

PROPIEDADES MECANICAS DEL Zry - 4. FACILIDADES DE ENSAYO Y SU DETERMINACION

BORDONI R., FALCONE J.M., GIORGIS M.A., HELBING, SAPIA H.  
C.N.E.A., Departamento Combustibles Nucleares.

El diseño del elemento combustible (E.C) de la C.N.A. incluye especificaciones de recepción de tubos de Zry-4 para vainas. Entre los requerimientos de estas especificaciones se encuentran: las determinaciones de la deformación simétrica a 20 mm de la fractura en los ensayos de explosión, la deformación circunferencial uniforme en ensayos de creep por presión interna y la determinación del factor de orientación de hidruros.

La obtención de las propiedades mecánicas de los tubos, como ser la determinación de  $\bar{V} = \bar{V}(\bar{\epsilon})$  en el ensayo de explosión,  $\epsilon = \epsilon(t)$  en el ensayo de creep por presión interna, etc. y como se modifican éstas con distintos parámetros (como ser temperatura, textura, contenido de hidrógeno, etc.) es de gran utilidad en el diseño y en los códigos de comportamiento del E.C.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se ha desarrollado el equipo de explosión ME-2, el de creep por presión interna MC-1, y el de hidruración MH-1, que fueron descritos en trabajos anteriores (1, 2, 3). En las fotos de las figuras 1, 2, 3 pueden observarse estos equipos. También se realizaron los ensayos de recepción para cuatro lotes de tubos para vainas, el XC-1, XC-2, XC-3 y XC-4, cuyos resultados se presentan en trabajos anteriores (4, 5, 6, 7).

Paralelamente a estos ensayos de recepción se estudió la influencia de algunos parámetros sobre los resultados en el ensayo de explosión y se puso a punto un método para obtener la curva  $\bar{V} = \bar{V}(\bar{\epsilon})$  en este ensayo realizado a temperatura distinta de la ambiente. Se describirá a continuación dicho método.

MEDICION Y PREPARACION DE LAS PROBETAS

Las probetas se han preparado mediante la técnica descrita en un trabajo anterior(2). Para la determinación del espesor medio, se midieron el diámetro exterior y el interior cada 15 mm a lo largo de la probeta y tomando cuatro mediciones a 45° una respecto de la otra en cada punto. Estas mediciones se realizaron para el diámetro exterior con un micrómetro coprador Mhar y las interiores con un sensor neumático Sheffield. Ambos instrumentos tienen una apreciación de 1µm.

DETERMINACION DE  $\bar{V}$  Y  $\bar{\epsilon}$

Para la determinación de la deformación plástica efectiva verdadera  $\bar{\epsilon}$  es necesario poder medir la deformación plástica axial verdadera  $\epsilon_z$  y la tangencial  $\epsilon_\theta$  obteniendo la radial  $\epsilon_r$  por la conservación de volumen en el rango plástico.

$$\epsilon_\theta + \epsilon_z + \epsilon_r = 0$$

Se puede determinar la deformación  $\epsilon_z$  promedio realizando marcas perpendiculares al eje de simetría de la probeta (la distancia entre ellas es de aproximadamente 30 mm) y luego midiendo la separación entre dos consecutivas a lo largo de tres generatrices separadas unos  $120^\circ$  una de la otra. Estas mediciones se realizaron con un microscopio, con una aproximación de 0,01mm.

La deformación  $\epsilon_\theta$  promedio se la determinó de la medición de los diámetros exteriores.

La tensión tangencial verdadera se obtiene de la expresión:

$$\bar{v}_\theta = \frac{p \cdot r_0}{t_0} \cdot e^{2\epsilon_\theta + \epsilon_z} \quad \text{II}$$

donde  $p$  es la presión a la cual se mide la deformación,  $r_0$  es el radio inicial de la probeta y  $t_0$  el espesor inicial de la probeta.

La tensión efectiva resulta de tener en cuenta que en los ensayos de explosión a extremos cerrados, realizados en tubos de pared delgada  $\bar{v}_z = \bar{v}_\theta / 2$  y que  $\bar{v}_r = 0$  o sea

$$\bar{v} = 0,866 \bar{v}_\theta \quad \text{III}$$

### PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Se conecta la probeta al circuito de presión del equipo ME-2, y se la introduce dentro del horno esperando 45 minutos para que se estabilice a la temperatura deseada, en nuestro caso  $400 \pm 3^\circ \text{C}$ , luego se comienza a presurizar la probeta con una velocidad  $\dot{p} = 50 \text{ Kg. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$  hasta que alcance un valor preestablecido y se despresuriza. Se mide el diámetro exterior y la distancia entre las marcas perpendiculares al eje de simetría. Las deformaciones  $\epsilon_z$  y  $\epsilon_\theta$  se calculan con la expresión IV y V respectivamente, de la expresión I se obtiene  $\epsilon_r$  y finalmente la deformación plástica efectiva verdadera se calcula de la expresión VI.

$$\epsilon_z = \ln \frac{z}{z_0} \quad \text{IV}$$

$$\epsilon_\theta = \ln \frac{d}{d_0} \quad \text{V}$$

$$\bar{\epsilon} = \frac{\sqrt{2}}{3} \left[ (\epsilon_\theta - \epsilon_z)^2 + (\epsilon_z - \epsilon_r)^2 + (\epsilon_r - \epsilon_\theta)^2 \right]^{1/2} \quad \text{VI}$$

donde  $z$  es el valor promedio entre marcas luego de la carga,  $z_0$  es el valor inicial promedio de la distancia entre marcas,  $d$  es el valor promedio del diámetro exterior luego de la carga, y  $d_0$  es el valor inicial promedio del diámetro exterior.

También se puede determinar la tensión tangencial verdadera a través de la fórmula II y la tensión efectiva verdadera de la fórmula III. Repitiendo sucesivamente este procedimiento, para valores de la presión cada vez mayores se obtiene la curva tensión efectiva verdadera vs. deformación efectiva verdadera.

### RESULTADOS

Utilizando este procedimiento se ensayaron tres probetas, suponiendo que el comportamiento de este material es del tipo  $\bar{V} = K \bar{E}^n$ , se graficó en papel logarítmico los valores de  $\bar{V}$  y  $\bar{E}$ , figura 4. En este grafico puede observarse que en realidad el material presenta dos comportamientos distintos dependiendo del nivel de deformación, que se denominará zona I,  $0 \leq \bar{E} \leq 3 \times 10^{-3}$  y zona II,  $3 \times 10^{-3} \leq \bar{E}$ .

Utilizando cuadrados mínimos se obtuvieron las constantes  $K$  y  $n$ , para ambas zonas, valores que se observan en la tabla I. En el grafico se trazaron las rectas obtenidas por este método.

TABLA I

Ensayos de explosión a extremos cerrados			
Valores de las constantes $K$ y $n$			
Temperatura de ensayo $400 \pm 3^\circ\text{C}$ $\dot{p} = 50 \text{ Kg. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$			
	$K$ $\text{Kg. mm}^{-2}$	$n$	$r^*$
Zona I	438,3	0,433	0,976
Zona II	49,6	0,0612	0,982

$r^*$  coeficiente de regresión.

En la figura 5 se observan los puntos experimentales de  $\bar{V}$  y  $\bar{E}$  las curvas graficadas se obtuvieron utilizando los valores de  $k$  y  $n$  de la Tabla I.

Para asegurar que no se han cometido errores debido al método utilizado se ha ensayado una cuarta probeta, la cual fue cargada una única vez llevándola hasta una tensión efectiva verdadera de  $37,21 \text{ Kg. mm}^{-2}$  y una deformación efectiva verdadera de  $0,0082$ . El punto así obtenido ajusta perfectamente en el rango de dispersión de los puntos obtenidos por el método arriba indicado. Este puede observarse en ambos gráficos.

También se obtuvo la tensión efectiva que produce una deformación plástica efectiva del 2%,  $\bar{V}_{0,2}$ , la tensión final de rotura (T. F. R.) la deformación

circunferencial simétrica  $\delta_{cs}$  a 20mm, 30mm, 40mm de la fractura y la deformación circunferencial total.  $\delta_{ct}$ . La descripción del método para medir estos parámetros se puede encontrar en (2, 3). En la Tabla II se encuentran los valores hallados para estos parámetros.

TABLA II

Ensayos de explosión a extremos cerrados Propiedades mecánicas Temperatura de ensayo $400 \pm 3^\circ\text{C}$ $\dot{p} = 50\text{Kg. cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$						
Probeta	$\sqrt{Q_2}^*$	TFR	$\delta_{cs}$			$\delta_{ct}$
	Kg. mm	Kg. mm	20mm	30mm	40mm	
E-24	29,72	42,71	5,24	-	-	11,37
E-26	29,72	43,16	4,50	3,78	3,23	9,58
E-29	29,72	41,47	4,40	3,68	-	12,17

(\*) Se obtuvo el valor promedio de las tres probetas.

### CONCLUSIONES

El desarrollo y puesta a punto de los equipos anteriormente mencionados han permitido realizar los ensayos correspondientes de recepción de tubos para vainas, además permitirán la obtención de propiedades mecánicas para diseño y un conocimiento más detallado del comportamiento de dichos tubos.

El método anteriormente descrito ha sido utilizado con éxito en la determinación de  $\bar{v} = \bar{v}(\epsilon)$  permitiendo la obtención de parámetros útiles como los que figuran en la Tabla II.

Por otro lado si se tiene en cuenta los resultados de los coeficientes de regresión, estos indican un buen ajuste de las rectas obtenidas por cuadrados mínimos de las cuales se obtienen los coeficientes de endurecimiento  $n$ , para las dos zonas de deformación. Esto podría indicar la presencia de dos mecanismos de deformación distintos. Para poder confirmar esta hipótesis es necesario un mayor número de experiencias en las cuales se está trabajando.

### BIBLIOGRAFIA

- 1) CASARIO J.A., BORDONI R., SAPIA H.C. "Determinación de ductilidad biaxial en vainas de zircaloy mediante ensayos de explosión" VI Reunión

científica organizada por A.A.T.N. Córdoba, 1977.

- 2) BORDONI R., CASARIO J.C., FALCONE J.M., GIORGIS M.A., SAPIA H.C. "Desarrollo de equipo de explosión y creep por presión interna para tubos. Determinación de ductilidad biaxial y resistencia al creep biaxial". V Conferencia interamericana en tecnología de materiales Brasil 1978.
- 3) BORDONI R., CASARIO J.A., FALCONE J.M., GIORGIS M.A., SAPIA H.C. "Desarrollo, construcción y puesta a punto de un equipo de explosión por presión interna para tubos" Informe interno Nro. 38-2/78 -G del Departamento Combustibles Nucleares, agosto 1978.
- 4) CASARIO J.A., BORDONI R., SAPIA H.C. "Ensayos mecánicos de vainas, Lote XC-1" Informe de ensayo Nro. 01/77 del Departamento Combustibles Nucleares, diciembre 1977.
- 5) CASARIO J.A., BORDONI R., SAPIA H.C., "Ensayos mecánicos de vainas, Lote XC-2" Informe de ensayo Nro. 02/77 del Departamento Combustibles Nucleares, diciembre 1977.
- 6) BORDONI., FALCONE J.M., GIORGIS M.A., SAPIA H.C. "Ensayos mecánicos de vainas, Lote XC-3" Informe de ensayo Nro. 01/78 del Departamento Combustibles Nucleares, setiembre 1978.
- 7) BORDONI R., FALCONE J.M., GIORGIS M.A., SAPIA H.C., "Ensayos mecánicos en vainas, Lote XC-4" Informe de ensayo Nro. 02/78 del Departamento Combustibles Nucleares, octubre 1978.

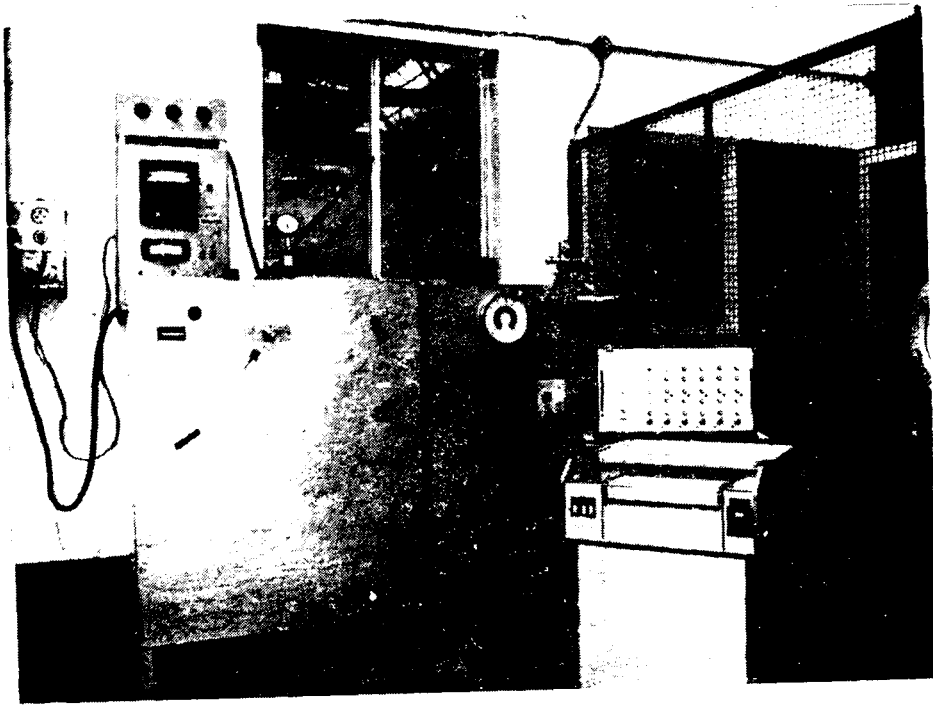


Figura 1: Equipo de Explosión ME-2

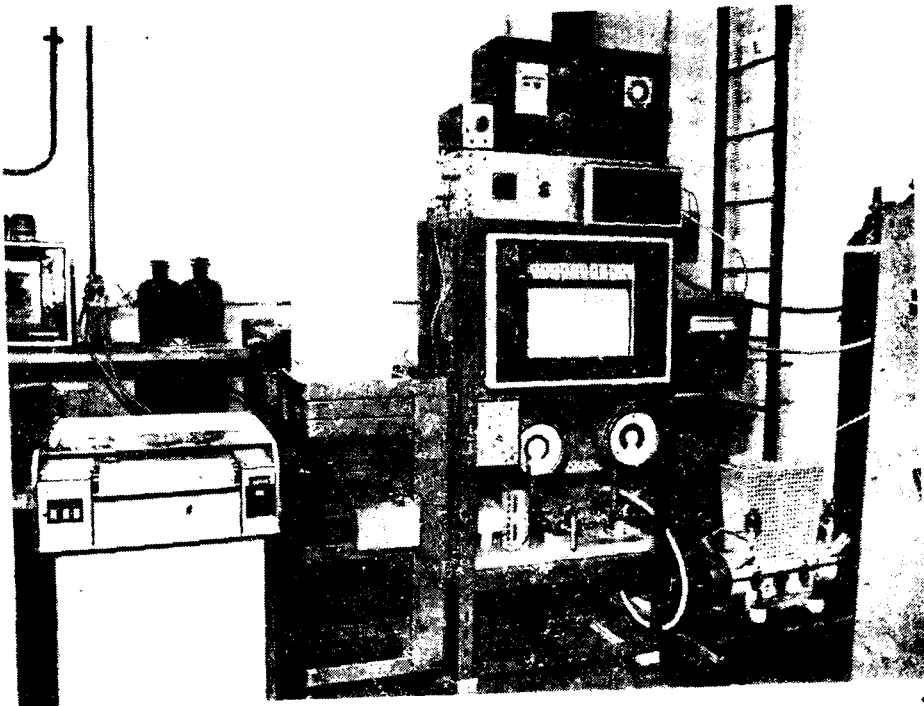


Figura 2: Equipo de Creep MC-1

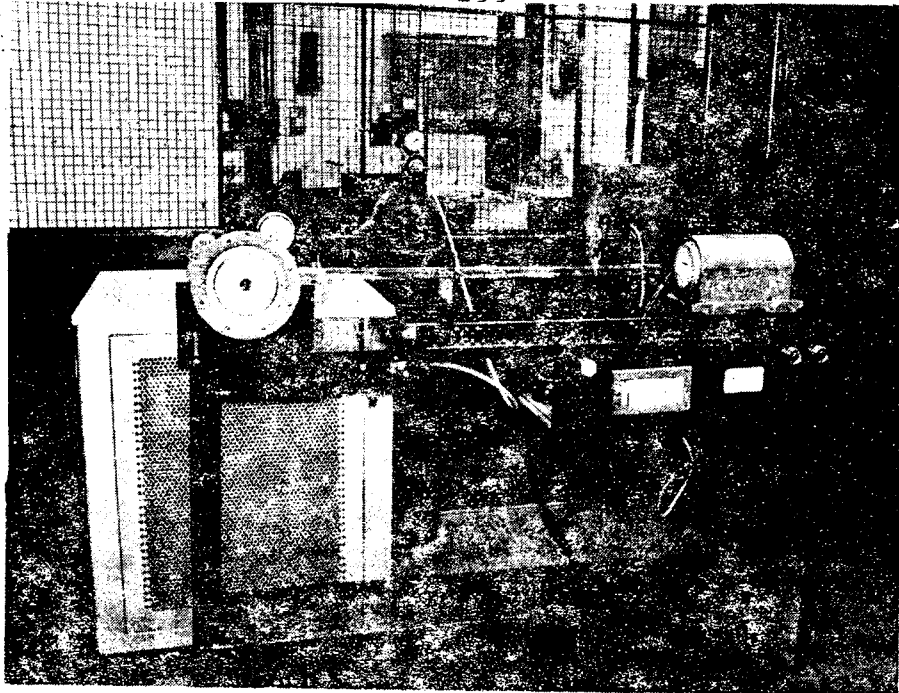


Figura 3: Equipo de Hidruración MH-1

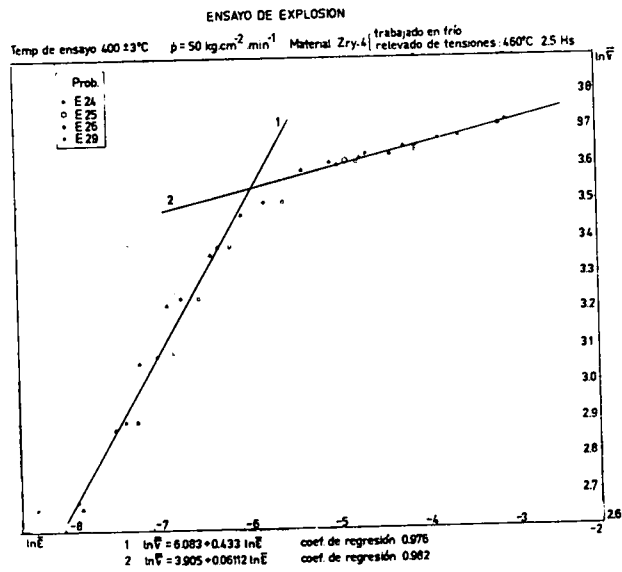


Figura 4: Resultados experimentales, gráfico ln - ln, de la tensión efectiva verdadera vs la deformación efectiva plástica verdadera. Probeta E-24 cargada una sola vez.

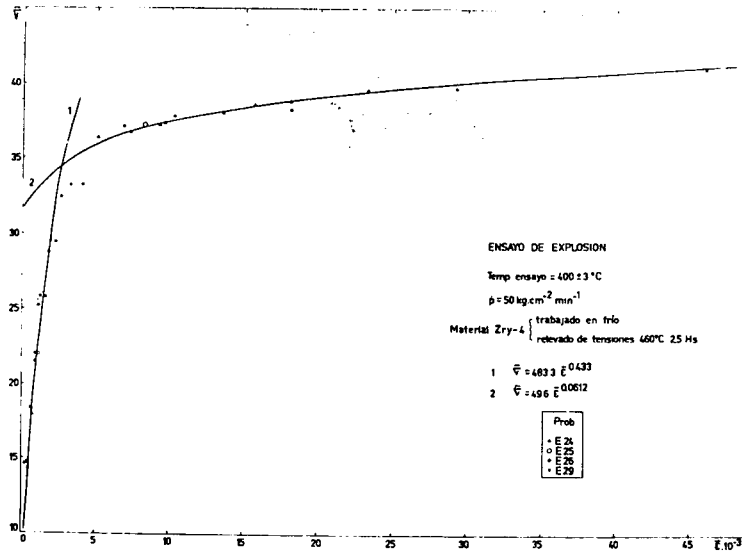


Figura 5: Resultados experimentales, gráfico de tensión efectiva verdadera vs deformación efectiva plástica verdadera. Probeta E-24 cargada una sola vez.