

Diseño de un Equipo para Ensayos de Termofluencia de Tensión Constante

René Molina¹, Gabriel González¹, Lucio Iurman^{1,2} y Lilián Moro¹

¹Departamento de Mecánica - Facultad Regional Bahía Blanca
Universidad Tecnológica Nacional - 11 de abril 332 - (8000) Bahía Blanca, Argentina.

²Laboratorio de Metalurgia - Departamento de Ingeniería
Universidad Nacional del Sur - Av. Alem 1253 - (8000) Bahía Blanca, Argentina
e-mail: lmoro@frbb.utn.edu.ar

Resumen - El fenómeno de termofluencia se presenta en materiales que son sometidos a estados de tensión y temperatura constantes durante largo períodos de tiempo.

La caracterización de este fenómeno se debe efectuar con máquinas de ensayos apropiadas, las cuales suelen ser de tecnología dependiente de patentes costosas. Para subsanar esta limitación se presenta como una alternativa: efectuar el desarrollo del equipo con tecnología propia, evitando la erogación de dinero que representa adquirir uno similar de marcas registradas.

En este trabajo se presenta el diseño de un equipo construido en la Facultad Regional Bahía Blanca (UTN) para realizar ensayos de creep por tracción a tensión constante. El criterio propuesto no sólo favorece el desarrollo de una tecnología propia, sino que además su diseño posee numerosas ventajas respecto a los otros presentes en el mercado y/o sugeridos en la literatura tecnológica actual.

Palabras clave - Termofluencia, ensayo por tracción, diseño, estado de tensión

Designing a Test Kit Constant Tension Creep

Abstract - The phenomenon of creep occurs in materials which are subject to stress states and temperature constant for long periods of time.

The characterization of this phenomenon must be done with testing machines appropriate, which are usually dependent technology patents expensive. To overcome this limitation, as an alternative, make the development of equipment, proprietary technology, avoiding the expenditure of money that is acquiring a similar trademark.

In this paper we describe the design and construction of a stress constant testing tensile creep machine has been developed and put to use in the Mechanical Engineering Laboratory of our Faculty. The proposed approaches not only promote the development of a proprietary technology, but their design has many advantages over others in the market and / or suggested in the literature current technology.

Keywords: Creep, tensile test, design, stress state

INTRODUCCIÓN

Los materiales que operan en servicio a temperaturas elevadas y sometidos a esfuerzos mecánicos sufren un proceso de fluencia lenta o creep que provoca transformaciones en sus estructuras. La caracterización de

este fenómeno se debe efectuar con máquinas de ensayos apropiadas, las cuales suelen ser de tecnología dependiente de patentes costosas (Evans et al., 1985).

Por lo general los laboratorios de ensayos mecánicos de las universidades o de los institutos de investigación de la Argentina no tienen garantizado un flujo continuo de fondos para la adquisición de las máquinas de ensayos de este tipo. Para subsanar esta limitación se presenta como una alternativa efectuar el desarrollo del equipo, con tecnología propia, evitando la erogación de dinero que representa adquirir uno similar de marcas registradas.

En este trabajo se presenta el diseño de un equipo para realizar ensayos de creep por tracción a tensión constante. El enfoque y criterio propuesto no sólo favorecen el desarrollo de una tecnología propia, sino que además su diseño posee ventajas respecto a los otros presentes en el mercado y/o sugeridos en la literatura tecnológica actual.

FUNDAMENTO TEÓRICO DEL DISEÑO

En general en los ensayos de termofluencia se mantiene a una probeta del material en estudio, sometida a una carga y temperatura ambas constante, para lo cual se mide la deformación y se grafica ésta en función del tiempo (Earthman, 1990).

En esta propuesta se plantea mantener la tensión y temperatura constantes basándonos en la invariabilidad de volumen de la zona calibrada de la probeta (p) y el equilibrio de momentos de una barra T con centro de rotación en O según se indica en la Fig. 1. Luego se controla la variación de distancia de la carga C al pivote O y se mide la deformación de la probeta.

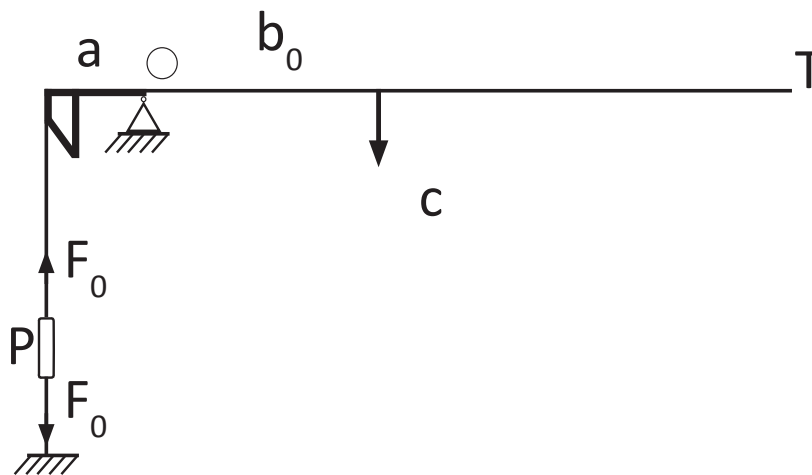


Figura 1 - Esquema del sistema de carga en la posición inicial

En el instante inicial, aplicando la ley de equilibrio de momentos de las fuerzas en la barra T , se cumple que:

$$C.b_0 = a.F_0 \tag{1}$$

donde “ a ” es el radio de una leva circular, por lo que se mantiene constante.

Si se considera una probeta cilíndrica de longitud inicial l_0 y área A_0 se calcula su volumen V como:

$$V = A_0 l_0 = A.l \quad (2)$$

Se supone que la deformación se realiza en forma macroscópicamente uniforme y que el volumen se mantiene constante, siendo l la longitud de la probeta al alargarse y A el área.

Al aplicar una fuerza F , por medio de un esfuerzo de tracción uniaxial, se produce un alargamiento de la probeta y, como consecuencia, la disminución del área inicial A_0 .

La tensión axial σ_0 en el instante inicial se calcula como:

$$\sigma_0 = \frac{F_0}{A_0} \quad (3)$$

Si se despeja F_0 de la ecuación (1) se obtiene que:

$$F_0 = \frac{C}{a} b_0 \quad (4)$$

que toma la forma:

$$F_0 = R.b_0 \quad (5)$$

donde $R = C/a$ es la relación entre la carga y el radio de la leva circular .

Despejando de (2) el valor de A_0 :

$$A_0 = \frac{V}{l_0} \quad (6)$$

Reemplazando (5) y (6) en (3):

$$\sigma_0 = (R/V) . l_0 . b_0 \quad \text{o} \quad \sigma_0 . V/R = l_0 . b_0 \quad (7)$$

Cuando se produce una deformación tendremos que:

$$E = (l_0 + \Delta l) . (b_0 - \Delta b) \quad (8)$$

donde Δl es la variable medida y Δb es la variable controlada (variación de distancia de la carga al centro de rotación) a través de la función de control.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El equipo presentado en esta propuesta está formado por una barra principal apoyada en un extremo a un amortiguador regulable y en el otro extremo posee una leva circular de radio constante, como se puede observar en la Fig. 2.



Figura 2 - Fotografía del equipo

De la barra principal cuelga un peso variable, de trazabilidad controlada, que se desplaza a lo largo de la misma, permitiendo modificar la distancia al centro de rotación y así poder obtener la tensión elegida. El peso está ubicado en un carro con rodamientos que permiten el desplazamiento del mismo a lo largo de la barra.

El movimiento se realiza mediante un tornillo patrón impulsado por un motor reductor de corriente continua (12 volt, 76rpm) que se controla mediante una interfase y un software específico (Fig. 3).

El equipo tiene anexado un horno eléctrico, donde el control de la temperatura se efectúa por medio de una termocupla “Chromel-Alumel” cuyo extremo caliente se ubica sobre la superficie de la zona central calibrada de la probeta. Además se mide la deformación de la zona calibrada de la probeta por medio de dos transformadores diferenciales de variación lineal (LVDT) que producen una salida de corriente continua con una amplitud proporcional al desplazamiento de un núcleo móvil.

La señal de salida de los LVDT posee una diferencia de potencial variable de $\pm 10V$ y siendo la señal de los sensores adquirida por un sistema analógicodigital con un error de $\pm 0,5\%$, tal como lo certifica el fabricante (Fig. 4) (Thomas et al., 1955).

Los estudios se realizan usando probetas cilíndricas cuyas dimensiones y forma se indican en la Fig. 5.

La probeta tiene dos salientes al finalizar la zona calibrada, donde se sujetan los elementos de medición (Norma ASTM E 139).

A partir del estudio del estado de tensión en la misma, se determinó que la presencia de los elementos de sujeción y referencia, no produce modificaciones relevantes en la distribución de tensiones del área calibrada. Para confirmar esta uniformidad se han estudiado modelos estructurales utilizando el Método de Cálculo Nu-

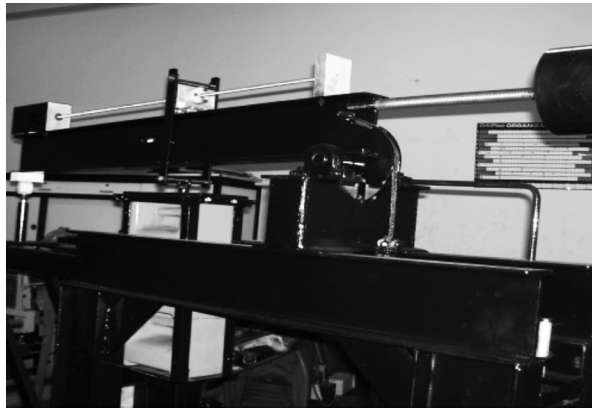


Figura 3 - Sistema de control del desplazamiento de la carga

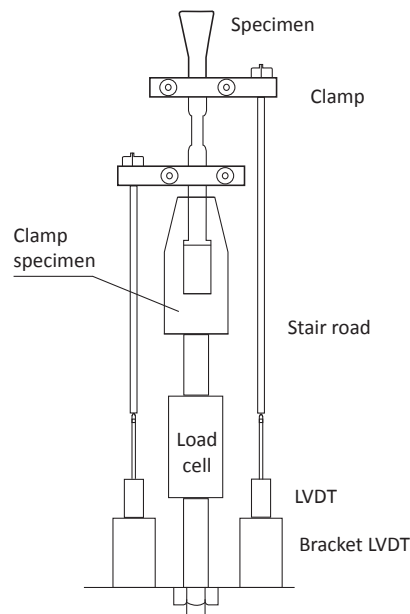


Figura 4 - Esquema de la ubicación del sistema de medición de la deformación y la celda de carga

mérico de Elementos Finitos y así poder estimar la opción más adecuada.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS

Cálculo de la carga para trabajar a tensión constante

Se selecciona la pesa adecuada a la tensión a la que se realizará el ensayo teniendo en cuenta que el fundamento del método es trabajar a tensión constante pero también se mantiene el volumen de la zona calibrada de la probeta constante. Dado que se fija el área de la zona calibrada de probeta, los pesos, las distancias de desplazamiento y de la leva de radio constante, surge que la máquina cuenta con distintos rangos de trabajo los cuales se indican en la Tabla 1 (Garofalo, 1952).

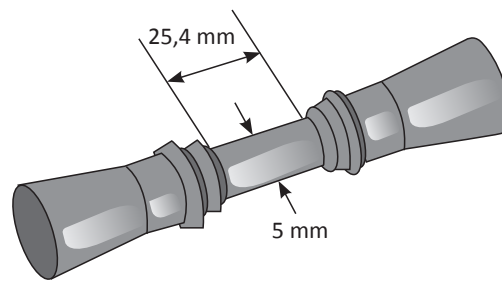


Figura 5 - Esquema de la probeta

Peso [Kg]	Area calibrada [mm ²]	Tensión Mín. [MPa]	Tensión Máx. [MPa]
10	19,63	8	47
20	19,63	16	94
30	19,63	24	141
40	19,63	32	188
50	19,63	40	235
60	19,63	48	282

Tabla 1 - Rangos de trabajo de acuerdo a las dimensiones del equipo

Para realizar el proceso de medición se equilibra la barra principal, apoyada en su extremo en el amortiguador regulable, de forma que se mantenga en forma horizontal. Se coloca la pesa seleccionada en el canasto y se desplaza el peso hasta lograr la tensión de trabajo.

Teniendo en cuenta previamente de estabilizar la temperatura de trabajo, se inicia el proceso de medición registrando cada incremento de deformación igual a la resolución del sistema de medición (0,01mm).

Para cada aumento de la deformación en el valor indicado se produce una disminución del área de la probeta. Se debe mantener la tensión constante, lo que se logra al disminuir en forma continua la carga en función de la disminución del área; para esto se varía la distancia del peso seleccionado respecto del centro de rotación de la barra. Como el volumen inicial de la probeta es 498,72 mm³, un incremento de la longitud de 0,01 mm producida por la deformación se traduce en una disminución del área 0,0076 mm².

Se realizó un ensayo a una tensión constante de 100 MPa para lo cual, y teniendo en cuenta los datos presentados en la Tabla 1, se colocó una pesa de 30 Kg. A medida que el área disminuye, simultáneamente se produce una reducción de la carga de 0,0775 kg.

Para cada incremento de deformación la disminución de la distancia es de 0,245 mm, la cual será detectada por el motor reductor y se traduce en la duración del pulso de alimentación que es de 193,4 mseg.

De esta forma cuando se ingresan al software los valores de la tensión de trabajo, las dimensiones de la probeta y el peso utilizado se obtienen entonces, en forma automática, el tiempo del pulso de alimentación para reducir la carga cada 0,01mm de elongación y así asegurar que el equipo trabaje a tensión constante.

Control de la estabilidad de la temperatura

Con el objetivo de conocer la uniformidad de temperatura en el interior del horno en función del tiempo se contrastó, a medida que transcurre el ensayo, el instrumento propio del horno con el valor obtenido con un

ultímetro digital y se verificó el gradiente de temperatura entre los extremos de zona calibrada de probeta.

El estudio se realizó a 500°C, que es una temperatura considerada como promedio dentro de las utilizadas normalmente en los ensayos. Como se muestra en la Fig. 6, se ubicó la sonda de tipo K del multímetro exactamente en el centro de la zona calibrada de la probeta y a una distancia aproximada de 60 mm del extremo de la sonda propia del horno.



Figura 6 - Ubicación de las termocuplas del multímetro y del horno del equipo

Se determinó que luego de llegar el equipo a la temperatura de 500°C se deben esperar 100 minutos para lograr la estabilización de la temperatura en el interior del horno por lo que se recomienda esperar ese tiempo hasta poner la carga en el sistema.

Una vez que el horno tiene equilibrada la temperatura se determinó una baja histéresis del mismo y se contrastan diferencias de temperaturas mínimas (Fig. 7).

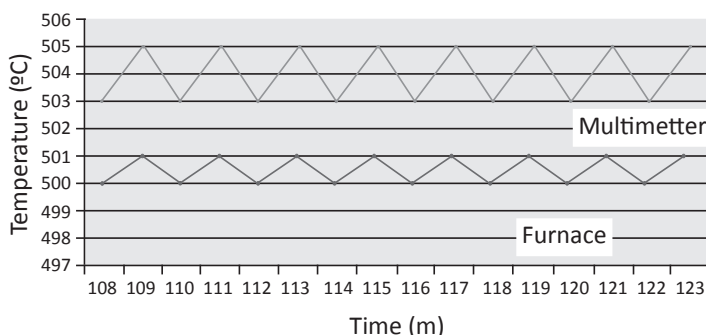


Figura 7 - Gráfico que muestra las temperaturas medidas por el multímetro y por el horno en el periodo desde 108 a 123 minutos luego de iniciada la medición

Verificación del método

Se realizaron ensayos de termofluencia en acero 1Cr 0.5Mo a tensiones equivalentes (σ) de 82, 168 y 205 MPa y a la temperatura de 873 K. La Fig. 8 muestra las curvas de deformación en función del tiempo de los ensayos realizados.

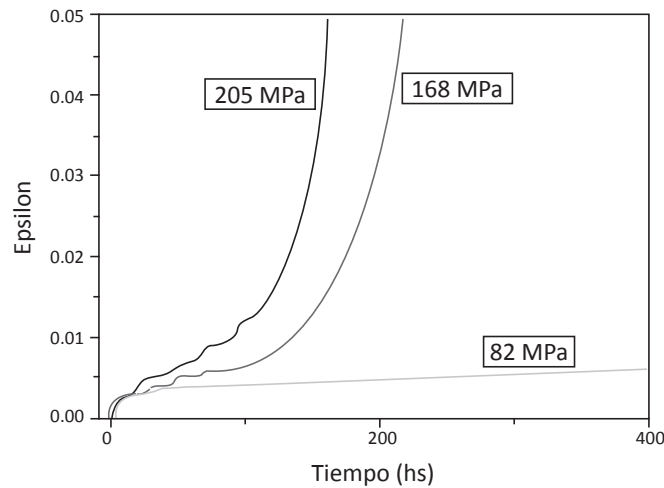


Figura 8 - Curvas de la deformación en función del tiempo a 873 K y a las tensiones indicadas

En la Tabla 2 se indican los valores de la velocidad de deformación de la etapa secundaria para cada uno de los ensayos realizados, los que son similares a los indicados por otros autores (Voorhees, 1990, Ray, 2007, Viswanathan, 1989).

Tensión (MPa)	82	168	205
Velocidad de deformación	$4.28 \cdot 10^{-6}$	$4.33 \cdot 10^{-5}$	$9.53 \cdot 10^{-5}$

Tabla 2 - Velocidades de deformación de la etapa secundaria para cada ensayo

CONCLUSIONES

La mayoría de los equipos comerciales realizan los ensayos a carga constante. El equipo propuesto presenta un diseño simple que permite realizar mediciones a tensión constante, siendo ésta la tendencia actual ya que reflejan la realidad del uso industrial.

Los equipos comerciales presentan un número superior de conversiones de energía ya que pasan de eléctrica a mecánica y de ella a hidráulica para retornar a la mecánica; en nuestra propuesta se realiza una conversión solamente de eléctrica a mecánica que permite disminuir los costos tanto de la construcción del equipo como del mantenimiento.

Esto se logra sin perder amplitud en el rango de los valores de las tensiones aplicadas sino sólo incrementando la carga mediante el uso de pesas de trazabilidad controlada.

Se presenta un sistema de control electrónico que permite en forma sencilla y económica mantener la tensión constante sin limitaciones de ángulos de desplazamiento de la barra principal como las sugeridas por la bibliografía.

Para solucionar los golpes bruscos en el momento de rotura de la probeta que alteran los valores finales de ensayo (problema que se observa en los equipos sugeridos por la bibliografía) se propone el uso de un amortiguador a gas.

A partir de contrastar la temperatura medida por el horno y por un multímetro se determinó que luego de 100 minutos el equipo presenta gran estabilidad, sin grandes diferencias de temperatura entre el extremo y el centro de la probeta, adecuándose a lo establecido por las normas internacionales de ensayo.

El modelo propuesto permite el desarrollo de una tecnología propia que no sólo evita la erogación de dinero, con una relación 1:4 respecto de la posibilidad de adquirir un equipo de una marca comercial, sino que también presenta otras ventajas respecto a los modelos sugeridos por la bibliografía.

Las velocidades de deformación obtenidas en el estado estacionario fueron comparadas con las obtenidas por otros autores, con resultados similares que validan de esta manera el funcionamiento del equipo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Facultad Regional Bahía Blanca, UTN.

REFERENCIAS

- Evans & Wilshire, "Creep of metals and alloys". *The Institute of Metals, England* (1985).
- Earthman, "Introduction to Creep and Stress-Relaxation Testing". *ASM Metals Handbook. 10th Chaper 9, Ed. USA: ASM International* (1990).
- Thomas & Carlson, "Errors in Deformation Measurements for Elevated Temperature Tension Tests", *ASTM Bulletin, 5, 47-55* (1955).
- Standard Test Methods for Conducting Creep, Creep-Rupture, and Stress-Rupture Tests of Metallic Materials; ASTM E 139.*
- Garofalo, "Design of Apparatus for Constant-Stress or Constant-Load", *J. Basic Eng., 84, 287-293* (1962).
- Voorhees, "Assessment and Use of Creep-Rupture Properties". *ASM Metals Handbook. 10th. Ed. USA: ASM International* (1990).
- Ray, "Long term creep-rupture behaviour of 813K exposed 2.25 – 1 Mo steel between 773 and 873K"; *Mat. Sci and Eng. A; 454-455* (2007).
- Viswanathan, "Damage Mechanisms and Life Assessment of High Temperature Components" *ASM International Metals, Park Ohio, USA* (1989).