

# ENSAYO MECANICO DE MATERIALES POR COMPRESION DE SU LAMINA

**AGUSTIN MONTILLA MARTIN,**  
F.R.S.A. (Londres)

Doctor Ingeniero, Profesor de Ingeniería Mecánica y Director de la Estación Experimental de Ingeniería, Universidad de Oriente.

## 1. *Ventajas y realizaciones del ensayo*

Los ensayos más frecuentes empleados en la resistencia de los materiales consisten en los típicos de tracción y compresión axial. Esas pruebas son esencialmente adecuadas para materiales cuya elongación máxima útil (ya sea por alcanzar la fluencia o por sufrir rotura) no represente más que un porcentaje reducido de la longitud inicial de la probeta. Tal es el caso de los hierros y aceros cuyo uso extenso en la técnica ha tenido el resultado de polarizar en buena parte el interés y el desarrollo de los métodos y teorías del ensayo mecánico hacia los de tracción-compresión.

Tanto es ello así que, por inercia muy explicable, se tiende a continuar utilizándolos aun cuando se trate de ensayar otros materiales (como, por ejemplo, la mayor parte de los plásticos) cuya deformación en la rotura, o en su condición límite de aplicación, representa parte significativa de la longitud inicial de probeta. Se presenta entonces el inconveniente de lo engorroso en que la operación de ensayo se convierte; aparte de que siempre en el ensayo de materiales dúctiles la inestabilidad en la tracción da lugar a la formación de cuello, enmascarando así las últimas etapas de la prueba. Si bien esto no tiene gran importancia en el caso de materiales ferrosos desde el punto de vista práctico, sí la tiene para los casos de grandes elongaciones antes de la rotura, pues entonces la aparición de cuello falsea una gran zona de la curva de ensayo.

Para obviar esos inconvenientes se ha acudido a desarrollar nuevos tipos de máquinas para el ensayo, lo que, en cierto modo, constituye una obcecación al empeñarse en perpetuar un tipo de ensayo (el de tracción-compresión) fuera del campo para el cual es realmente el más adecuado.

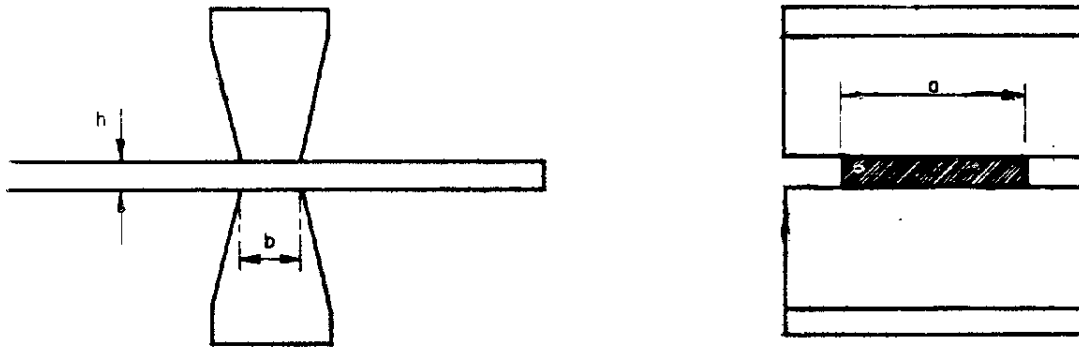


FIGURA 1

El verdadero modo de soslayar los inconvenientes es acudir a ensayar láminas delgadas del material someténdolas a compresión entre dos superficies planas paralelas, figura 1. Desaparece así la necesidad de tratar con grandes deformaciones y cualquier máquina disponible para aplicar compresión, aún las de relativamente pequeña capacidad, se adapta directamente.

Las anteriores consideraciones y la exploración de la literatura técnica sobre problemas análogos publicada recientemente, guiaron el tema de nuestras investigaciones hacia el estudio teórico-experimental de la posibilidad de utilizar el ensayo de compresión de lámina como sustitutivo de los ensayos clásicos de tracción para la obtención de características mecánicas de los materiales; así como de la posibilidad de extender la correspondencia entre aquel ensayo y el comportamiento de los materiales bajo otros sistemas de tensiones. En cada caso, han sido efectuados ensayos directos del material sometido al estado complejo de tensiones estudiado, con el fin de lograr correlación experimental con el comportamiento deducido a partir del ensayo a compresión de lámina mediante las ecuaciones de la teoría de la plasticidad.

Todo el trabajo experimental de la investigación ha sido efectuado en los laboratorios técnicos de la empresa *Pressed Steel*, de

Gran Bretaña, y deseamos dejar constancia de nuestro agradecimiento por las facilidades prestadas. Asimismo, al Profesor W. Johnson, de la Universidad de Manchester, por la estimulante discusión de varios puntos de la investigación.

Parecería a primera vista fácil la obtención de la característica mecánica de un material (curva esfuerzo-deformación) bajo condiciones de compresión uniáxica: bastaría comprimir un cilindro circular corto del material. Sin embargo, las primeras dificultades que surgen consisten en las bien conocidas procedentes del rozamiento entre las platinas de la prensa y el cilindro probeta que tiende a ensacharse lateralmente bajo compresión axial debido al efecto Poisson. Esta tendencia, al ser dificultada o restringida por la fuerza de rozamiento dicha, ejerce un efecto de fortalecimiento o zunchado sobre la probeta y un aumento consiguiente de la carga exigida. Se forman, además, zonas cónicas de material cuyas bases son las de la probeta, tales que el material se encuentra allí mucho menos deformado que hacia el centro de la misma.

Tratamos de investigar la efectividad de una sugerencia en el sentido de que ese efecto pudiese ser anulado mediante la utilización de platinas cónicas. Pronto encontramos, sin embargo, en los experimentos preliminares que el procedimiento era engorroso de aplicación e incierto en lo que se refiere al empleo del adecuado ángulo de conicidad para cada material, presentándose grandes variaciones teóricas en el ángulo necesario para materiales poco diferentes en naturaleza mecánico-resistente. El mecanizado difícil de las bases de las probetas hizo, finalmente, rechazar la tentativa de compensar el efecto de zunchado de frotamiento mediante conicidad de las bases de las probetas.

Volvimos nuestra atención a la compresión entre superficies paralelas, tratando de eliminar prácticamente el efecto de zunchado debido a frotamiento mediante la utilización de algún lubricante adecuado y la minimización del gradiente de esfuerzos en altura obtenido por utilización de lámina relativamente delgada como probeta.

En efecto: en el caso de continuar utilizando una probeta del tipo de columna corta, por ejemplo de sección cilíndrica, nos vimos obligados a aplicar la carga mediante incrementos sucesivos y a efectuar nueva lubricación cada vez que se interrumpía el proceso entre cada incremento. Por otra parte, resultó evidente la necesi-

dad de reducir el diámetro de la probeta cuando ésta sufría deformación por ensanchamiento en las últimas etapas de la compresión; pues, de lo contrario, el área de la sección normal siendo diferente en el final del ensayo de su valor al comienzo, falseaba la comparación directa de tensiones (esfuerzos unitarios) entre las últimas etapas y las primeras.

Por el contrario, al ensayar el material en lámina delgada desaparece como decíamos la necesidad de tratar grandes deformaciones, no importa cuán grande sea la elasticidad del material.

La lámina queda sometida a la compresión plana entre las dos superficies paralelas lisas y pulidas, con la adición de un lubricante para hacer desaparecer, prácticamente, el rozamiento mutuo entre las superficies y la lámina, de modo que el material queda sin restricción en su tendencia a fluir en dirección normal a las estampas planas. La deformación queda restringida por el propio material no deformado a cada lado del área comprimida. El área bajo carga permanece constante a lo largo de todo el ensayo debido a la no aparición de inestabilidad.

La realización práctica del ensayo en buenas condiciones exige, como señalábamos, la eliminación del rozamiento con la superficie de las estampas. Experimentalmente, los mejores resultados se han obtenido utilizando: a) vaselina; b) mezcla de grafito pulverizado en vaselina; c) mezcla de grafito pulverizado en aceite mineral; d) aceite lubricante mineral; por orden decreciente de resultados. Conviene observar que varios materiales no metálicos, especialmente plásticos, absorben el lubricante en sus capas superficiales lo que da lugar a aumento de volumen; en ellos el tiempo de permanencia en contacto debe ser reducido al mínimo indispensable. En todos los casos el material ensayado debe limpiarse cuidadosamente una vez terminado el ensayo.

Como anteriormente indicábamos, el dispositivo de aplicación del esfuerzo puede ser cualquier máquina de ensayo, prensa industrial o dispositivo análogo con tal de que las superficies de fuerza se mantengan paralelas entre sí.

La figura 1 muestra las estampas utilizadas para la compresión de lámina; aquellas son más largas que la lámina según la dimensión  $a$ ; en cambio, son de anchura  $b$  bastante menor, con objeto de dejar material no sometido a tensión en ambos lados e impedir,

así, que exista deformación en la dirección  $a$ , con lo cual logramos estado plano de deformación; nos serviremos después de que en la deformación plástica existe constancia de volumen, para ver que la deformación según el espesor es la misma que según la longitud

Nosotros comenzamos los experimentos admitiendo que la presión media aplicada a la lámina era la tensión de fluencia para la compresión plana. Sin embargo, pronto tuvimos que modificar ese supuesto al encontrar experimentalmente que los valores de la presión eran función de la relación  $h/b$ . Examinando la bibliografía nos dimos cuenta de que una influencia de esa relación en fenómenos de compresión había sido predicha por A. P. Green (10-1) estudiando la característica de un material idealmente plástico a com-

presión. Encontramos un valor para la presión media de  $2 \sigma_{F1}$ , de acuerdo con Green, lo que dio un control de la buena concordancia de nuestros procedimientos experimentales.

La relación  $h/b$  cambia durante el ensayo; ello podría hacer necesario introducir un factor de corrección, pequeño en todo caso. Los experimentos realizados indican que la corrección es prácticamente despreciable siempre que inicialmente  $h/b = 0.6$ .

La peor relación es  $h/b = 0.8$ , y entonces la corrección necesaria no llega a 3.5 por ciento. Incluso así, queda absorbida en las fluctuaciones debidas a no homogeneidad del material.

La relación  $a/b$  debe exceder un valor crítico para que se cumplan las hipótesis de estado plano de deformación. Experimentalmente se encontró que dicha condición se cumple siempre que  $a/b > 4$ , pues entonces el material no deformado de los bordes de la placa ejerce una reacción tractora suficiente para conseguir estado plano. En materiales de bajo módulo de elasticidad la gran deformación hace que el material sea expedito hacia los bordes en la parte de lámina situada bajo los útiles de apriete, ocasionando así un aumento aparente del área de aplicación del esfuerzo; este efecto se hace mínimo para los valores mayores de la relación  $a/b$  y, desde luego, es inobservable en los metales.

En los ensayos clásicos generalmente efectuados no es tan fácil la medida de la deformación a lo largo de alguna porción de probeta que no haya sido afectada en cuanto a tensiones de trabajo ni por las sujeciones en los extremos ni por la aparición de zonas

de inestabilidad a tracción. En el caso que nos ocupa, nada más sencillo que medir el desplazamiento relativo de las dos platinas de la prensa, lo que se realiza cómodamente mediante sendos transductores de desplazamiento acoplados, ya sea de los que funcionan por desplazamiento de un núcleo dentro de bobina magnética, o bien por variación de capacidad eléctrica.

Frecuentemente se aplicó la carga total mediante su división en incrementos, tomándose lecturas de las deformaciones bajo cada incremento; así es fácil estudiar la influencia de la velocidad de deformación sobre las características resistentes, sin necesidad de observar realmente efectos dinámicos. Siguiendo este procedimiento no se necesita más instrumentación que unos extensómetros mecánicos (preferiblemente de los de lectura por aguja sobre escala circular) y el dispositivo indicador de carga aplicada a la prensa en cada etapa.

En algunos materiales aparecen grietas en dirección normal al eje de los útiles; son debidas a las tensiones residuales tras la deformación plástica sufrida por la lámina. En todo caso, las grietas se forman después de descargar la probeta y, por consiguiente, no afectan a la curva esfuerzo-deformación.

La figura 2 muestra una curva de compresión con deformación plana. En ordenadas se lleva la presión media,  $p = P/ab$ , y en abscisas la reducción en espesor de la lámina en la zona en contacto con las estampas. Supongamos que se efectúa un ensayo a partir de la deformación inicial B; el correspondiente punto de fluencia para el material supuesto rígido-plástico será el C. Prolongando el ensayo, en el punto D coincidirá la característica de este ensayo con la curva OA, envolvente de todas las curvas características con deformaciones iniciales arbitrarias. Extrapolando la curva AD hasta F, punto de deformación inicial para nuestro ensayo particular, tenemos definido el punto de fluencia. La rama DE de la curva se va obteniendo por incrementos sucesivos.

## 2. *Correlación del ensayo con otros sistemas de cargas*

Nos proponemos a continuación hallar la relación entre el comportamiento bajo el sistema de esfuerzo y de deformaciones aplicadas en este ensayo y el comportamiento del material bajo otras combinaciones de esfuerzos.

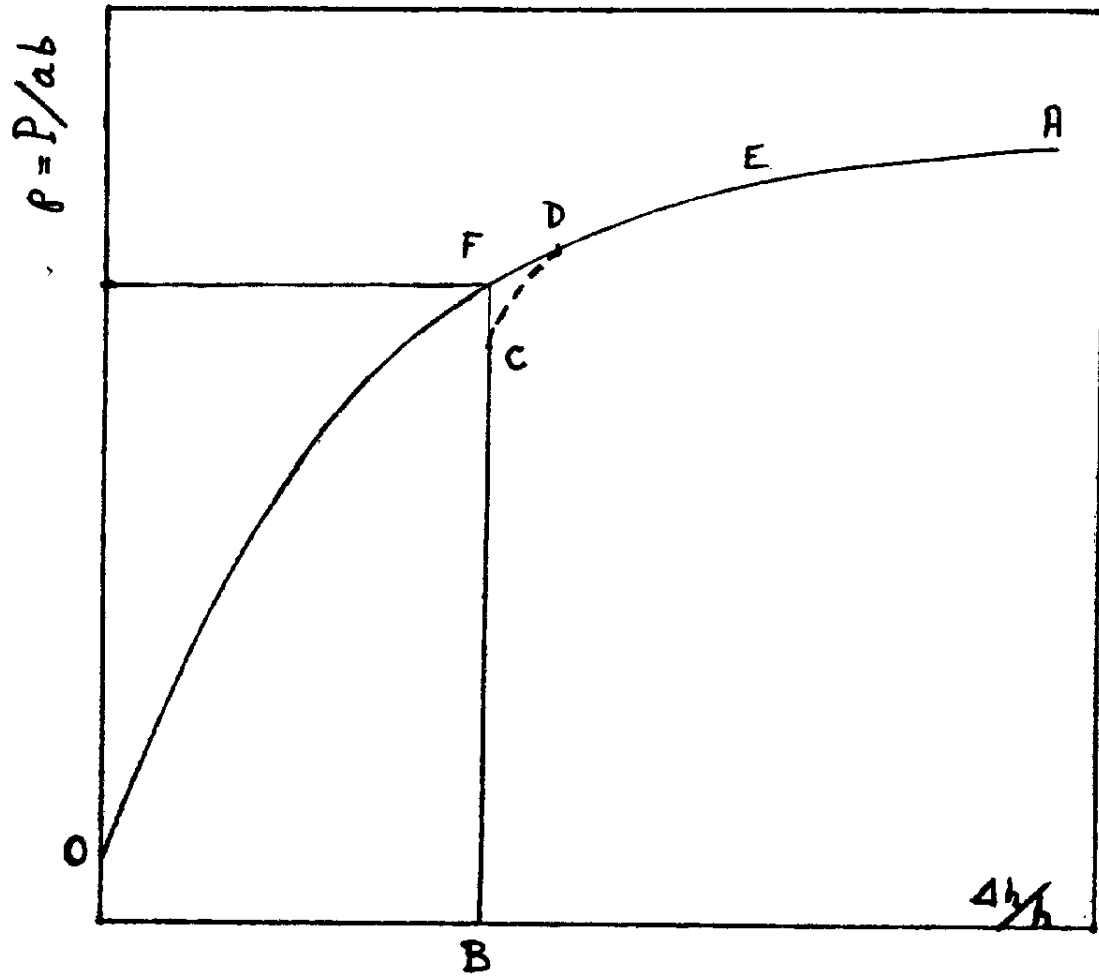


FIGURA 2

Parece natural utilizar los resultados de la teoría de la plasticidad, cuyas relaciones han sido bien comprobadas en la práctica y que ha encontrado confirmación en todas las aplicaciones al trabajo de metales por deformación (forja, laminado, ...). Tiene la ventaja sobre otras teorías de que se adapta perfectamente a grandes deformaciones, aún las no lineales.

Definiendo la deformación natural o logarítmica:

$$\epsilon = \ln (h/h_0) = \ln \lambda$$

e, introduciendo la constancia de volumen antes y después de la deformación plástica:

$$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$$

adoptamos el criterio de von Mises para la fluencia:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 6k$$

siendo  $k$  un parámetro dependiente de la historia de las deformaciones de la pieza e independiente de la componente hidrostática del sistema de esfuerzos.

Se admite, en adición, la existencia de una relación funcional única entre las dos funciones de tensión y de deformación:

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 \right]^{1/2} \dots [2-1]$$

$$\bar{d}\varepsilon = \frac{\sqrt{2}}{3} \left[ (d\varepsilon_1 - d\varepsilon_2)^2 + (d\varepsilon_2 - d\varepsilon_3)^2 + (d\varepsilon_1 - d\varepsilon_3)^2 \right]^{1/2} \dots [2-2]$$

siendo  $\bar{\sigma}$  y  $\bar{\varepsilon}$  una tensión y una deformación equivalente, cuya relación viene dada por las ecuaciones modificadas de Prandtl-Reuss:

$$d\varepsilon_1 = \frac{3}{2} \frac{d\varepsilon}{\sigma} \sigma'_1 = \frac{d\varepsilon}{\sigma} \left[ \sigma_1 - \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_2) \right] \dots [2-3]$$

y las dos siguientes, en rotación de sub-índices, para las otras dos deformaciones principales.

### 3. *Correlación con estado plano de deformación*

Sea  $\sigma_1$  la tensión aplicada por las platinas en su superficie en contacto con la lámina. La tensión normal al eje de las mismas puede considerarse nula, según Green. El material de la lámina queda, además, impedido de fluir según la dirección longitudinal de las platinas, por lo cual  $d\varepsilon_2 = 0$ . De la segunda ecuación [2-3] se obtiene:  $\sigma_2 = \sigma_1/2$ .

Si la ecuación [2-2] se pone en función de las componentes generales de deformación, en lugar de aparecer como más arriba en función de las componentes principales  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ , queda reducida a:  $d\varepsilon_3 = -d\varepsilon_1 = dh/h$ .



Volviendo con estos valores a las [2-1] y [2-2] quedan:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{3} \sigma_1/2. \\ \varepsilon &= 2\varepsilon_1/\sqrt{3} = (2/\sqrt{3}) \ln (h/h_0)\end{aligned}$$

#### 4. Correlación con tracción pura

Para este ensayo tan corriente, idealmente se tiene:

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \sigma_3 = 0. \text{ Por consiguiente, en las [2-3],} \\ d\varepsilon_2 &= d\varepsilon_3 = -d\varepsilon_1/2\end{aligned}$$

$$\text{En este caso, } \sigma = \sigma_1 \text{ y } \varepsilon = \varepsilon_1 = \ln (l/l_0) = \ln \lambda$$

Convirtiendo las tensiones y deformaciones naturales a las de ingeniería o usuales:

$$\begin{aligned}\sigma_i &= \sigma/\lambda_1 \\ \varepsilon_i &= \Delta l/l_0 = \lambda_1 - 1\end{aligned}$$

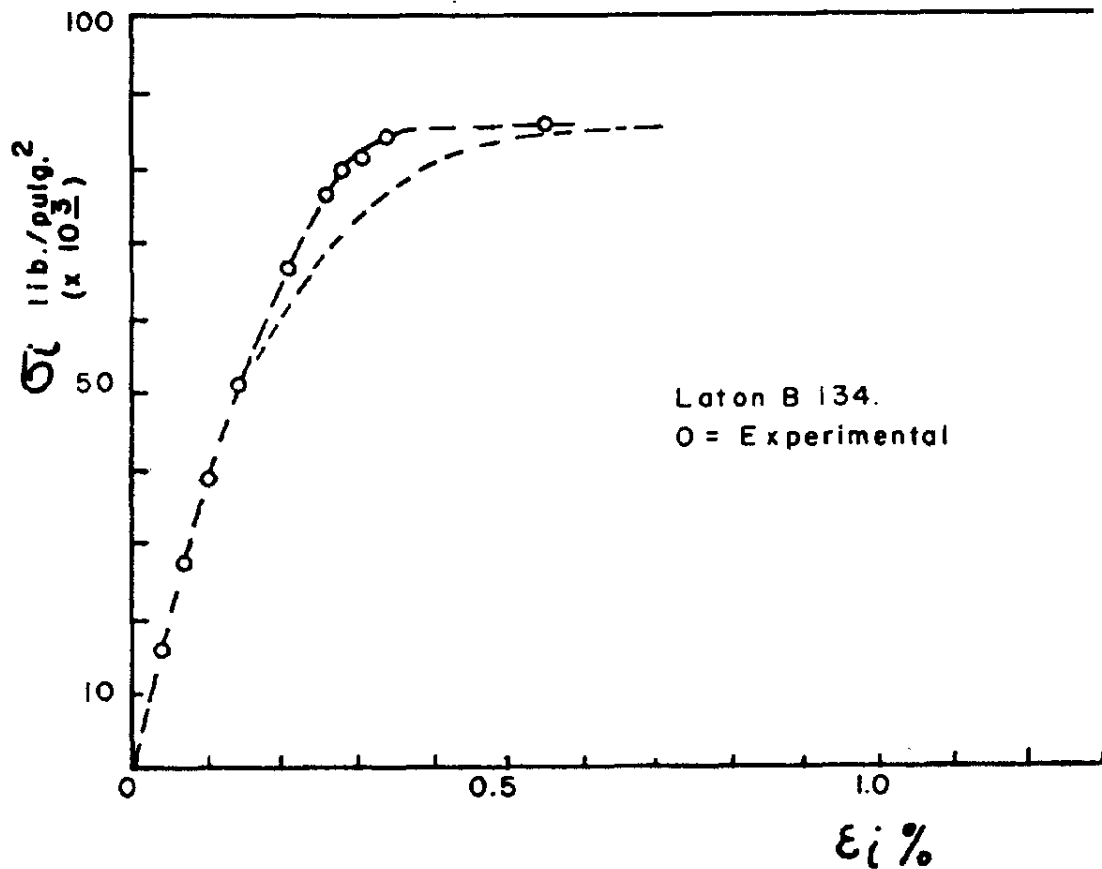


FIGURA 3

La figura 3 indica la correlación experimental obtenida, considerada como excelente hasta alcanzar la tensión de deformación permanente; la divergencia notada a partir de ahí es debida a la aparición de efectos de inestabilidad (cuello) o en el ensayo a tracción clásico.

5. *Cilindro de pared delgada a presión interna*

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= pD/4e, \text{ longitudinal} \\ \sigma_2 &= pD/2e, \text{ tangencial} \end{aligned}$$

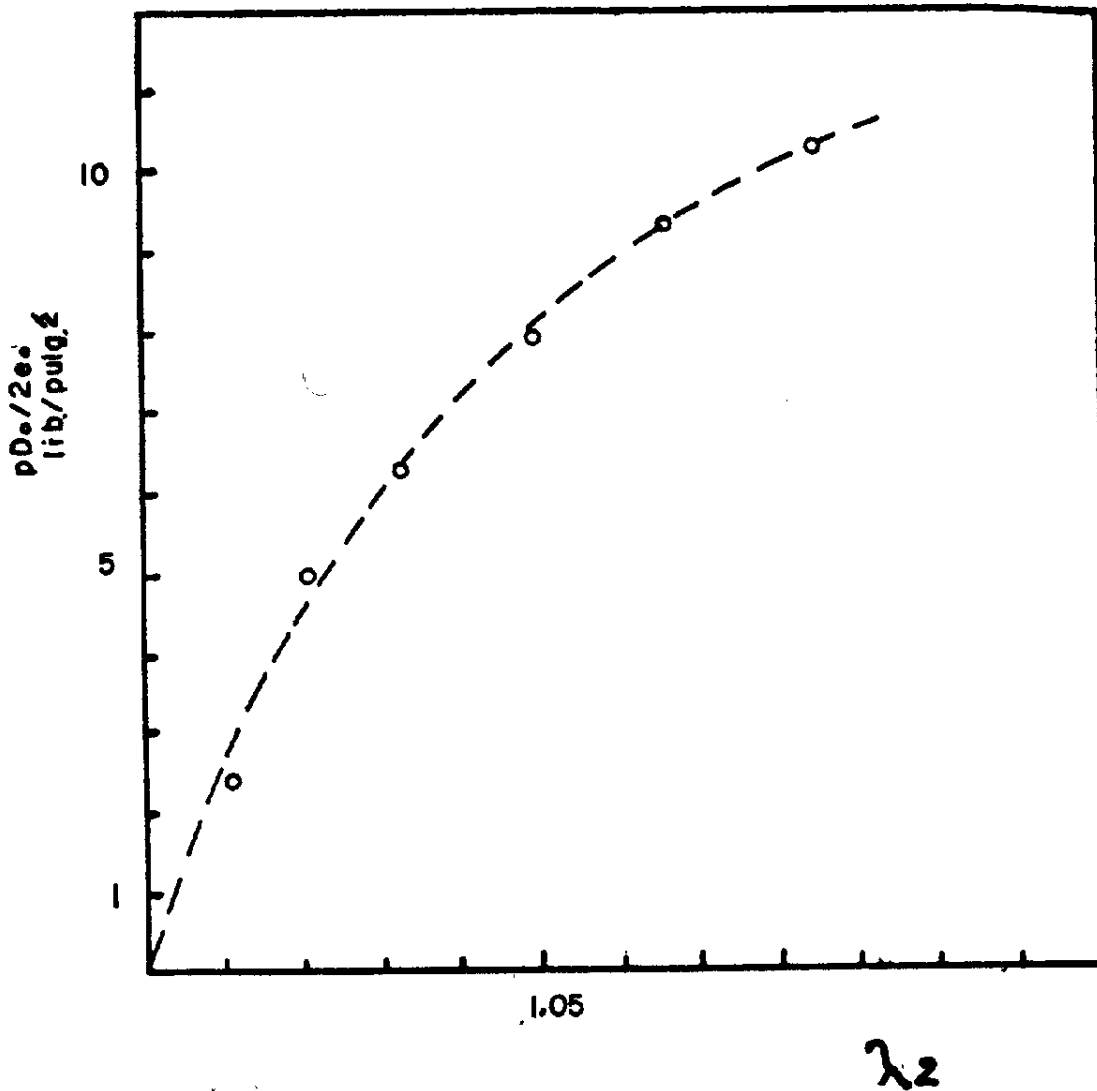


FIGURA 4

Por consiguiente:

$$\varepsilon = (2/\sqrt{3}) \ln \lambda_2 = (2/\sqrt{3}) \ln (D/D_0) \quad \dots [5-1]$$

Y las [2-3] dan:

$$(pD_0/2e_0) = (2/\sqrt{3}) (\sigma/\lambda_2^2) \quad \dots [5-2]$$

De la curva tensión-deformación se obtienen parejas de valores  $\sigma$  y  $\lambda_2$  auxiliándose de la [5-1]. Entonces, la [5-2] permite obtener su primer miembro. Este se toma como ordenada en la figura 4 que muestra una excelente correlación entre los valores computados y los experimentales.

#### 6. *Correlación con estado plano de tensión*

Un modo aproximado de realizar un estado radial de tensión plana consiste en someter una membrana circular a la acción de presión lateral, p. Figura 5. Aunque la verdadera forma que adopte

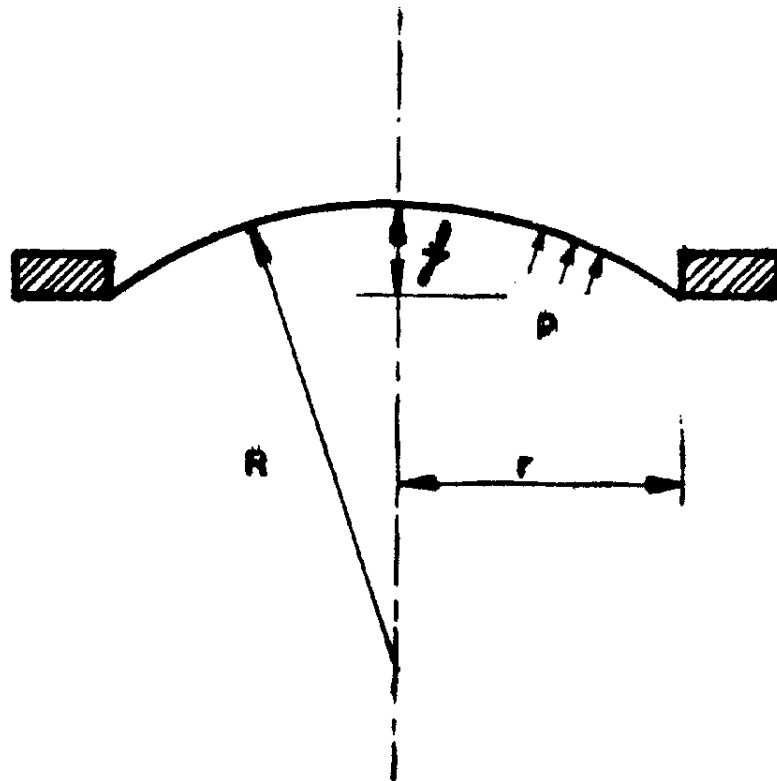


FIGURA 5

la membrana depende de la característica: tensión-deformación de su material, es prácticamente exacto para grandes flechas  $f$  suponerla de casquete esférico.

La tensión radial vale entonces:

$$\sigma_r = pR/2e$$

La tensión tangencial debe valer lo mismo, por simetría. Para membrana delgada la tensión según  $R$  es despreciable. Resulta así que el producto  $(\sigma_r \cdot e)$  es constante para una presión dada. Si, en adición, admitimos la  $e$  constante, independientemente de la deformación, también  $\sigma_r$  es constante sin importar el tipo de característica mecánica del material.

De nuestra hipótesis, y de la igualdad  $\sigma_r = \sigma_t$ , resulta  $d\varepsilon_r = d\varepsilon_t$  y de aquí  $\lambda_r = \lambda_t$ . Así pues:

$$\lambda_r^2 = \frac{2 \eta Rf}{\eta l^2}$$

En el arco de círculo:  $R = (f^2 + r^2) / 2f$

Sustituyendo en la anterior:  $\lambda_r^2 = 1 + (f^2/r^2)$

Por la constancia de volumen en la deformación:

$$\frac{e}{e_0} = \frac{1}{1 + (f^2/r^2)}$$

Llevando estos valores a la  $\sigma_r$  queda:

$$\sigma_r = \frac{pr}{4e_0} = \frac{[1 + (f/r)^2]^2}{f/r}$$

Para tensión biáxica,  $\sigma_r = \sigma_t$ ,  $\sigma_r = 0$ , queda

$$\frac{pr}{4e_0} = \frac{f/r}{[1 + (f/r)^2]^2}$$

$$\varepsilon = \ln [1 + (f/r)^2]^2$$

Esta pareja de expresiones se maneja como en el caso 5 y se pueden dibujar los valores computados y los experimentales. Figura 6. La correlación, es, si cabe, mejor aquí.

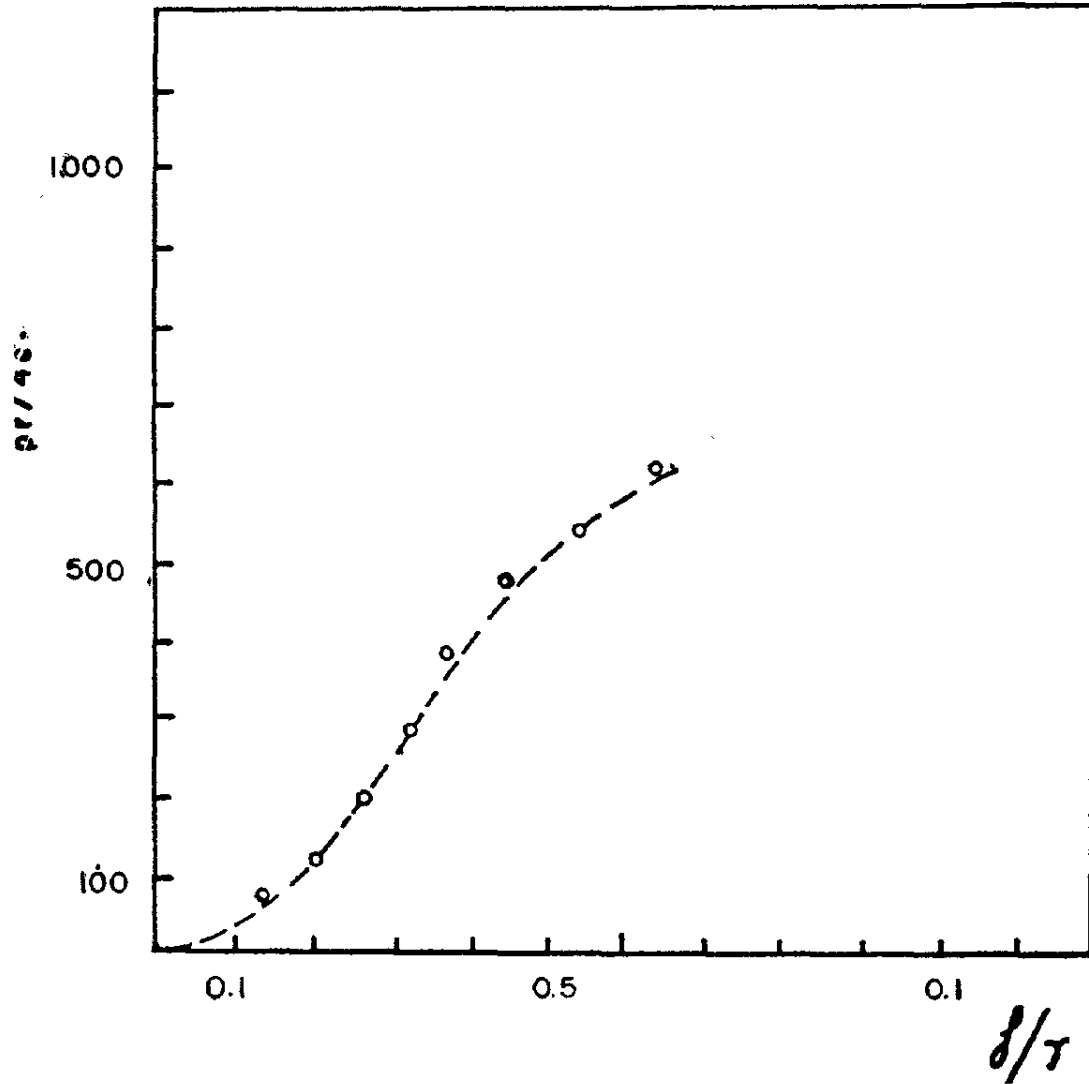


FIGURA 6

### 7. Torsión de cilindros macizos

Es muy útil buscar una correlación entre este tipo de ensayo y el que nos ocupa.

Descomponemos el problema, considerando primeramente la tor-

si3n de un tubo cil3ndrico circular de paredes delgadas. Con la notaci3n de la figura 7, se tiene:

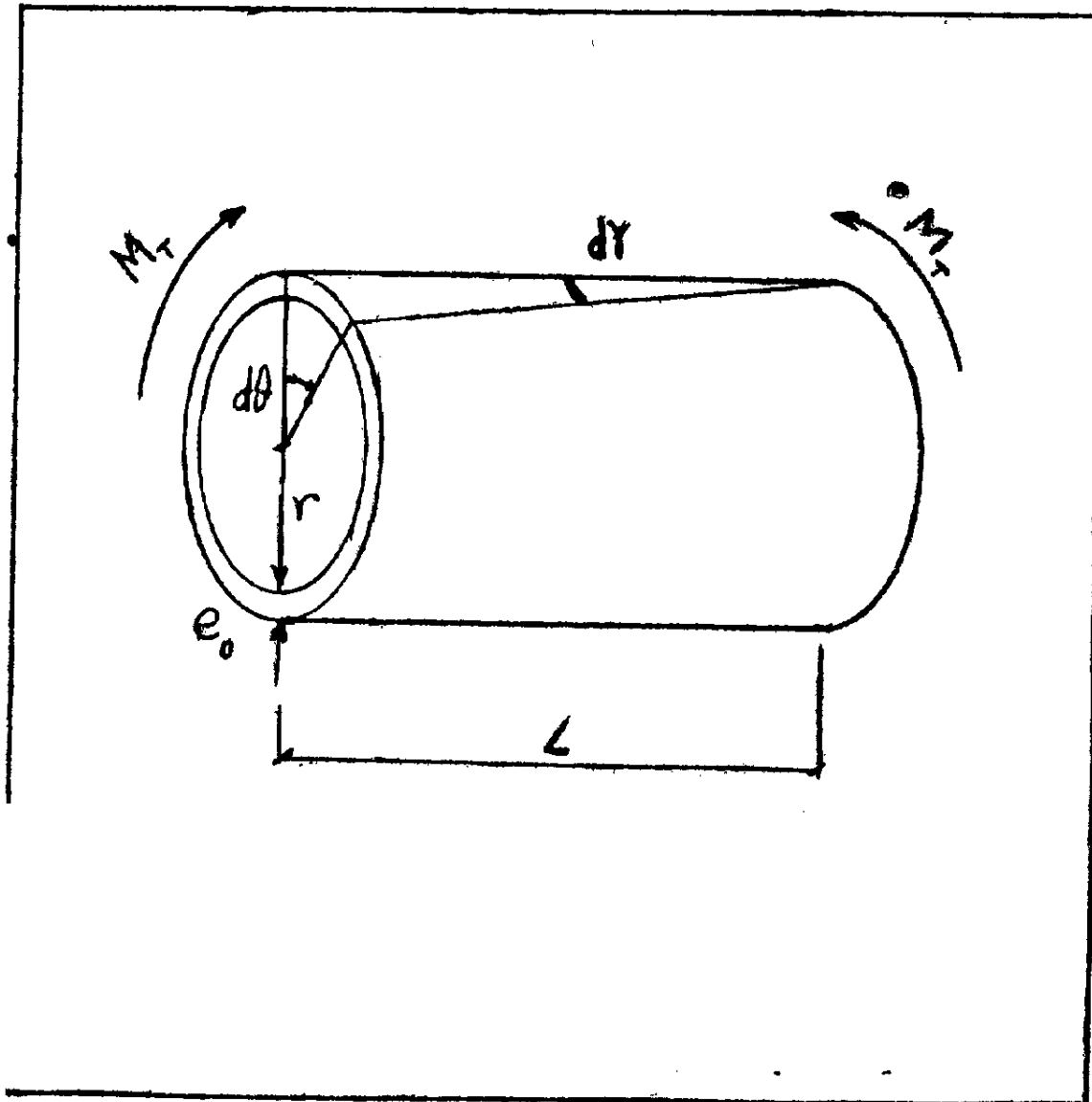


FIGURA 7

$$\begin{aligned} M_t &= 2\eta r^2 e_r & dr &= r \cdot d\theta / L. \\ \epsilon &= 2\gamma / \sqrt{3} = 2r\theta / L \cdot \sqrt{3} \\ M_t &= 2\eta r^2 e\sigma / \sqrt{3} \end{aligned}$$

Considerando ahora el cilindro macizo de radio externo  $R$  como la combinaci3n de tubos delgados conc3ntricos,

A continuación, se efectuó el cálculo de los valores  $\varepsilon$  para espesores  $\Delta e = 0.1 R$ . De aquí, se pudo calcular  $\sigma = \sqrt{3} \tau$ , cuyos valores se llevaron a la expresión  $M_t$ , obtuvimos, así, los sucesivos incrementos del par torsor, pudiendo representar en la figura 8 la

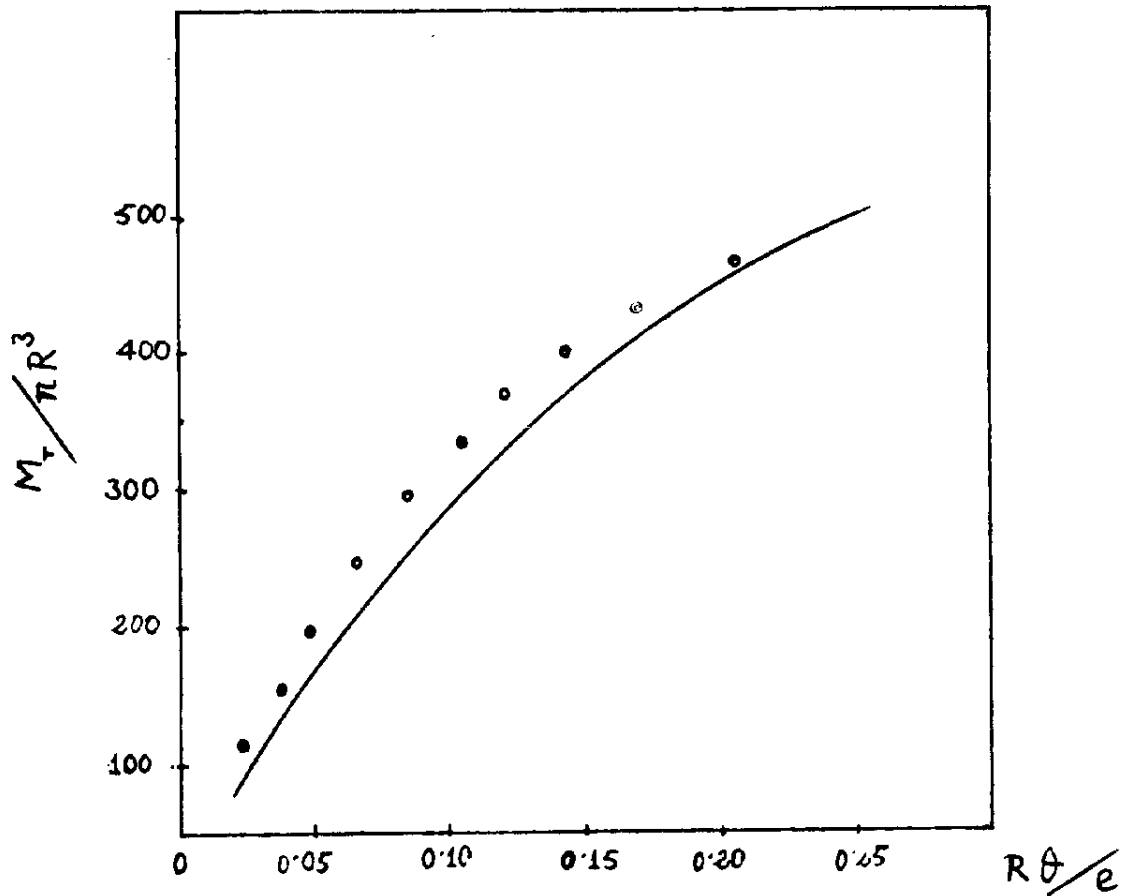


FIGURA 8

relación entre  $M_t/\eta R^3$  y  $R\theta/e$ . Allí aparece en comparación con resultados experimentales. En este caso se observa una discrepancia sistemática que suponemos debida a la introducción de alguna flexión durante el ensayo de torsión; por otra parte, creemos necesario refinar el análisis teórico para poder introducir el efecto de la desigual contribución de los tubos cilíndricos más externos sobre la de los centrales en lo que se refiere a absorción de tensiones cortantes.

Sin embargo, este último refinamiento teórico no tiene objeto

verificarlo sin la disponibilidad del refinamiento experimental que hemos indicado; por lo cual queda aquí indicado y se aplaza su experimentación hasta la próxima ocasión de trabajar con equipo experimental completo.

### 8. *Correlación con aparición de inestabilidad*

Los cálculos de la aparición de inestabilidad bajo determinadas condiciones de carga constituye una de las máspreciadas posibilidades de cualquier tipo de ensayo mecánico. Recordemos que, tanto la aparición de huso o cuello en el ensayo a tracción, como la aparición de modos de energía mínima en el caso de piezas prismáticas o superficies delgadas sometidas a compresión, corresponde a interesantes casos de inestabilidad.

Quisimos comprobar la correlación entre las predicciones dadas por el ensayo o compresión de lámina delgada y la medición directa. Elegimos para ello el interesante caso de la inestabilidad de un cilindro de paredes gruesas bajo presión interna.

De las ecuaciones [5-1] y [5-2] obtenemos la condición de inestabilidad que corresponderá a la máxima carga (presión interna) soportada, derivando con respecto al parámetro de deformación natural,  $\lambda = l/l_0$ , e igualando a cero:

$$\frac{d\sigma}{d\lambda} = \frac{2\sigma}{\lambda}$$

$$\frac{d\varepsilon}{d\lambda} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{1}{\lambda} \frac{d\sigma}{d\sigma}$$

Por consiguiente:  $\frac{d\varepsilon}{d\sigma} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\sigma}{\lambda}$

Esta relación nos permite sustituir en las [5-1] y [5-2] y obtener el valor de  $p$  máxima o de inestabilidad.

De modo análogo al caso anterior, consideramos el cilindro grue-



so como formado por un número finito pero elevado de cilindros delgados concéntricos. Así podemos representar la relación entre la  $p$  de inestabilidad y la relación

$$m = \frac{\text{Diámetro externo}}{\text{Diámetro interno}}$$

en el caso de predicción teórica y en el caso de experimentos directos.

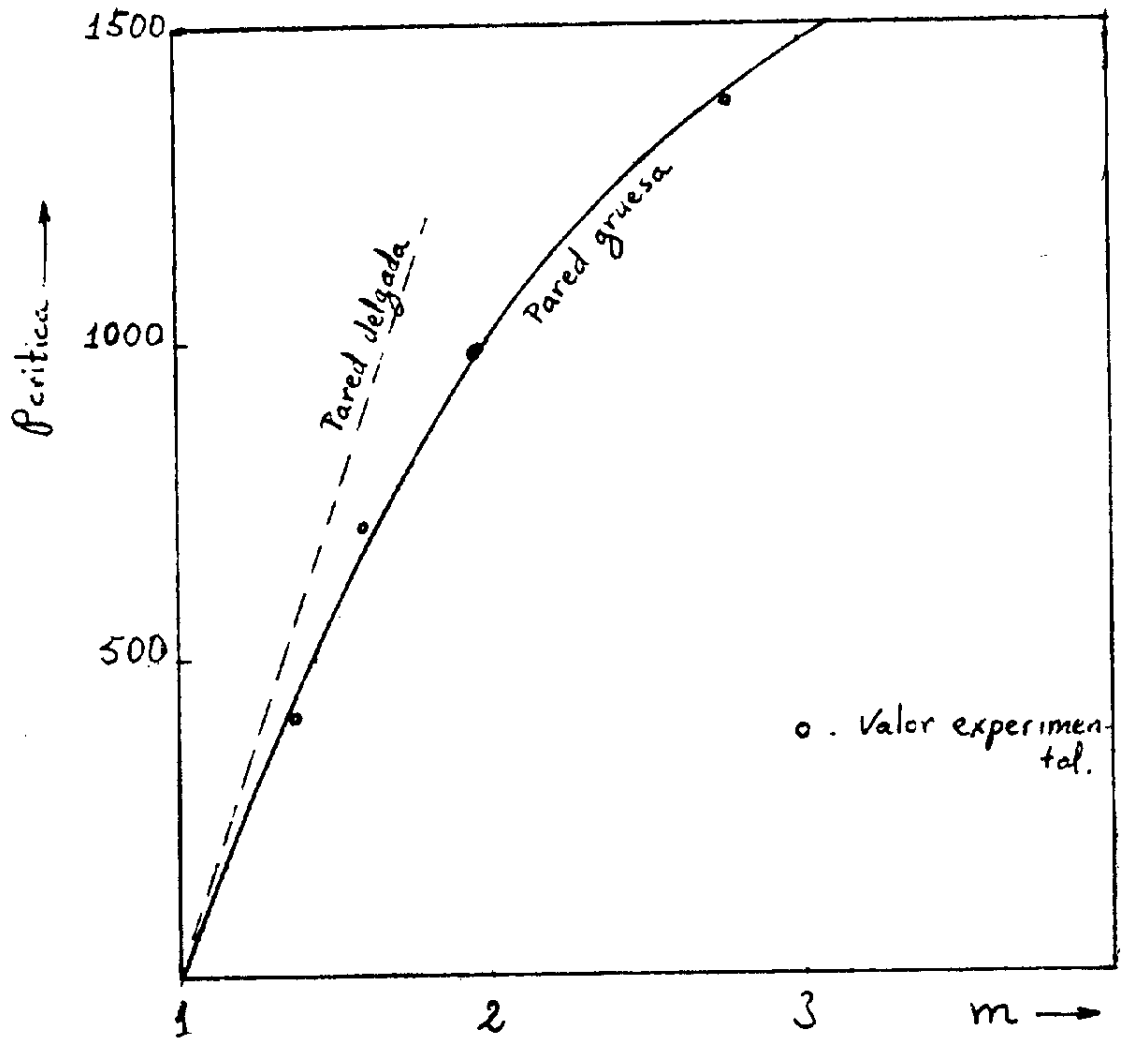


FIGURA 9

En la figura 9 aparece la correlación que se considera como excelente.

### 9. Conclusión

Los resultados experimentales muestran una extraordinaria correlación entre las predicciones de comportamiento mecánico de materiales sometidos a ensayo mediante compresión plana de su lámina en las condiciones que se señalan, y, por otra parte, los ensayos clásicos a tensiones directas o combinadas.

La correlación es muy buena en los casos de tracción pura; de esfuerzos biáxicos en el caso de pared de cilindro delgado; de esfuerzo biáxico en el caso de membrana en casquete esférico sometida a presión interna; de predicción de inestabilidad en cilindro grueso a presión interna. La correlación es relativamente buena en el caso de torsión de cilindro macizo y se espera poder eliminar algunos efectos parásitos en este último caso para lograr completa correlación.

Dadas las ventajas y simplificación que el tipo de ensayo que nos ocupa presenta sobre los tradicionales, es de esperar una extensión rápida del procedimiento.

### 10. Referencias

Green A. P.: *A. Theoretical Investigation of the compression of Ductile Material Between Smooth Flat Dies.*

Phil. Mag. 7 - 42. 900.

Montilla, A.: *Cálculo de Recipientes Zunchados a la Carga Última.* Rev. ION, Nov. 1963.

Shield, R. T.: *On the Plastic Flow of Metals Under Conditions of Axial Symmetry.* Proc. Roy. Soc. A. 233.

Watts and Ford: *An experimental Investigation of the Yielding of Strip Between Smooth Dies.* Proc. Inst. Engrs. 169, 1141.

### S U M A R Y

The testing of Materials by plane compression of their sheet specimens has great advantages for obtaining mechanical charac-

teristics, due to the absence of instability phenomena (necking) which appear when conventional tensile tests are used on ductile materials. By means of plasticity theory correlation is worked out with some important practical cases of different loading systems. In all the cases, the computed and experimental results show a highly satisfactory correlation.

(Véase copia N° 1)

Vista del dispositivo utilizado para los experimentos.