido a tensión una forma fácil para su diseño es la que indica el manual de construcciones en acero (AISC), que dice que para el caso de una barra roscada como se muestra en la figura 2.13, se pueden aplicar las siguientes ecuaciones:

$$F_t = 0.33 F_u$$

$$T = F_t A_g$$



fig. 2.13

siendo F_t , el esfuerzo normal, F_u la resistencia última a la tensión, T la fuerza de tensión, y A_g el área transversal de la

barra. Se despeja Ag y con este valor se va a la página 4.141 del manual para obtener el diámetro de la barra (se escoge siempre el mayor), que representa en este caso el diámetro del perno. Se obtuvo un diámetro $\phi = 12.7$ mm.

2.7. CONSTRUCCION DE LA CELDA DE CARGA

Su construcción fue ejecutada en el taller mecánico de la ESPOL. Hay que indicar que aparte de las piezas diseñadas también se construyó una especie de sujetador de la celda que no necesitó de un estudio para su diseño, pues la celda puede trabajar perfectamente sin él. El propósito de este sujetador es el de asegurar una mejor alineación del sensor de carga en la Máquina Universal de Ensayos y de fijar el empotramiento a una distancia cualquiera a lo largo de la viga que lo sostiene. Los planos se encuentran en el apéndice A. Una vista completa de la celda se aprecia en las fotos 3 y 4 del apéndice D.



BIBLIOT

CAPITULO III

CALIBRACION DE LA CELDA DE CARGA

Luego de tener la **celda** construida, se **procedió** a pegar los **extensómetros**, las regletas y hacer la **conexión** de los cables.

3.1. PROCESO DE **PEGADO** DE UN EXTENSOMETRO (Ref.#3)

1. Untar la superficie a la **cual** se va a pegar el extensometro con un acondicionador (sustancia **ácida**) y **lijar** suavemente.

2. Limpiar la superficie con una **gasa**.

3. Se le pone un **poco** de neutralizador (sustancia **básica**) y se vuelve a pasar la **gasa**.

4. Se traza el lugar donde **irá** colocado el **extensómetro** para orientarlo.

5. Se coloca el extensometro con la **cara** brillante hacia arriba y se lo **orienta** en el **trazo**.

6. Con cinta adhesiva se fija el extensometro en su sitio, luego se levanta la cinta y se la deja **pegada** sólo de un extremo (el extensometro **quedará** adherido a **ella**).

7. Se coloca una goma especial sobre la superficie a la cual se va a pegar el extensómetro.
8. Se regresa el extensómetro (con la cinta) para pegarlo, manteniéndolo presionado por 2 min.
9. Se despega la cinta cuidadosamente.
10. Una vez pegado el extensómetro, se colocan los cables de conexión, sujetándolos con una cinta (maskin tape).
11. Se unta el cautín con fundente y se procede a soldar los terminales con estaño.
12. Se conectan los terminales al sensor de deformación (debe dar una lectura distinta de cero).
13. Se pasa sobre la superficie del extensómetro un líquido protector especial.
14. Se balancea el puente.
15. El extensómetro está listo para ser ensayado.

3.2. PUENTE DE WHEATSTONE

La forma de conectar los extensómetros para un arreglo de puente completo se muestra en la figura 3.1, donde se indica que los extensómetros A estarán sometidos a tensión y los extensómetros C estarán sometidos a compresión, para que la lectura en el sensor de deformación sea positiva. En el interior del medidor de deformaciones se

encuentra un esquema similar.

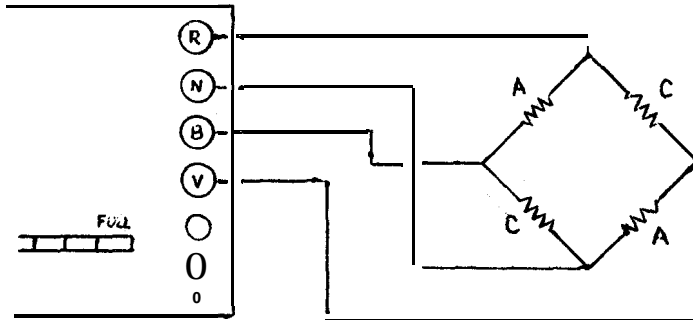


fig. 3.1

3.3. CALIBRACION DE LA CELDA DE CARGA

Para la calibración de la celda de carga tipo viga en voladizo, se utilizó el siguiente material y equipo:

- Máquina Universal de Ensayos INSTRON 1128
- Calibrador Vernier
- Indicador de deformaciones (Micro Measurements, modelo P-3500, serie 60371)
- Probetas

Se instaló la celda de carga en la Máquina Universal de Ensayos INSTRON 1128 y su calibración se la realizó con una probeta cuyo límite a la fluencia era mucho mayor a la capacidad de la celda. Se trata de una aleación Al-Zn conocida

como ilzro 12 que falla alrededor de los 3200 kilos. Los pasos seguidos en la calibración fueron:

1. Primeramente fue necesario asegurarse que la probeta no estuviese sometida a ninguna carga.
2. Se fueron tomando las lecturas de deformación cada vez que se incrementaba la carga de tensión en 10 Kgf. tomando como primer valor el de cero carga y cero deformación.
3. Se calculó el promedio de las lecturas de deformación obtenidas en cada punto.
4. Con los valores de carga y deformación se construyó la curva de calibración mediante regresión lineal. La ecuación resultante para el ensayo de tensión es:

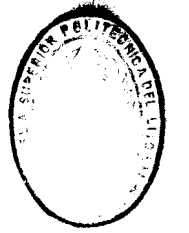
$$P = 0.2647 \epsilon - 6.779$$

Los resultados se encuentran tabulados en el apéndice B, tabla No. 1, el gráfico respectivo en el apéndice C y en el E, foto # 5, se aprecia el instante en que se realizaba esta calibración.

Igual procedimiento se empleó para obtener la curva de calibración para el ensayo de compresión. La ecuación final obtenida es:

$$P = 0.2666 \epsilon - 0.172$$

Los resultados están en el apéndice B, tabla No. 2, el gráfico respectivo en el apéndice C. La foto de este ensayo es la número 6 del apéndice E. Se pueden hacer pruebas en la Máquina Universal de Ensayos y leer el valor registrado en el medidor de deformación, con este valor ir a la curva de calibración y conocer el valor de la carga aplicada en ese instante.



CAPITULO IV

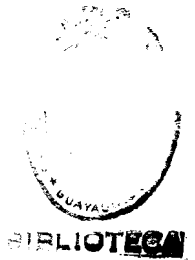
BIBLIOTECA

ADQUISICION DE DATOS POR COMPUTADORA PARA LA CELDA DE CARGA (Ref. # 4)

A continuación se describirá la fase de adquisición de datos por computadora para la celda de carga tipo viga en voladizo, la cual incluye el registro automático de la variable a medir y su posterior procesamiento.

4.1. DESCRIPCION DE LA INSTRUMENTACION UTILIZADA

- Computadora IBM PS/2 -30
- Tarjeta de conversión analógica a digital (A/D) (8 bits, 16 canales)
- Amplificador Omega (salida máxima 2 voltios y ganancias de 1, 2, 5, 10, 25, 50 y 100).
- Medidor de deformaciones P-3500 (salida analógica de 440 mV. / $\mu\epsilon$)
- Celda de carga tipo viga en voladizo



La adquisición se la realiza aprovechando la salida de voltaje que proporciona el circuito Puente de Wheatstone que contiene los

extensómetros recistivos.

Esta señal de voltaje analógica resulta muy débil para ser receptada por la tarjeta A/D, la cual tiene un rango de operación de 0 a 5 voltios. Es por este motivo que se tiene que implementar un amplificador adicional, el cual como ya se acotó anteriormente, tiene una salida de 0 a 2 voltios. Esto significa que se estará utilizando sólo una parte de la tarjeta A/D. Si el rango de la tarjeta en valor digital es de 0 a 255 bits para 0 a 5 voltios, ahora será de 0 a 131 bits la resolución máxima posible.

4.2. DESCRIPCION DEL PROGRAMA DE ADQUISICION

4.2.1. Requisitos para la adquisición

El programa de adquisición, indiferente al lenguaje en que sea escrito, deberá cumplir con lo siguiente:

- Poder direccionar los puertos de la tarjeta.
- Poder seleccionar el puerto de entrada de datos.
- Seleccionar el 0 los canales de adquisición.

- Ser capaz de transformar los valores digitales a la variable de medicibn deseada, lo cual significa una calibración valor digital vs. variable a medir. Para el caso de la celda de carga, se obtuvo un registro de 1 bit por cada 20 $\mu\epsilon$ de deformación aproximadamente. La ecuación de calibración deformación vs. lectura digital dio como resultado:

$$\epsilon = 12.216 [\text{bits}] + 15.71$$

y utilizando la ecuacibn de calibración carga vs. deformación ($P = 0.264 \epsilon - 6.779$), se obtuvo la ecuación de calibración carga vs. lectura digital:

$$P = 3.234 [\text{bits}] - 2.604$$

Los resultados de la calibración de la deformación vs. lectura digital y de la carga vs. lectura digital. se encuentran en el apéndice B, tablas # 3 y 4 respectivamente.

4.2.2. Funciones del programa

El programa tiene la finalidad de:

- Receptar la señal proveniente del medidor

de deformación.

- Transformar la señal adquirida en valor digital a valores de carga y deformación mediante el uso de las ecuaciones de calibración.

- Realizar un gráfico carga vs. tiempo de la probeta ensayada.

4.2.3. Explicación del programa

El programa está realizado en lenguaje de programación BASIC. Consta de un menú con la explicación, ejecución y finalización del programa. En la parte de explicación se dan ciertas recomendaciones para que la adquisición sea correcta. El listado de este programa se encuentra en el apéndice E.

CAPITULO V

PRUEBAS EXPERIMENTALES

5.1. EQUIPO Y MATERIAL UTILIZADO

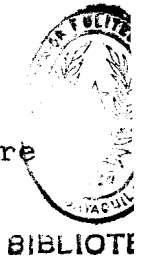
El equipo y material utilizados en las pruebas son los siguientes:

- Máquina Universal de Ensayos de tensión y compresión.
- Celda de carga
- Indicador de deformaciones (Micro Measurements, modelo P-3500, serie 60371)
- Computadora IBM SP/2 M-30
- Probetas de nylon y aluminio

5.2. PROCEDIMIENTO GENERAL

1. Instalada la celda en la Máquina Universal de Ensayo de materiales, se elige el ensayo a realizarse. Hay que conectarla al medidor de deformación, (dependiendo del ensayo) de manera que la lectura sea siempre positiva.

2. Se coloca la probeta a ensayar en la respectiva mordaza.



3. Hay que verificar que la probeta no se encuentre sometida a ninguna carga.

4. Se enciende el medidor de deformación y se revisa que esté bien seleccionado el factor del extensómetro (2.045 4 0.5%).

5. Se balancea el puente. es decir, se encera el instrumento.

6. Se enciende el amplificador adicional que está conectado a la computadora, debe estar en 10 de ganancia.

7. Se hace correr el programa tension que está hecho en BASIC. (Se entra con BASICA, luego: LOAD"Tensión y después: RUN)

8. Se gradúa la velocidad del ensayo en la máquina.

9. Se inicia la adquisicidn de datos por computadora cuando el medidor registre más de 20 $\mu\epsilon$, caso contrario indicará que el ensayo se ha terminado. Esto se debe a la ecuacidn de calibración utilizada, pues la resolución es de 1 bit cada 20 $\mu\epsilon$.

10. Se apaga la máquina Universal de ensayos luego de finalizada la prueba.

11. Sk se desea se imprimen los resultados de la adquisición.

12. Se apaga la computadora y el monitor.

5.3. ENSAYOS DE TENSION

Se hicieron varias probetas por cada material a ensayarse. Las pruebas se desarrollaron tanto en la Máquina Universal de ensayos INSTRON 1128, como en la maquina universal de ensayos para la cual la celda de carga fue diseñada.

Las probetas utilizadas fueron de nylon y aluminio.

5.3.1. Nylon

Este ensayo se realizó con pedazos de nylon de 230 mm de longitud a una velocidad de 10 mm/min. En la INSTRON, este material falló a 308 kilos- En la máquina universal de ensayos, el medidor de deformaciones registró 1200 $\mu\epsilon$ que en la curva de calibración representan 310 kilos. Así el porcentaje de error obtenido fue de 0.65%.
(Foto # 7 del apéndice D)

5.3.2. Cordón con hilos de seda

En este ensayo se hizo uso de pedazos de cordón (hilos de seda) de 200 mm de longitud a una velocidad de 10 mm/min. En la INSTRON este material falló a 123 kilos. En la máquina universal de ensayos, el medidor de

deformaciones registró una lectura de 498 $\mu\epsilon$, que en la curva de calibración representan 124 kilos. El porcentaje de error resultante fue de 0.81%. (Foto # 9 del apendice D)

5.3.3. Aluminio

En esta prueba se utilizó probetas de aluminio según la norma ASTM A-370 y el ensayo se realizó a una velocidad de 1 mm./min. Este material falló a los 47.5 kilos en la INSTRON, mientras que en la máquina universal de ensayos el medidor de deformación registró una lectura de 190 $\mu\epsilon$ que corresponden a una carga de 44 kilos. El porcentaje de error en esta prueba fue del 6.6%, aumentando debido a que existió resbalamiento de la probeta. Sin embargo, cabe indicar que el valor del esfuerzo en la rotura fue de 15.43 Kg/mm² y según las especificaciones técnicas de la plancha de aluminio, este debe de estar entre 12 y 16 Kg/mm², por lo tanto esta prueba también es aceptable y confirma que la celda está trabajando perfectamente. (Foto # 8 del apendice D).

Se realizó otro ensayo con el equipo completo para la adquisición de datos por computadora, haciendo uso de este mismo material (foto # 10). La curva carga vs. tiempo obtenida de este ensayo, la muestra la foto A 11. Los resultados obtenidos se pueden observar en las fotos # 12 y 13. El material falló a los 42.7 kilos. El porcentaje de error (tomando como patron la INSTRON) resultó ser del 8.8%. El esfuerzo máximo resultante fue de 15.1 Kg/mm² y se encuentra dentro del rango que da el fabricante (12 a 16 Kg/mm²).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- Se cumplió con el objetivo de diseñar y construir una celda de carga tipo viga en voladizo, que trabaja satisfactoriamente en la Máquina Universal de Ensayo de Materiales construida en la ESPOL.
- 2.- Para la cantidad de ensayos realizados, se puede decir que los resultados obtenidos en la celda de carga construida son similares a los de la Máquina Universal de Ensayos INSTRON 1128, que es la que se ha tornado como referencia, puesto que el porcentaje de error está dentro de un rango admisible del 0 al 10% .
- 3.- Existe una relación lineal entre las fuerzas de tensión o compresión y la deformación. El coeficiente de correlación es aproximadamente 1 para ambos casos.
- 4.- La correlación lineal existente entre los valores obtenidos a partir del ensayo de compresión es mejor que la obtenida del ensayo de tensión. Esto se debe a que en compresión la probeta no tiene lugar a moverse.

- 5.- Con la ayuda de las curvas de calibración, se pueden extrapolar valores de carga y deformación para un amplio rango.
- 6.- La máxima deformación obtenida experimentalmente fue menor en un 33.7% a la teórica. Esta discordancia entre los valores teórico y práctico, no afectó sin embargo la linealidad de la curva de calibración. B12
- 7.- La adquisición de los datos se la puede realizar de dos maneras: manual o por computadora.
- 8.- Es más ventajoso hacer la adquisición de datos por computadora. La máquina irá registrando y almacenando todos los valores de carga y deformación para luego presentar los resultados en forma de gráfico: carga vs. tiempo o en una tabla carga - deformación.
- 9.- Los factores principales que aumentan el margen de error son: resbalamiento de la probeta, la construcción de las mismas que pueden no cumplir con las especificaciones y el error visual en la toma de datos para la calibración de la celda.
- 10.- Las características de la celda de carga son:
 - Soporta fuerzas de tensión o compresión de hasta 1000 lbs., 454.1 kgf o 4450 Nw.

- Tiene una sensibilidad de 0.264 kilos/# para ensayos de tensión y de 0.2686 kilos/ $\mu\epsilon$ para ensayos de compresión.
- Es de fácil instalación.
- Puede ensayar probetas planas, con rosca o cables, si se le instala la mordaza adecuada para cada caso.

11.- Finalmente, los resultados obtenidos con este tipo de celda de carga (viga en voladizo) muestran un comportamiento más satisfactorio que los obtenidos con la celda tipo placa en tracción.

RECOMENDACIONES

- 1.- Se recomienda encerar el medidor de deformaciones cada vez que se realice una prueba. Tomar en cuenta el límite máximo para el cual fue diseñada la celda.
- 2.- Cuando se utiliza la computadora, se obtiene una resolución de 1 bit por cada 20 $\mu\epsilon$ aproximadamente, según la calibración digital realizada. Para que el ensayo sea realizado de manera correcta, es necesario iniciar la adquisición cuando el medidor registre una lectura mayor a 20 $\mu\epsilon$. En el caso de que la adquisición se la haga antes del valor citado, la máquina considerará que el ensayo ha

terminado.

- 3.- Para disminuir el porcentaje de error es aconsejable utilizar probetas con rosca en los extremos a fin de evitar resbalamiento.
- 4.- Por razones económicas, para el diseño y construcción de la celda, se hizo uso del material disponible en la bodega de la ESPOL. Se podría construir otro sensor con un material que presente mejores propiedades para hacerlo más liviano y de mayor capacidad.
- 5.- Construir y adaptar a la máquina universal de ensayos un circuito eléctrico que reemplace al medidor de deformación y al amplificador,

BIBLIOGRAFIA

- 1.- DIETER, George E. Jr., Metalurgia Mecánica (Aguilar. S.A. de Ediciones, Madrid, España, 1967) pp. 3-11,35,37,253-254.
- 2.- POPOV, Egor P.. Introducción a la Mecánica de Sólidos, (Editorial Limusa, Mexico, 1980) pp. 226-229,231-232,289
- 3.- URQUIZO, G., Análisis Experimental de Esfuerzos (Apuntes de clases, ESPOL, 1989).
- 4.- LOHRLEIN, H, Adquisición de datos (Apuntes de clases, ESPOL, 1989)
- 5.- ORCES, E., Mecánica de Sólidos Avanzada I (Apuntes de clases, ESPOL, 1989)
- 6.- SEELY, F.B., y SMITH, J.O., Strength of Materials (4a.ed., John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1957)
- 7.- SHANLEY, F. R., Strength of Materials, (Mc. Graw-Hill. Book Company. Inc., Nueva York, 1957) pp. 138-139

- 8.- HARRISON y BOLLINGER, Controles Automáticos,
(Editorial Trillas, México)

- 9.- SHIGLEY , Diseño en Ingeniería Mecánica, (Mc. Graw-Hill Book Company. Inc.. Fuentes Impresores, S.A. México, D.F., 1983) pp. 276-278

- 10.- PERRY, C., The Strain Gage Primer, (2a. edición, New York, USA: Mc. Graw-Hill, 1962) pp. 12-27,221-230.

- 11.- AISC, Manual de Construcciones en Acero, (tomo 2), pp. 4-141

- 12.- Catálogo de productos e información técnica

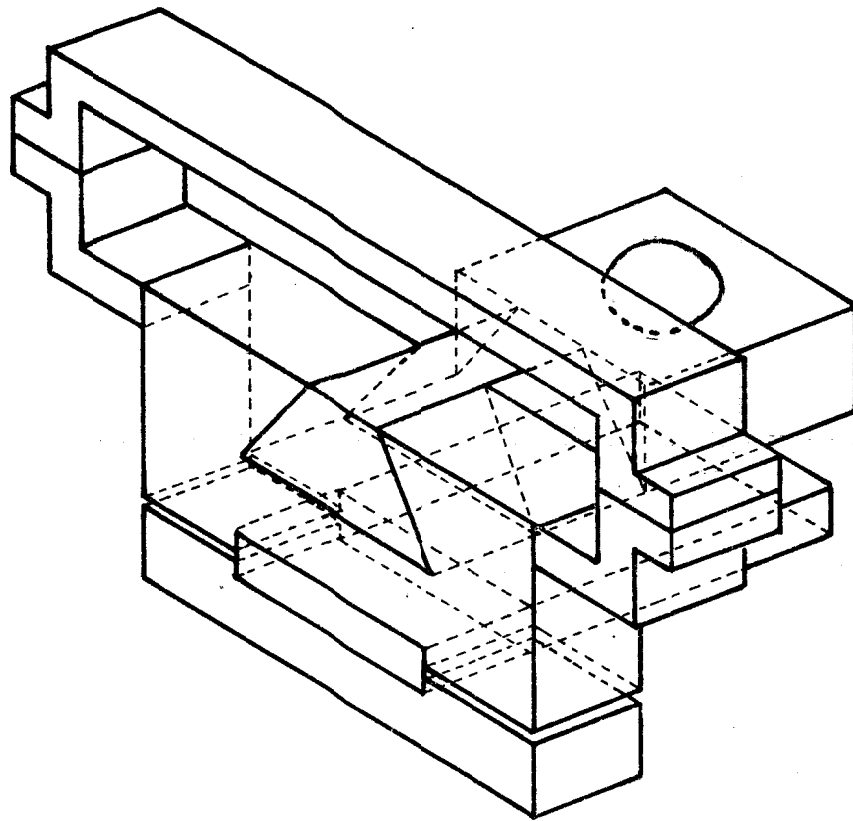
A P E N D I C E S

APENDICE A

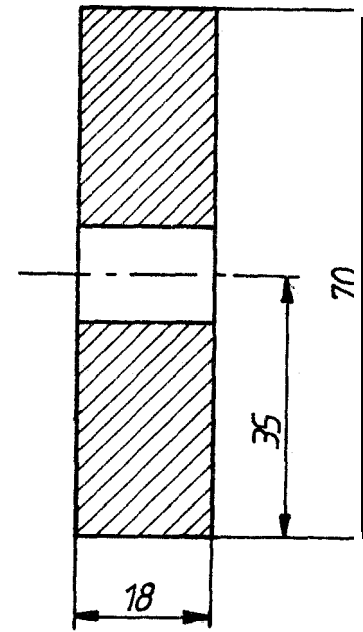
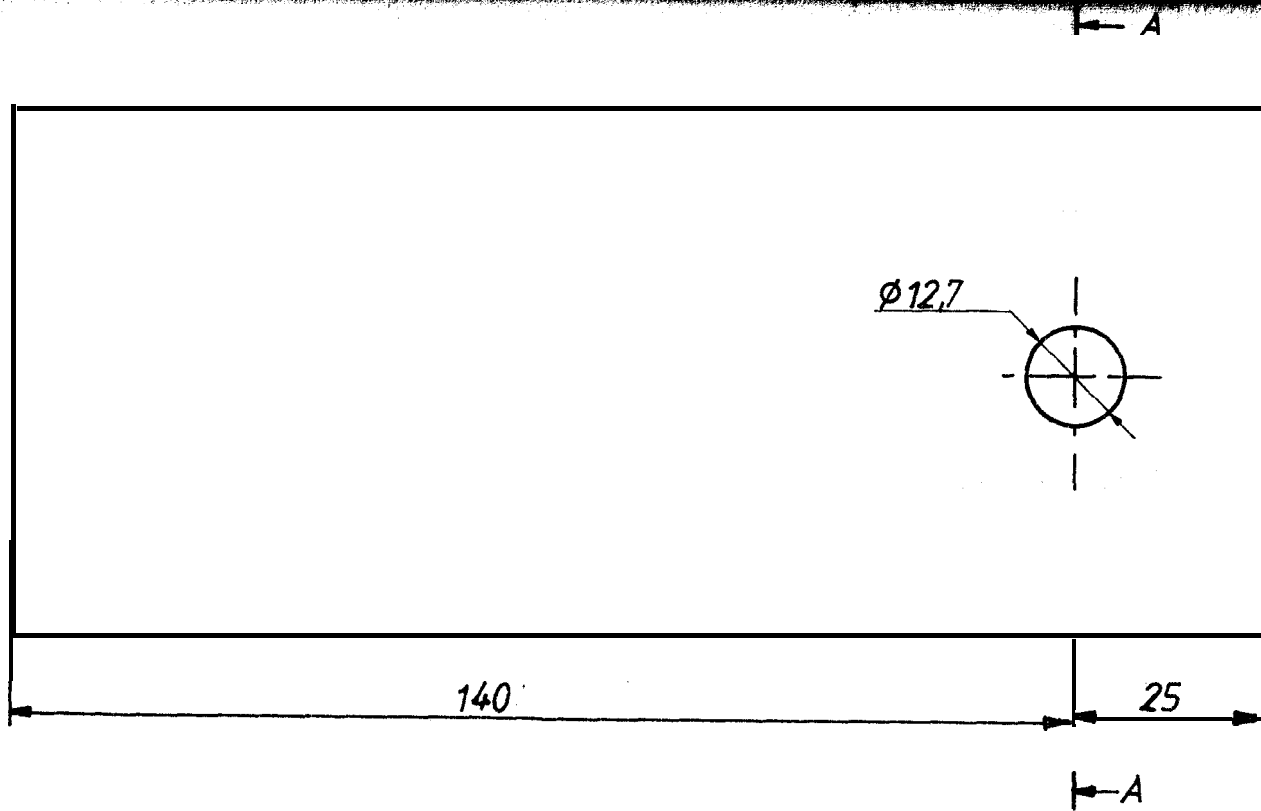
PLANOS DE CONSTRUCCION



BIBLIOTECA

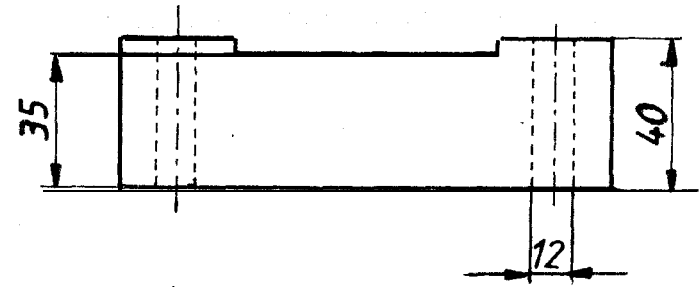
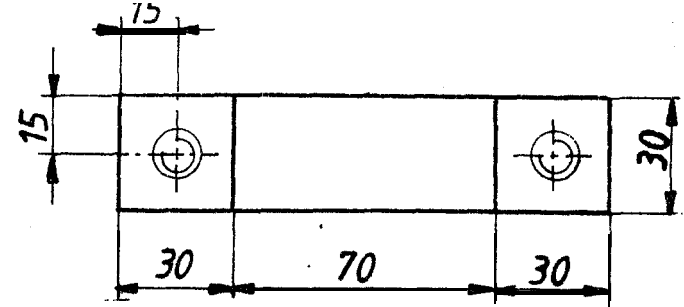
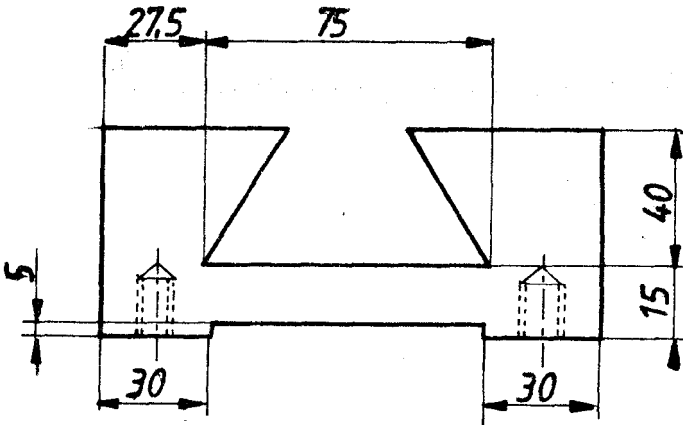
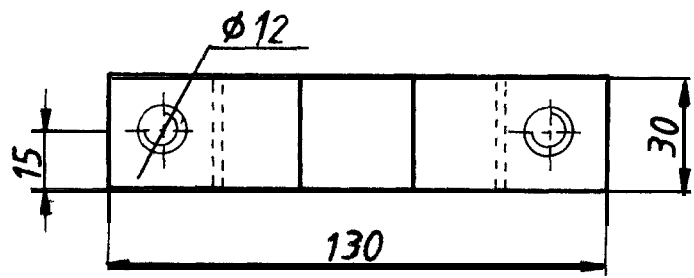


| | | | | |
|---------------|-----------------------|-------------------|--|--------------|
| | <i>Fecha</i> | <i>Nombre</i> | <i>Facultad de Ingeniería Mecánica</i> | <i>ESPOL</i> |
| <i>Dibujo</i> | | <i>M. Aldás</i> | | |
| <i>Reviso</i> | | <i>G. Urquiza</i> | | |
| <i>Compr.</i> | | | | |
| <i>E:</i> | CELDA DE CARGA | | | |
| <i>1:2</i> | | | | |
| | | | | |

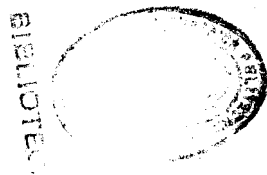
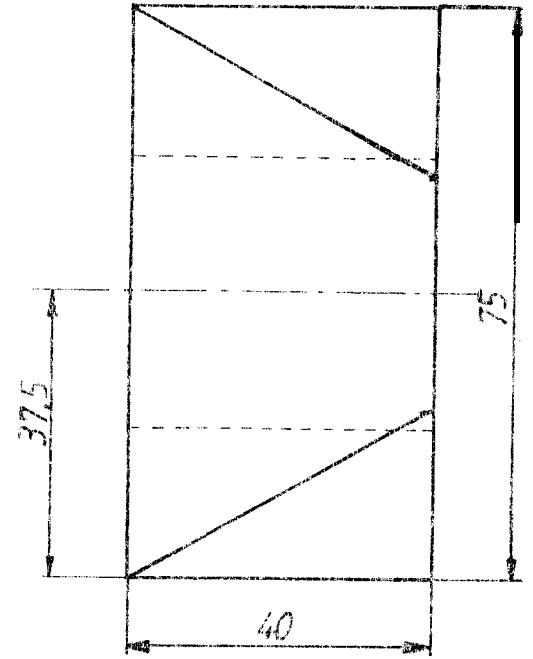
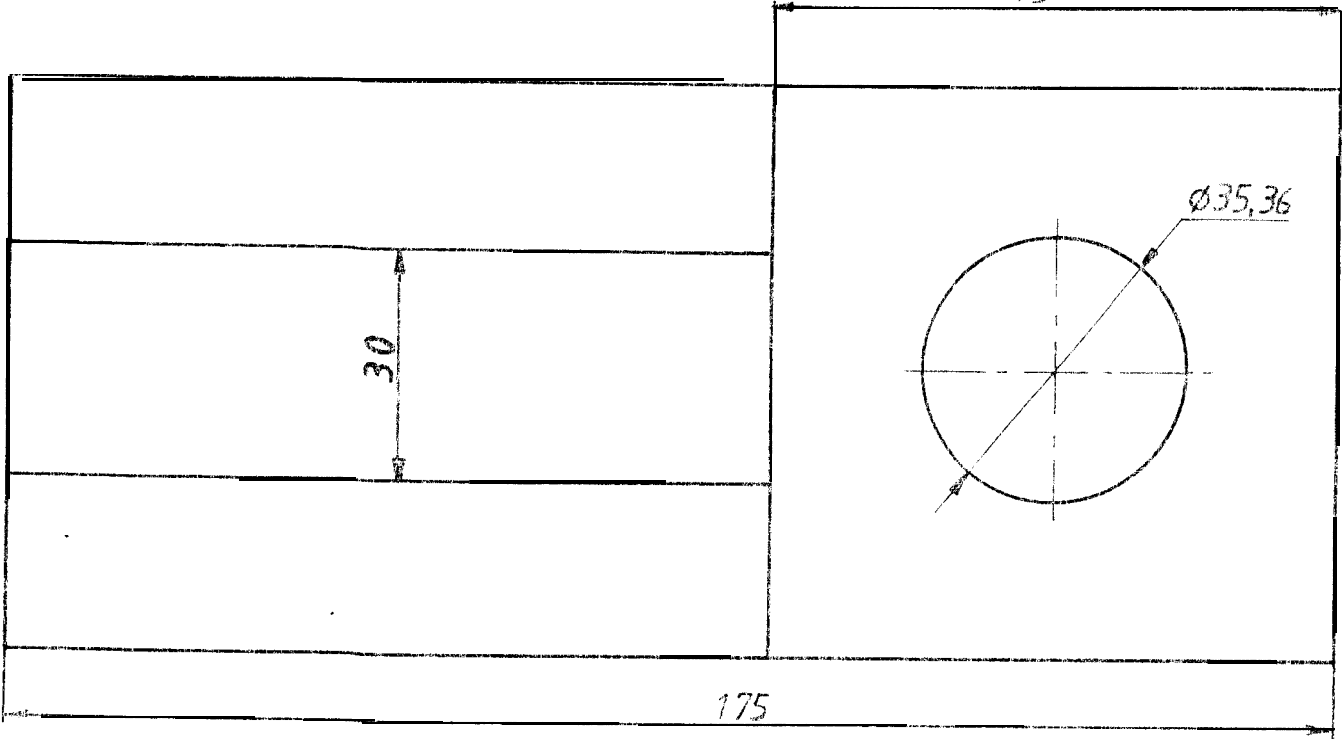


CORTE A-A

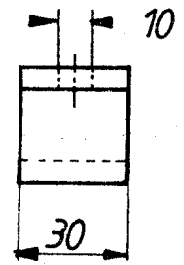
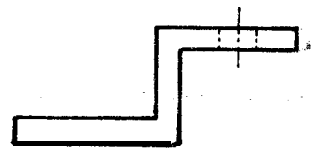
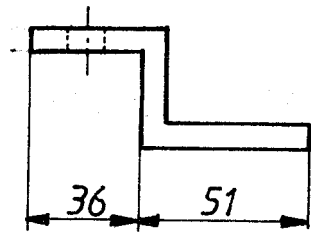
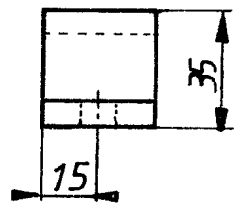
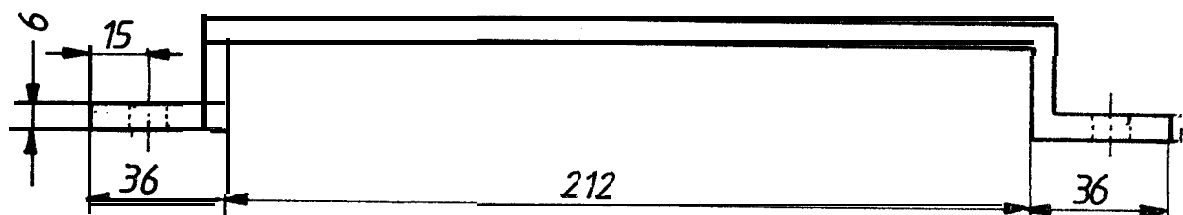
| | Fecha | Nombre | Facultad de Ingeniería Mecánica | ESPOL |
|---------|--------------|------------|------------------------------------|-------|
| Dibujo | | M. Aldas | | |
| Reviso | | G. Urquiza | | |
| Compob. | | | | |
| E: | PLACA | | | |
| 1:1 | | | | |
| | Material: | | | |
| | Acero A-36 | | | |



| | | | | |
|-----------|---------------------------------------|------------|------------------------------------|-------|
| | Fecha | Nombre | Facultad de Ingeniería Mecánica | ESPOL |
| Dibujo | | M. Aldás | | |
| Reviso | | G. Urquiza | | |
| Comprb. | | | | |
| E: 1:2 | 1.- EMPOTRAMIENTO (Parte Superior) | | | |
| | 2.- EMPOTRAMIENTO (Parte Inferior) | | | |
| | | | Material: Acero 760 | |



| Fecha | Nombre | Facultad de Ingeniería Mecánica | ESPOL |
|---------|-------------|------------------------------------|-------------------------|
| Elaboró | M. Alvarado | | |
| Revisó | G. M. Guiso | | |
| Compró | | | |
| E: | | | |
| 1:1 | | VIGA SUPERIOR | |
| | | | Material: Acero A-36 |



| | | | | |
|--------|-----------|------------|------------------------------------|-------|
| | Fecha | Nombre | Facultad de Ingeniería Mecánica | ESPOL |
| Dibujo | | M. Aldás | | |
| Revisó | | G. Urquiza | | |
| Compró | | | | |
| E: | SUJETADOR | | | |
| 1:2 | | | | |
| | | | Material: Acero A-36 | |

APENDICE B

TABLAS DE RESULTADOS



BIBLIOTECA

TABLA No. 1

| ENSAYO DE TENSION | |
|--|----------------|
| DEFORMACION ϵ [$\mu\epsilon$] | CARGA P [KG] |
| 0 | 0 |
| 44 | 10 |
| 84 | 20 |
| 123 | 30 |
| 166 | 40 |
| 206 | 50 |
| 247 | 60 |
| 287 | 70 |
| 332 | 80 |
| 374 | 90 |
| 412 | 100 |
| 452 | 110 |
| 486 | 120 |
| 524 | 130 |
| 560 | 140 |
| 598 | 150 |
| 636 | 160 |
| 675 | 170 |
| 714 | 180 |
| 754 | 190 |
| 793 | 200 |
| 830 | 210 |
| 872 | 220 |
| 912 | 230 |
| 951 | 240 |
| 987 | 250 |
| 1021 | 260 |
| 1059 | 270 |
| 1092 | 280 |
| 1127 | 290 |
| 1160 | 300 |
| 1196 | 310 |
| 1230 | 320 |
| 1265 | 330 |
| 1301 | 340 |
| 1340 | 350 |
| 1370 | 360 |
| 1408 | 370 |
| 1442 | 380 |
| 1480 | 390 |
| 1515 | 400 |

$$P = 0.2647 \mu\epsilon - 6.929$$

TABLA No. 2

| ENSAYO DE COMPRESION | |
|--|----------------|
| DEFORNACION ϵ [$\mu\epsilon$] | CARGA P [KG] |
| 0 | 0 |
| 38 | 10 |
| 74 | 20 |
| 111 | 30 |
| 149 | 40 |
| 187 | 50 |
| 224 | 60 |
| 262 | 70 |
| 300 | 00 |
| 337 | 90 |
| 374 | 100 |
| 410 | 110 |
| 450 | 120 |
| 485 | 130 |
| 521 | 140 |
| 559 | 150 |
| 598 | 160 |
| 632 | 170 |
| 670 | 180 |
| 706 | 140 |
| 746 | 200 |

$$P = 0.2686 \mu\epsilon - 0.172$$

TABLA No. 3

| CALIBRACION DEFORMACION VS. LECTURA DIGITAL | |
|---|-------------------------|
| DEFORMACION ϵ [$\mu\epsilon$] | LECTURADIGITAL [BITS] |
| 0 | 0 |
| 50 | 2.5 |
| 100 | 7.0 |
| 150 | 11.0 |
| 200 | 15.0 |
| 250 | 19.5 |
| 300 | 23.5 |
| 350 | 27.5 |
| 400 | 31.5 |
| 450 | 35.5 |
| 500 | 39.5 |
| 550 | 43.5 |
| 600 | 47.5 |
| 650 | 51.5 |
| 700 | 56.5 |
| 750 | 60.5 |
| 800 | 64.5 |
| 850 | 68.5 |
| 900 | 72.5 |
| 950 | 76.5 |
| 1000 | 80.5 |
| 1050 | 84.5 |
| 1100 | 88.5 |
| 1150 | 93.5 |
| 1200 | 97.0 |
| 1250 | 101.5 |
| 1300 | 105.5 |
| 1350 | 109.5 |
| 1400 | 113.5 |
| 1450 | 117.5 |
| 1500 | 121.5 |
| 1550 | 126.0 |
| 1600 | 129.5 |
| 1610 | 130.5 |

$$\epsilon = 12.22 [\text{BITS}] + 15.17$$



BIBLIOTECA

TABLA No. 4

| CALIBRACION CARGA VS. LECTURA DIGITAL | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| CARGA P [KG] | LECTURA DIGITAL [BITS] |
| 19.69 | 7.0 |
| 46.17 | 15.0 |
| 99.11 | 31.5 |
| 152.05 | 47.5 |
| 204.99 | 64.5 |
| 257.94 | 80.5 |
| 310.89 | 97.0 |
| 363.83 | 113.5 |
| 416.77 | 129.5 |

P □ 3.234 [BITS] - 2.604



BIBLIOTECA



BIBLIOTECA

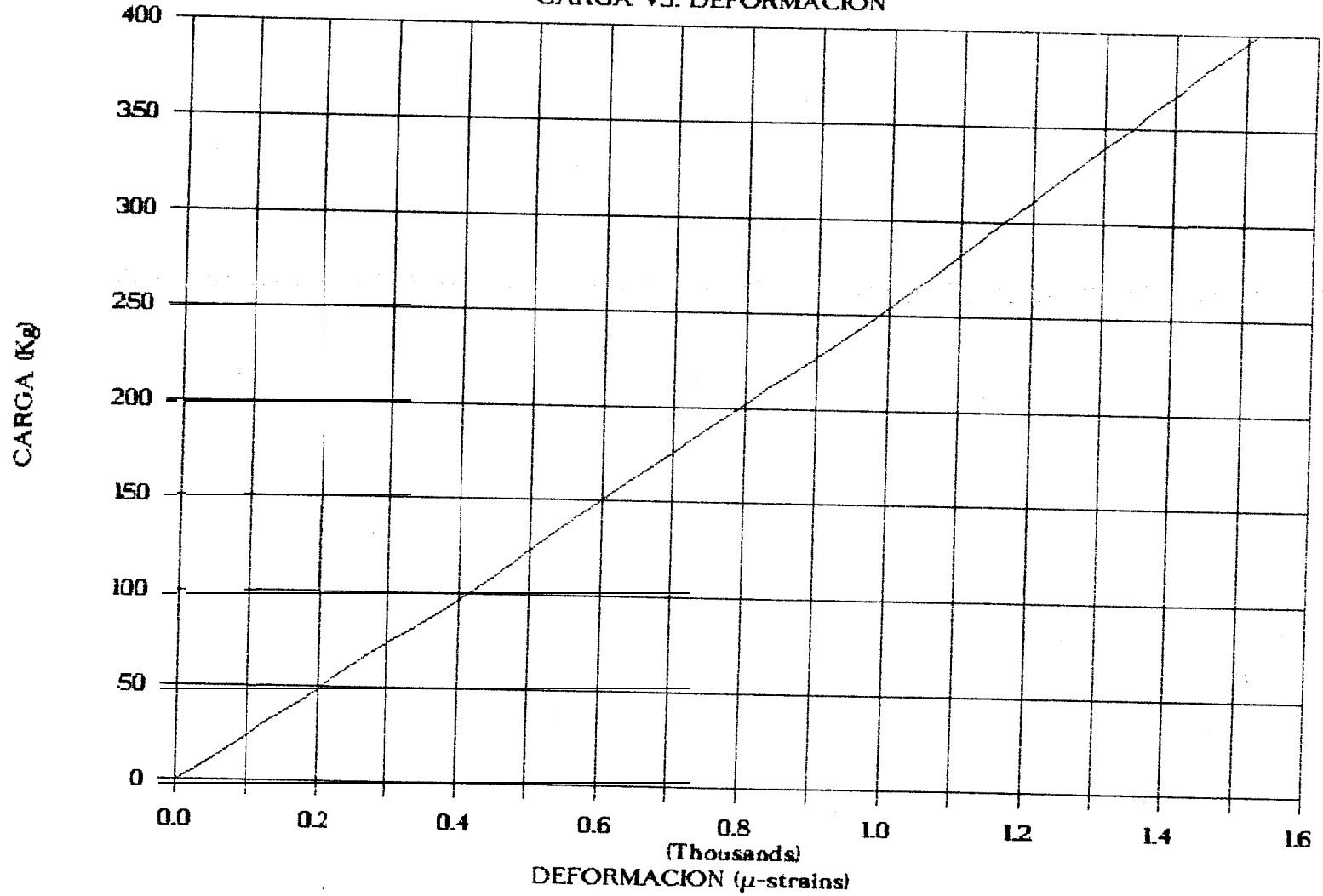


APENDICE C

GRAFICOS

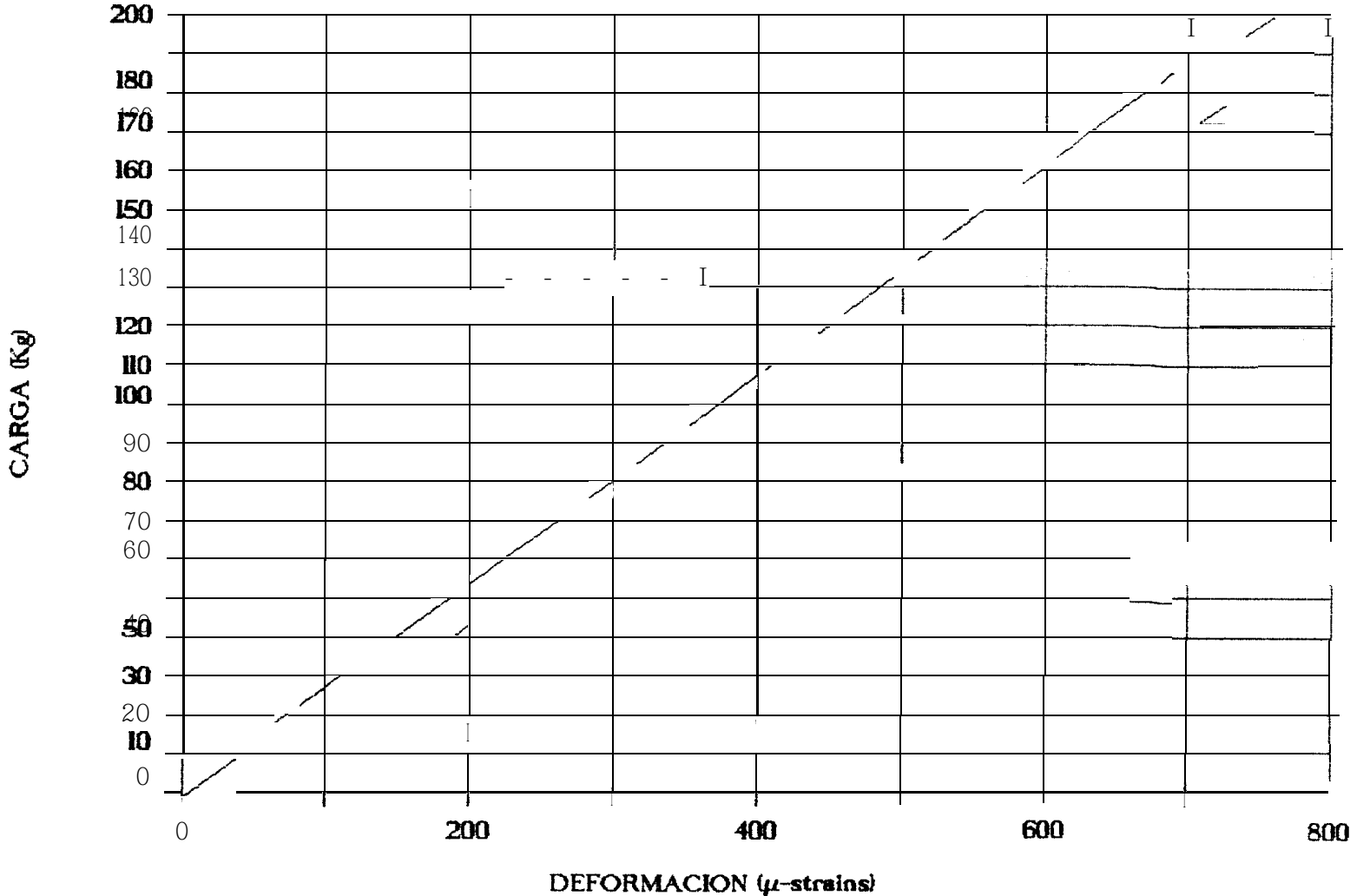
ENSAYO DE TENSION

CARGA VS. DEFORMACION



ENSAYO DE COMPRESION

CARGA VS. DEFORMACION



APENDICE D

FOTOGRAFIAS

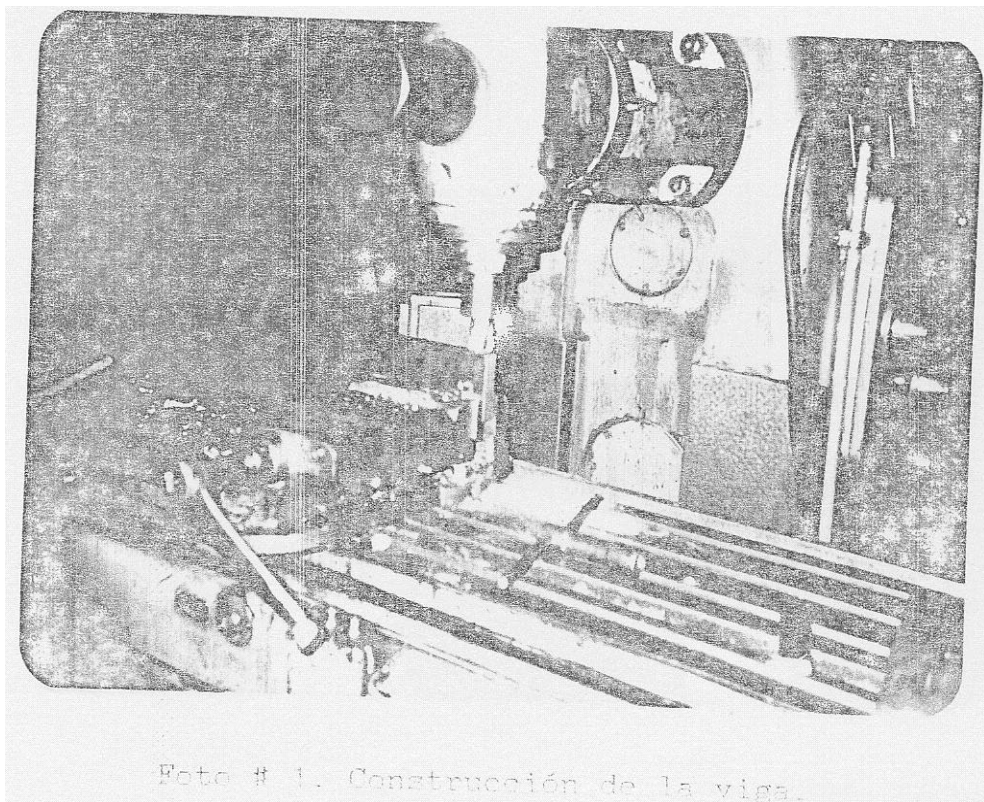


Foto # 1. Construcción de la viga.

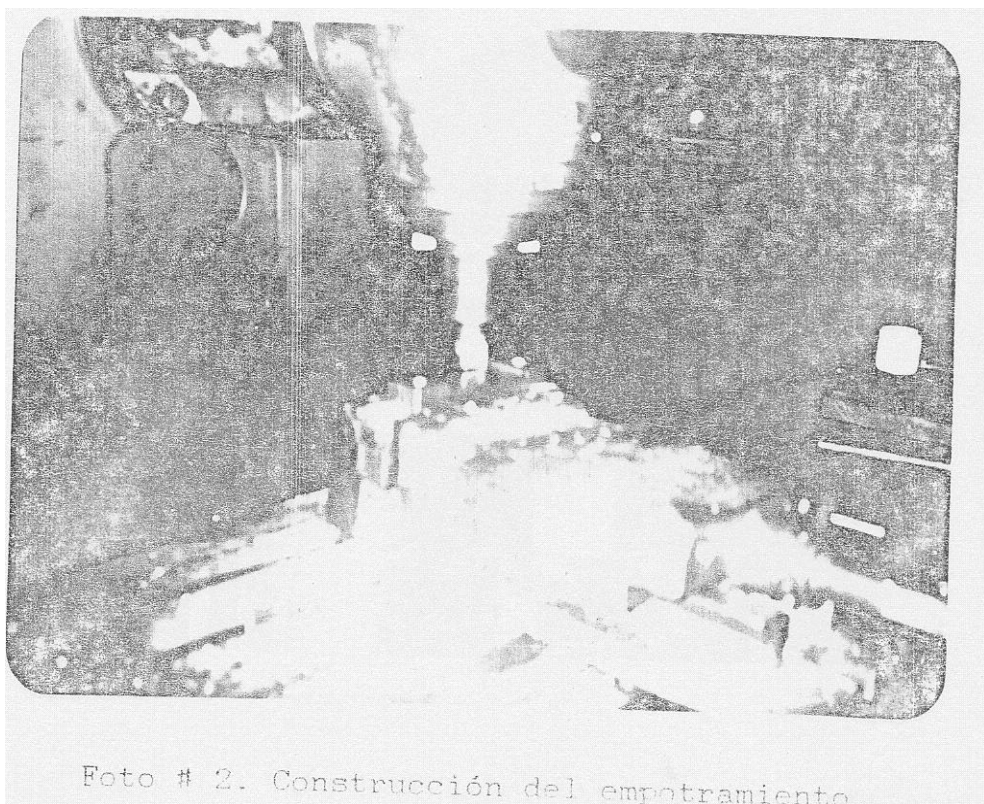
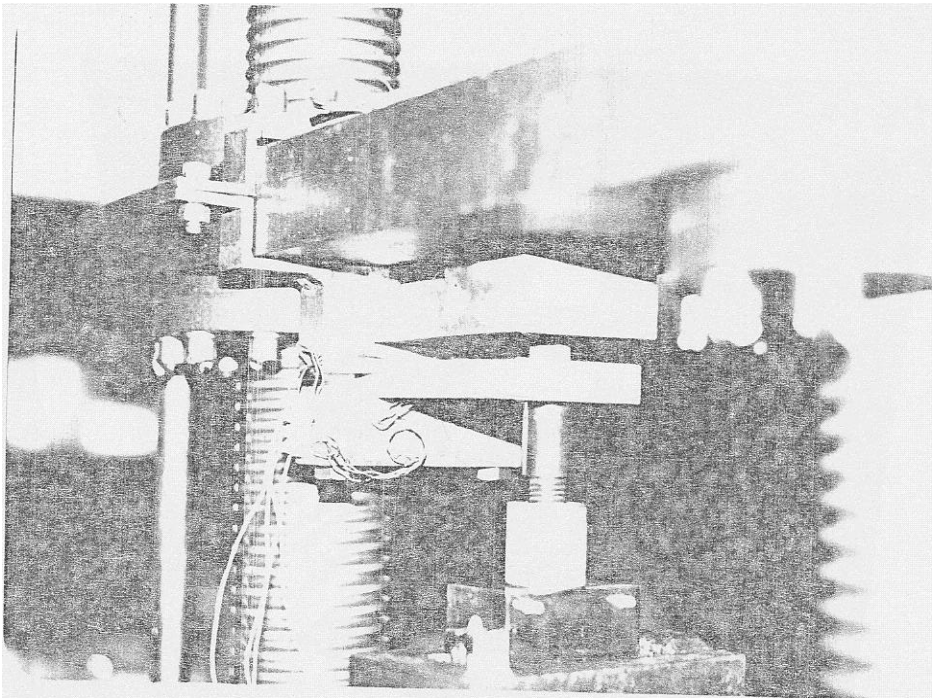
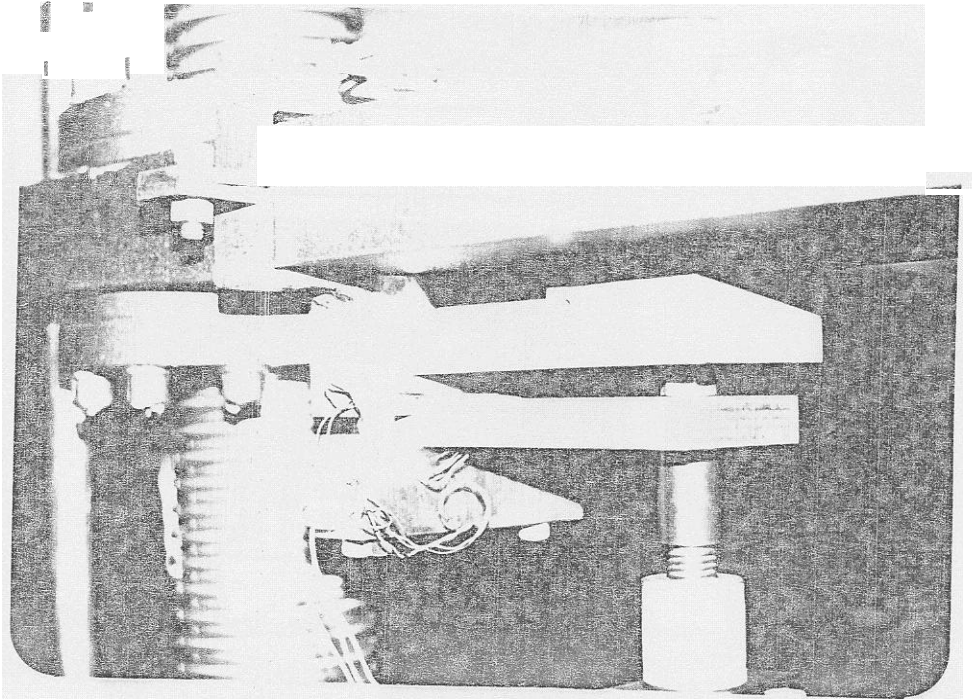


Foto # 2. Construcción del empotramiento.



Fotos # 3 y 4. Vista de la celda de carga instalada en la Máquina Universal de Ensayos.

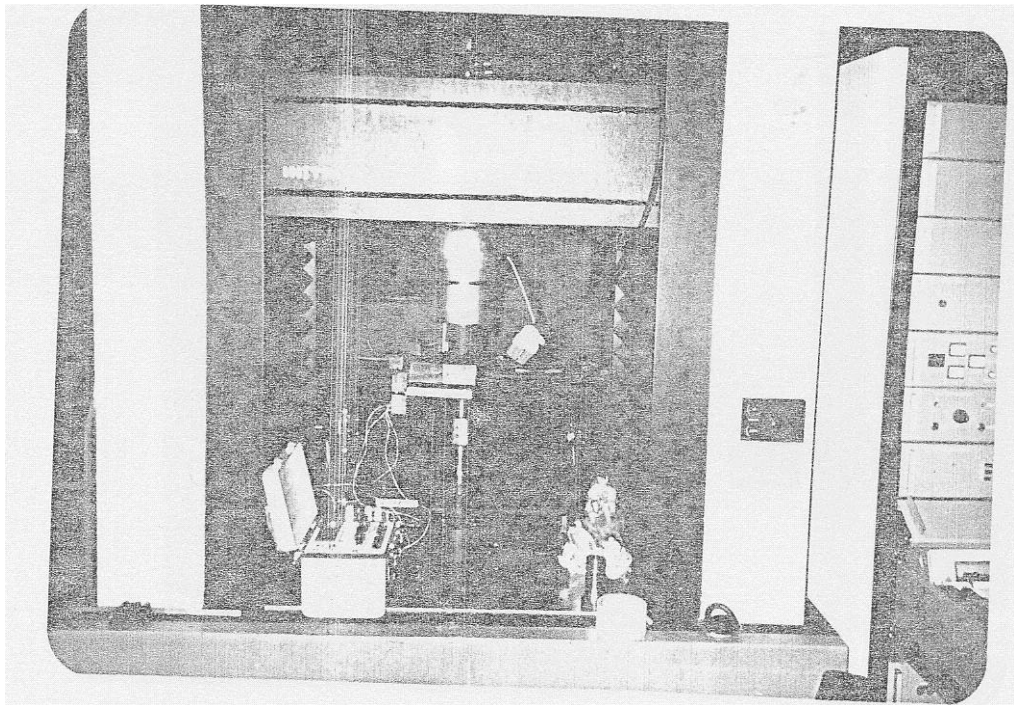


Foto # 5. Calibración de la celda de carga para ensayos

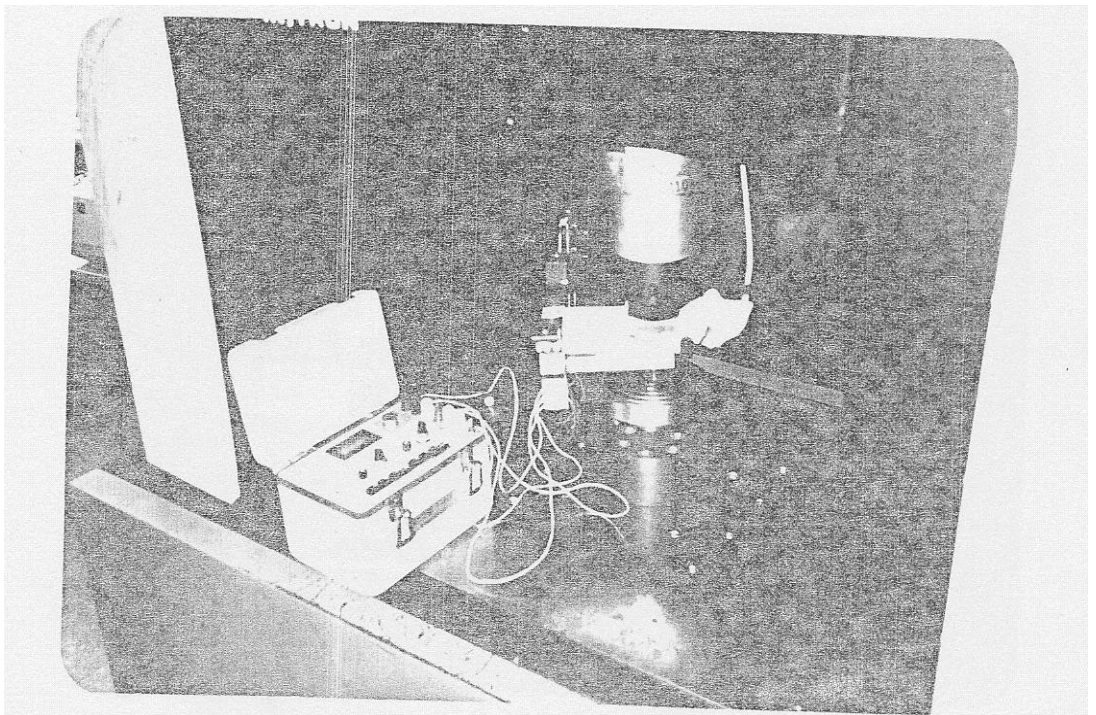


Foto # 6. Calibración de la celda de carga para ensayos de compresión.

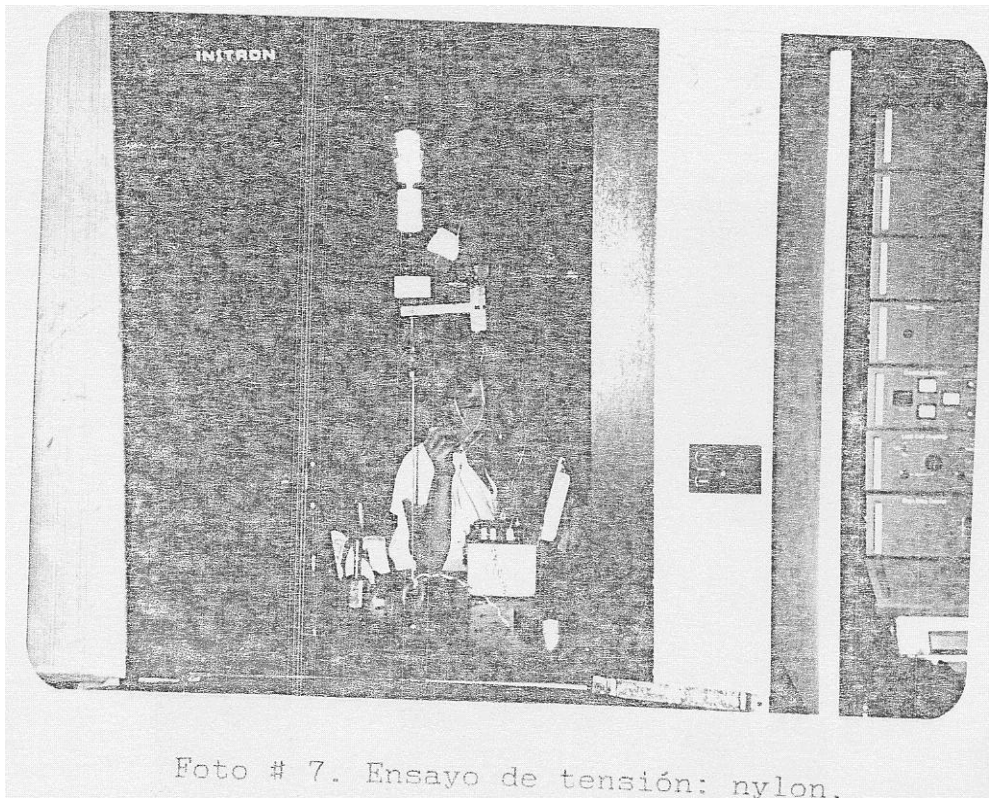


Foto # 7. Ensayo de tensión: nylon.

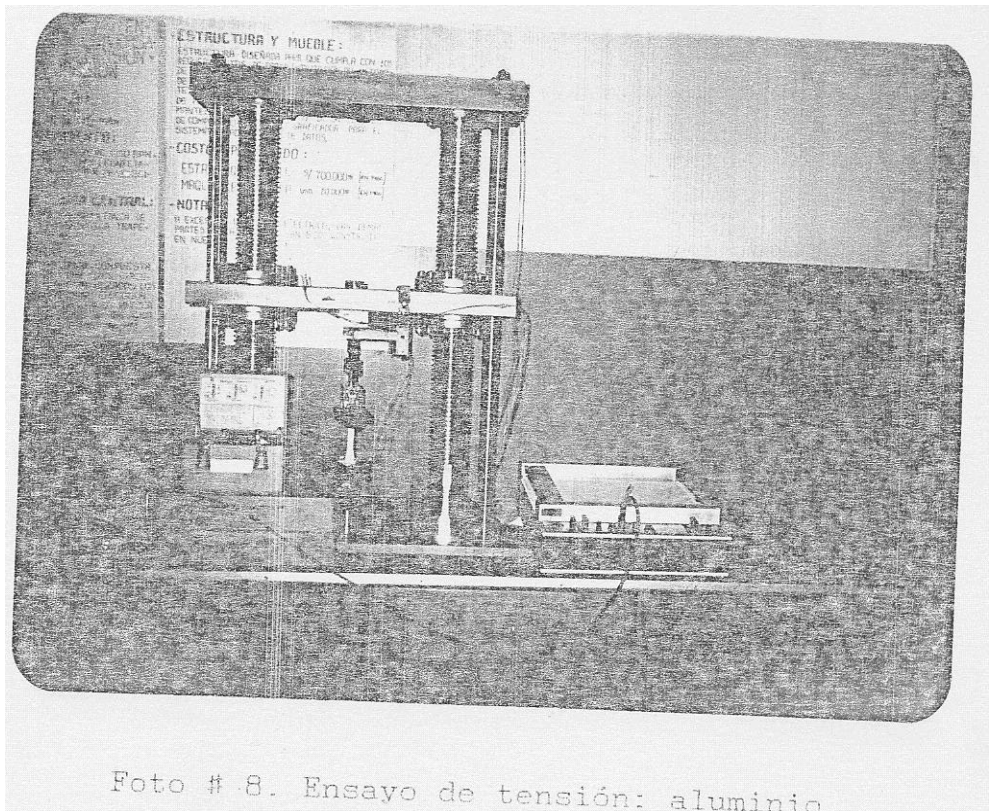


Foto # 8. Ensayo de tensión: aluminio.

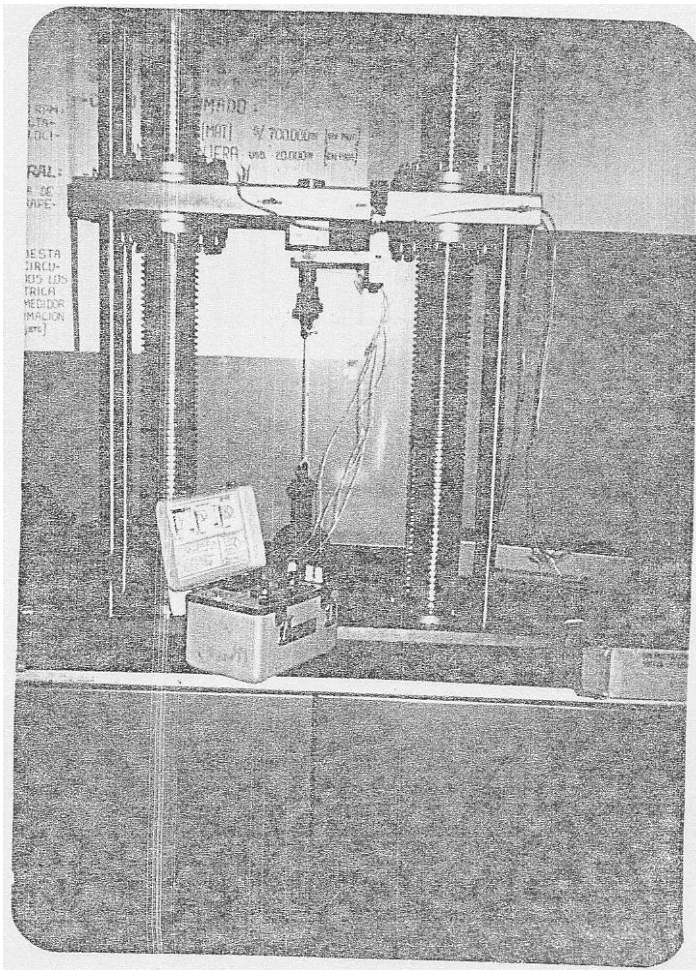


Foto # 9. Ensayo de tensión: cordón con hilos de seda.

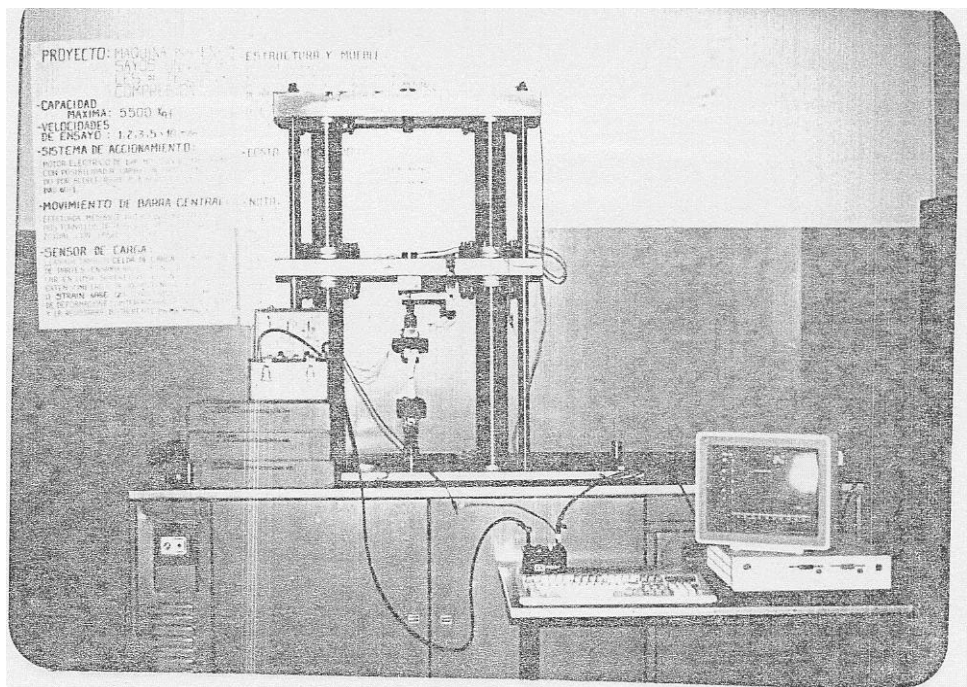


Foto # 10. Equipo utilizado en las pruebas con adquisición de datos por computadora.

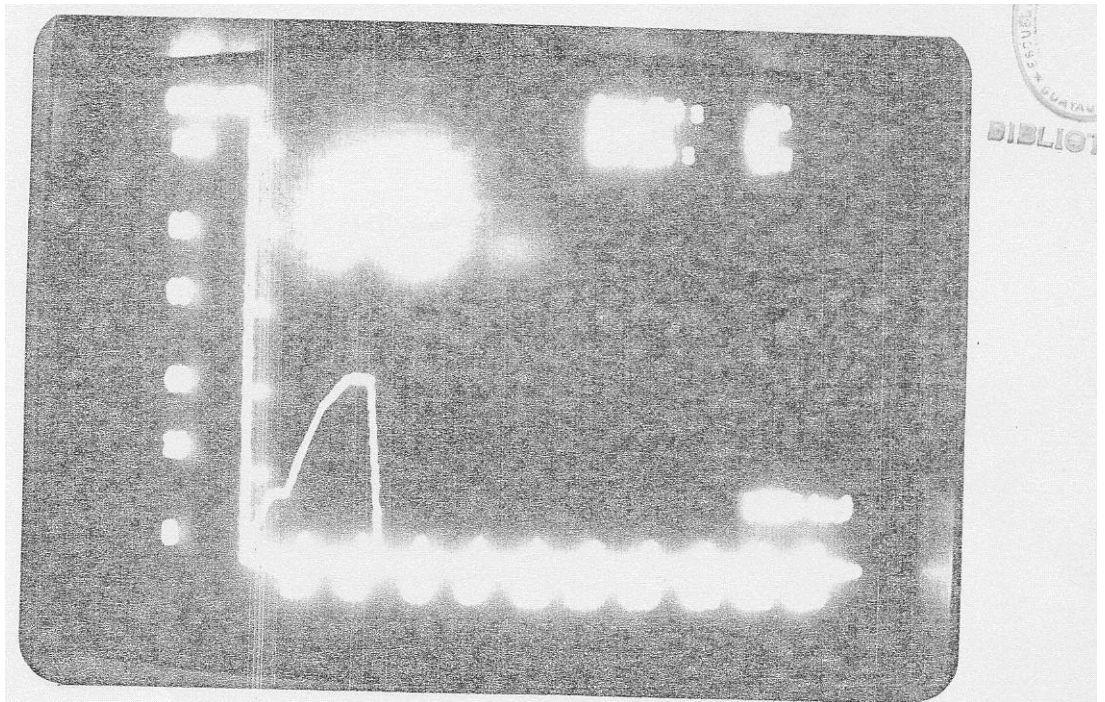
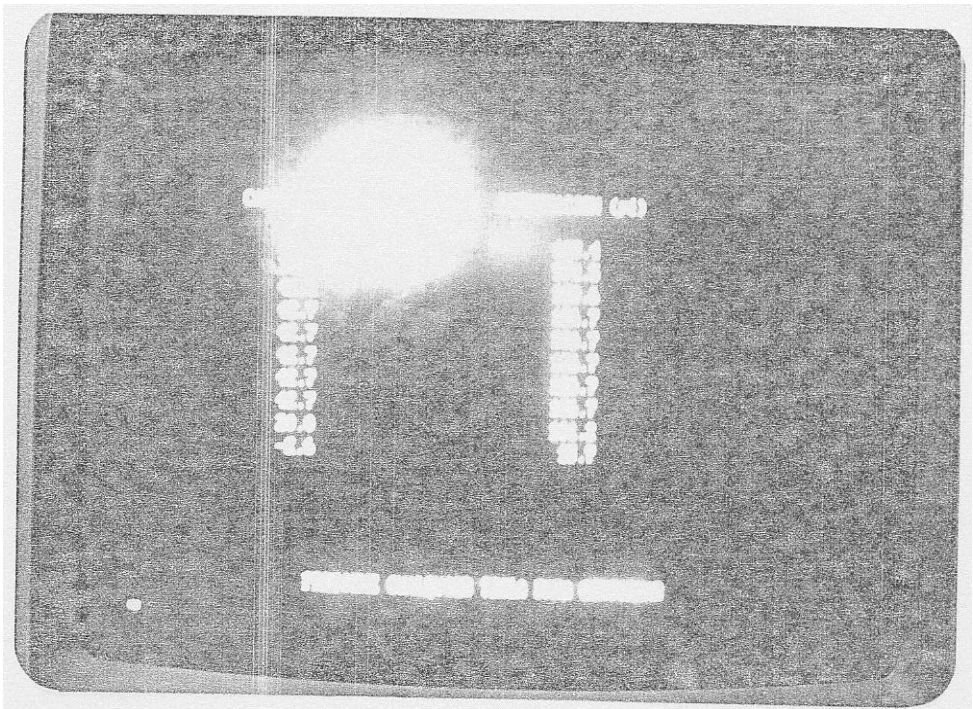
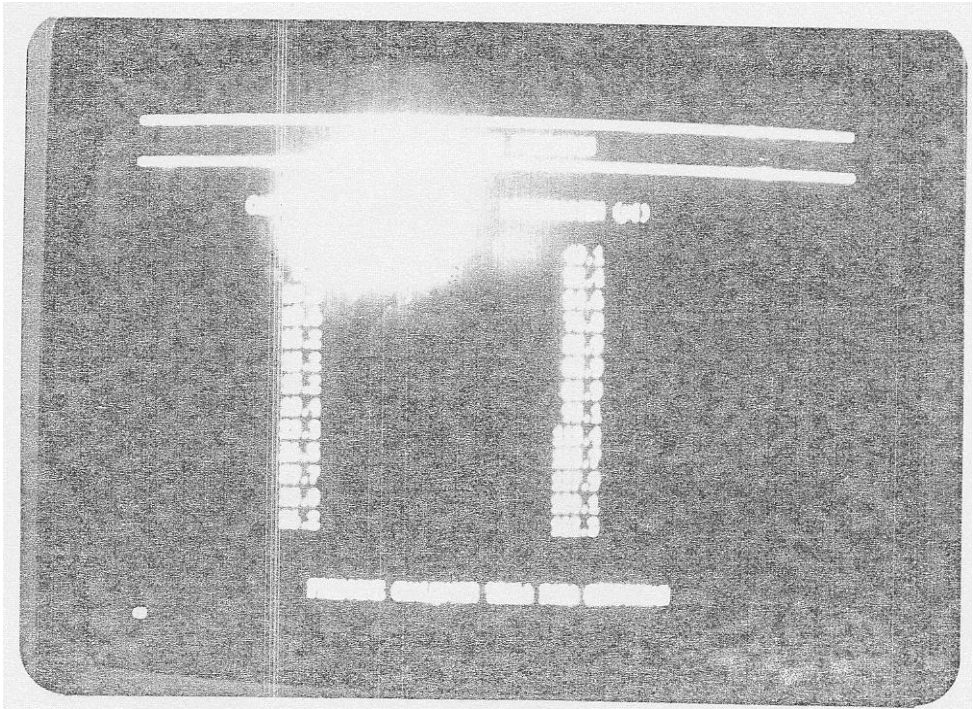


Foto # 11. Curva carga vs. tiempo



Fotos # 12 y 13. Tabla de resultados: carga deformación.

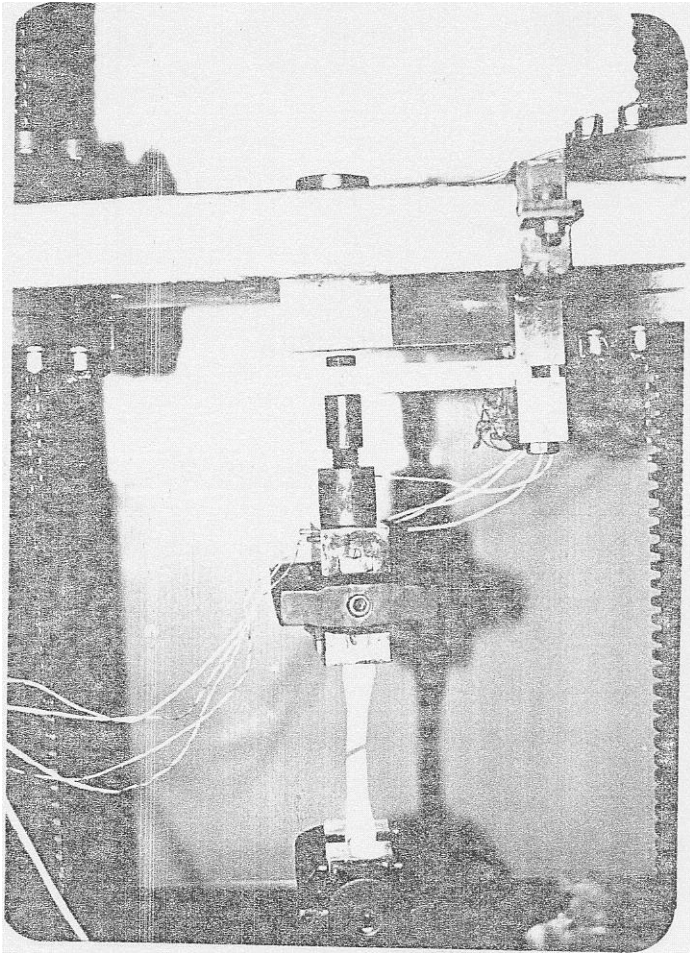


Foto # 14. Probeta de aluminio luego del ensayo de tensión.

APENDICE E

LISTADO DEL PROGRAMA DE ADQUISICION DE DATOS

```

5 REM PROGRAHA TENSION
10DI=C(1000),P(5000),DF(5000)
15 SCREEN 0
20 COLOR14:CLS:GOSUB1110
30 LOCATE 4,20
40 PRINT"ESCUELASUPERIORPOLITECNICADELLITORAL"
50 LOCATE 7,20
60 PRINT "          TOPICO DE GRADUACION
70 LOCATE 10,20
80 PRINT "    ANALISIS EXPERIMENTAL DE ESFUERZOS
90 LOCATE 13,18
100 PRINT "ENSAYO DE TENSION MEDIANTE ADQUISICION DE DATOS
110 LOCATE 16,20
120 PRINT "    REALIZADO POR: Maritza Aldás Ortega
130 LOCATE 19,20
140 PRINT "          Noviembre 1.989
150 LOCATE 22,10
160 PRINT "    ==== PRESIONE CUALQUIER TECLA PARA CONTINUAR ====
170 A$=INKEY$:IFA$=""GOTO 170
180 CLS
190 LOCATE 7,24:PRINT"PROGRAMA PARA REALIZAR UN ENSAYO
200 LOCATE 9,20:PRINT"DE TENSION MEDIANTE ADQUISICION DE DATOS
210 LOCATE 12,26:PRINT"1. Explicaciñ del progaraaa"
220 LOCATE 14,26:PRINT"2. Ejecución del programa "
230 LOCATE 16,26:PRINT"3. Fin del programa "
240 LOCATE 20,20:PRINT"Presione número de opción deseada....."
250 A$=INKEY$:IF A$="" THEN 250
260 IF A$="1" THEN 1810
270 IF A$="2" THEN 290
280 IF A$="3" THEN 1780 ELSE 250
290 CLS:K=0
300 LOCATE 2,5
310 PRINT "INGRESE LOS DATOS DE TIEHPO EN SEGUNDOS"
320 LOCATE 7,5
330 INPUT "INTERVALO DE TIEMPO PARA LA RECEPCION=":T
340 LOCATE 11,5
350 INPUT" HAXIHO EN LA ESCALA =";TMAX
360 LOCATE 15,5
370 PRINT "SON CORRECTOS LOS DATOS [S/N) ?"
380 CA$=INKEY$
390 IF A$="n" GOTO 300
400 IF A$="s" GOTO 410 ELSE 380
410 LOCATE 22,10
420 PRINT "PRESIONE UNA TECLA PARA COMENZAR"
430 A$=INKEY$:IFA$=""GOTO 430
440 SCREEN 0:WIDTH 80
450 CLS:COLOR 10:KEY OFF
460 X1=100:Y1=170
470 FOR I=1 TO 5000
480 LOCATE 1,50
490 BEEP
5000=TIMER

```

```

51 OS=&HDE0+3
52 OB=&HDE0+1
53 CA=&HDE0+0
54 OOTS,128+16
55 FOR J=1 TO 200
56 OUT B,0
57 CX=INP(A)
58 C(J)-X
59 NEXT J
60 CMAX=0:MIN=C(1)
61 FOR J=1 TO 200
62 IF C(J)>MAX THEN MAX=C(J) .
63 IF C(J)<MIN THEN MIN=C(J)
64 NEXT J
65 (V=TIMER:TIEMPO=V-U
66 IF TIEMPO >= T GOTO 670 ELSE 650
67 (PROM=(MAX+MIN)/2
68 OK=K+1
69 P(1) =3.234*PROM-2.604
70 DF(I)=12.216*PROM+15.71
71 IF P(I)>500 GOTO 1070
72 OTS=TS+T
73 SCREEN2
74 REM ejee coordenados
75 O LINK(100,170)-(101,10),,BF
76 O LINK(100,170)-(640,171),,BF
77 (X2=INT(500*TS/TMAX)+100
76 (Y2=INT(170-150*P(I)/100)
79 O LINK(X1,Y1)-(X2,Y2)
80 LOCATE 1,50
81 PRINT "Carga (kg) ="
82 LOCATE 1,65:PRINT USING"#####.##";P(I)
83 LOCATE 2,50
84 PRINT " "
85 LOCATE 2,50
86 PRINT "tiempo ="
87 LOCATE 2,65:PRINT USING"#####";TS
88 LOCATE 3,50
89 PRINT "Def. (µε) ="
90 LOCATE 3,62
91 PRINT USING"#####.##";DF(I)
92 (X1=X2:Y1=Y2
93 FOR HOR=TMAX/10 TO TNAX STEP TMAX/10
94 (Q=INT(500*HOR/TMAX)+100
95 O LINK(Q,170)-(Q+2,162),,BF
96 (H=62*HOR/TMAX+11:LOCATE 3,H:PRINT HOR
97 NKXT HOR
98 FOR VERT=0 TO 100 STEP 20
99 (R=INT(170-VERT*150/100)
100 LINK(100,R)-(114,R+1),,BF

```



```
101 CV=21-18*VERT/100:LOCATV,4:PRINTVKRT
1020 NEXT VERT
1030 LOCATE1,4:PRINT "CARGA (KG)
1040 LOCATE19,68:PRINT "TIEHPO(seg)"
1050 IF PROM <= 0 GOTO 1300
1060 NEXT I
1070 LOCATE12,30
1080 PRINT "CARGA FUERA DE ESCALA"
1090 A$=INKEY$:IFA$=" "GOTO1090
1100 CLS:SCREEN 0:END
1110 CLS:SCREEN 0:WIDTH80:KEY OFF
1120 LOCATK 1,1
1130 PRINTCHR$(201)
1140 LOCATE1,78
1150 PRINTCHR$(187)
1160 LOCATE23,1
1170 PRINTCHR$(200)
1180 LOCATE23,78
1190 PRINTCHR$(188)
1200 FOR I=2 TO 77
1210 LOCATE1,I
1220 PRINTCHR$(205):NEXT I
1230 FOR I=2 TO 77:LOCATE 23,1
1240 PRINTCHR$(205):NEXT I
1250 FOR I=2 TO 22:LOCATB I,1
1260 PRINTCHR$(186):NEXT I
1270 FOR I=2 TO 22:LOCATE I,78
1280 PRINTCHR$(186):NEXT I
1290 RETURN
1300 LOCATE13,30
1310 PRINT "BNSAYOTERMINADO"
1320 LOCATE14,30
1330 PRINT "PRKSIONE CUALQUIERTECLAPARA CONTINUAR"
1340 A$=INKEY$:IFA$=" "GOTO1340
1350 FOR W=1 TO 1000:NEXT W
1360 CLS:SCREEN 0:COLOR 10
1370 FOR J=1 TO 78
1380 LOCATK2,J:PRINTCHR$(205)
1390 LOCATK4,J:PRINTCHR$(205)
1400 NEXT J
1410 LOCATK3,30
1420 PRINT "RESULTADOS OBTENIDOS"
1430 CON=8
1440 FOR I=1 TO K
1450 LOCATK6,13
1460 PRINT "CARGA (KG)
1470 LOCATE5,40
1480 PRINT "DKFORHACION( $\mu$ E)
1490 LOCATKCON,13:PRINT"
1500 LOCATKCON,13:PRINT USING "#####.#";P(I)
```

```

1510 LOCATE CON,43:PRINT "
1520LOCATECON,43:PRINTUSINC'#####.#":DF(I)
1530 CON=CON+1
1540IFCON=21THENGOSUB1600
1550 NEXT I
1560 LOCATE23,20
1570PRINT"PRESIONE CUALQUIERTECLAPARA CONTINUAR"
1580 A$=INKEY$:IFA$="GOTO1580
1590 GOTO 1660
1600 CON=8
1610 LOCATEK 23,20
1620 PRINT "PRESIONE CUALQUIERTECLAPARA CONTINUAR"
1630 A$=INKEY$:IFA$="GOTO 1630
1640 CLS
1650 RETURN
1660 CLS
1670 LOCATE 10,5
1680PRINT"QUIEREMPRIMIRLOSRESULTADOS(S/N)"
1690 A$=INKEY$
1700 IFA$="n"GOTO180
1710 IFA$="s"GOTO 1720 ELSE 1690
1720 LPRINT " RESULTAD(OBTENIDOS)"
1730 LPRINT " "
1740 FOR I=1 TO K
1750LPRINT"CARGA(KG)=";P(I);" ":"DEFORMACION (µε) =";DF(I)
1760 LPRINT " "
1770 NEXT I
1780 CLS:LOCATE15,20
1790 PRINT"****EL PRGGRAHA HA TERHINADO****"
1800 END
1810 CLS
1820 LOCA'3,32:PRINT"EXPLICACION"
1830 LOCA'4,32:PRINT"-----"
1840 LOCATE 6,11:PRINT"Pararealizar la adquisicion de datos por computadora
1850 LOCATE 8,11:PRINT"del ensayo de tension, es necesario:
1860 LOCATE 10,11:PRINT"1. Conectar la celda de carga al medidor de deformación"

1870 LOCATE 12,11:PRINT"2. Conectar el medidor de deformación al amplificador"

1880 LOCATEK13,11:PRINT" Omega, fijar su ganancie en 10 y encenderlo. "
1890 LOCATEK 15,11:PRINT"3. Verificar que el factor del extensómetro esté bien"
1900LOCATEH6,11:PRINT" seleccionado en el medidor de deformación. "
1910LOCATEK18,11:PRINT"4. Encerarelmedidor dedeformación."
1920 LOCATE 20,11:PRINT"5. Proceder a hacer la adquisicion cuando el medidor "
1925LOCATE21,11:PRINT" registre más de 20 µε."
1930LOCATE23,11:PRINT" Presione una tecla para regresar al menú.... "
1940A$=INKEY$:IFA$="THEN 1940
1950 GOTO 180

```

APENDICE F

SIMBOLOS EMPLEADOS

SIMBOLOGIA

| | |
|------------|---|
| ϵ | Deformación |
| δ | Cambio de longitud |
| L | Longitud |
| L_0 | Longitud inicial |
| P | Carga externa |
| σ | Tensión normal, esfuerzo |
| A | Area, sección transversal |
| E | Módulo de Young, módulo de elasticidad, módulo elástico |
| μ | Relación de Poisson |
| I | Momento de inercia |
| τ | Esfuerzo cortante |
| L_i | Largo de la viga donde están colocados los extensómetros |
| b_i | Base de la viga donde están colocados los extensómetros |
| h_i | Altura de la viga donde están colocados los extensómetros |
| I | Momento de inercia de la sección transversal de la viga donde están colocados los extensómetros |
| R_i | Reacción en un apoyo ($i=1,2,3,4,..$) |
| a | Distancia entre apoyos |
| b | Distancia entre el apoyo y la carga externa |
| L_2 | Largo del empotramiento |
| b_2 | Base del empotramiento |
| h_2 | Altura del empotramiento |
| w | Peso de la celda de carga |

| | |
|-------------|---|
| R | Resultante de las reacciones |
| PE | Peso específico |
| v | Volumen |
| \bar{y} | Distancia medida perpendicularmente desde la base de una sección no simétrica hasta su eje neutro |
| d_i | Distancia entre el centroide de una sección y el \bar{y} ($i=1,2,3,4,\dots$) |
| I | Momento de inercia total |
| I_{oi} | Momento de inercia de una sección i ($i=1,2,3,4,\dots$) |
| L_3 | Largo de la viga superior |
| b_3 | Base de la viga superior |
| h_3 | Altura de la viga superior |
| \emptyset | Diámetro del perno |
| L_p | Largo del perno |
| A_g | Area transversal de una barra |
| T | Fuerza de tensión |
| F_t | Esfuerzo normal |
| F_u | Resistencia última a la tensión |
| A/D | Conversión analógica a digital |
| Σ | Sumatoria |