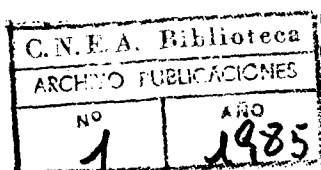


VERIFICACION EXPERIMENTAL DE LA REGLA DEL TIEMPO DE VIDA, ANALISIS DE SEGURIDAD DE COMPONENTES NUCLEARES.

J. C.

Demetrio Agüero y Juan Carlos Bolcich



Centro Atómico Bariloche e Instituto Balseiro
Comisión Nacional de Energía Atómica y Universidad
Nacional de Cuyo

Introducción:

La regla del tiempo de vida fue desarrollada por el Dr. M.Boček, del Kernforschungszentrum Karlsruhe (KFK) a partir del año 1978, en base a trabajos anteriores (1). Las investigaciones fueron apoyadas por el Programa de Seguridad Nuclear de la RFA, desarrollándose un formalismo matemático, del cual se esperaba calcular mediante información de creep (fluencia lenta), los tiempos al cabo de los cuales materiales sometidos a sollicitaciones termomecánicas no estacionarias llegaban a la rotura.

Se considera verificada la regla del tiempo de vida dentro de los errores experimentales, pero la naturaleza de los fenómenos observados en este trabajo muestran que en el estado actual de nuestros conocimientos, aún no es posible considerarla una herramienta de aplicación tecnológica.

A temperaturas mayores que $0,4 T_f$ (T_f = temperatura absoluta de fusión, en grados Kelvin), los metales cambian su manera de deformar plásticamente; el intervalo entre $0,4 T_f$ y T_f será el que en adelante será llamado de "alta temperatura".

A alta temperatura, se supone que el daño que sufre el material se produce por "cavitación", que consiste en la formación, crecimiento y coalescencia de cavidades intergranulares en materiales sometidos a tensión. Si se hace la hipótesis de que el daño producido por tensiones y temperaturas no estacionarias, es igual al producido cuando son estacionarias, se llega a la Regla del Tiempo de Vida.

$$\int_{t=0}^{t_f} \frac{dt}{\tau(\sigma(t); T(t)) \phi_i} = 1 \quad \text{Ec. (1)}$$

(1) Ver: D. Agüero, Trabajo Especial, IB-UNC, Bariloche 1983.

τ = tiempo de rotura por creep a la tensión σ y a la temperatura T
 $\emptyset_i$ = parámetros metalúrgicos que caracterizan al material (tamaño de grano, forma y distribución de precipitados, fases presentes, etc.)
 σ = tensión
 T = temperatura
 t = tiempo
 t_f = tiempo de rotura

Como se ve, la Regla del Tiempo de Vida es una ecuación integral que relaciona el tiempo de rotura con las tensiones y temperaturas que va sufriendo el componente.

Los parámetros metalúrgicos del material se especifican constantes.

Para aplicar la Regla del Tiempo de Vida es preciso admitir tres hipótesis:

- 1.- El modelo de cavitación es válido en el rango de T considerado, y no depende de otros factores (σ , ppm O_2 , etc.).
 - 2.- El daño producido por creep es el mismo que si fuera producido por sollicitaciones termomecánicas no-estacionarias.
 - 3.- No cambian los parámetros metalúrgicos que caracterizan al material.
- La hipótesis 1.- restringe la aplicación del formalismo a casos de accidentes, pues $0,4T_M$ es para el Fe y el Zr mayor que la temperatura de diseño.
 - La hipótesis 2.- fue verificada experimentalmente por Božek y colaboradores.
 - La hipótesis 3.- es la más limitativa, pues implica la exigencia que no ocurran transformaciones de fase, recristalización, crecimiento de grano etc..

Sistematización de la curva de creep

Para describir la dependencia funcional $t_f=f(\sigma,T)$ entre el tiempo de rotura y la temperatura y tensión de ensayo, fue necesario encontrar una representación más apropiada para el cálculo numérico de la integral (1).

En la fig. 1 se ha representado $\log \sigma$ en función de P , donde $P = 10^{-3} (A + \log t_f(s)) \cdot T (K)$. A es una constante de ajuste, adimensional, que para este trabajo se eligió igual a 17. A efectos de inte-

grar, se aproximó la curva por una recta de mínimos cuadrados; en el mismo gráfico y a efectos de comparación únicamente, se han representado datos obtenidos por Boček para Zry-4.

Equipamiento experimental

Se utilizó la máquina de ensayos mecánicos INSTRON 1123 del CAB, con el horno de alta temperatura y diversas unidades auxiliares como accesorios, que permitían entre otras cosas hacer tracción, creep, y reciclado de fuerzas o deformaciones. Instrumentación complementaria de presión del horno, y temperatura, fueron adicionadas.

Las probetas fueron de dos tipos: uni y bi-axiales. Las biaxiales consistían en vainas de Zry con tapones soldados por resistencia y presurizados con He por dentro. Dificultades experimentales hicieron cambiar a probetas uniaxiales de Zry, con las cuales se obtuvieron resultados satisfactorios.

Resultados experimentales

Probetas biaxiales: Por problemas experimentales no pudo concretarse el ensayo completo de las mismas; sin embargo en algunas pudo estimarse con poco error su tiempo de vida experimental, resultando un orden de magnitud inferior al calculado. Hubo gran deformación, rotura y gran reducción de espesor de pared y de diámetro interno del tubo.

Para el cálculo de las tensiones, se usaron en la aproximación tensiones ingenieriles, tal cual hicieron Boček y colaboradores en publicaciones anteriores. Todas las variaciones dimensionales conducen a un aumento en la tensión real. Al subestimar la tensión, caben esperarse tiempos de vida inferiores a los calculados. Esto concuerda con las observaciones de este trabajo, y de los de Boček.

Probetas uniaxiales: Seis probetas fueron ensayadas para producir la curva de creep de la Fig. 1, otras seis fueron sometidas al programa de la fig. 2 y a las temperaturas de la tabla I. La probeta J debió ser rechazada, pues no pudo hacerse una buena estimación de la temperatura de ensayo. Boček y colaboradores reportan problemas aún con termocuplas soldadas a las probetas.

La probeta M debió ser rechazada por un accidente de operación, que provocó su pérdida.

Los resultados pueden verse en la fig. 3 para las cuatro probetas restantes, los cuales están todos muy cerca del valor 1. La probeta N sufrió una pequeña rampa descendiente de T , por lo que se muestran dos valores T_0 .

La sensibilidad de la Ec. (1) con la temperatura se muestra en la fig. 4. Con el objeto de estimar cuánto había influido la variación de la T en la probeta N se evaluó la integral a distintas temperaturas, observándose que para alguna temperatura dentro del intervalo de error experimental, la integral se hace 1.

Los valores de la integral dan sistemáticamente por debajo de 1, en los trabajos de Boček y en éste. Atribuimos este efecto a que durante el ensayo el área se hace menor, la tensión mayor, y por lo tanto, el tiempo de vida real se hace ligeramente menor.

Conclusiones

- La Regla del Tiempo de Vida se considera experimentalmente verificada, en base a los datos de las probetas aceptadas.
- La Regla del Tiempo de Vida sólo puede aplicarse a situaciones de accidente. Como en ellas, τ y T no pueden medirse, sino que deben simularse con códigos de cálculo o facilidades experimentales, cabe esperar fuertes discrepancias entre los tiempos de rotura calculados y medidos debido a la propia dispersión de τ y T .
- No es correcto usar tensiones ingenieriles, pues no son representativas.
- Resulta poco probable que la Regla del Tiempo de Vida pueda ser utilizada en un futuro cercano para el cálculo de tiempos de rotura de componentes nucleares, pues los autores no obtuvieron los resultados inicialmente esperados; eso se traduce en un decremento del ritmo de aparición de nuevas publicaciones, y nuevos esfuerzos en la investigación y comprensión de los fenómenos involucrados.

Agradecimientos:

Los autores desean agradecer al Ing. R. Cirimello, a la gente del Proyecto SUCOEM, al Dr. E. Pérez, y a los integrantes de la División Metales del CAB, sin cuya colaboración no hubiera sido posible este trabajo.

TABLA I

Temperaturas de ensayos correspondientes a probetas referidas en fig. 2

PROBETA	T (°C)
K	680
L	695
M	655
N	680
O	685

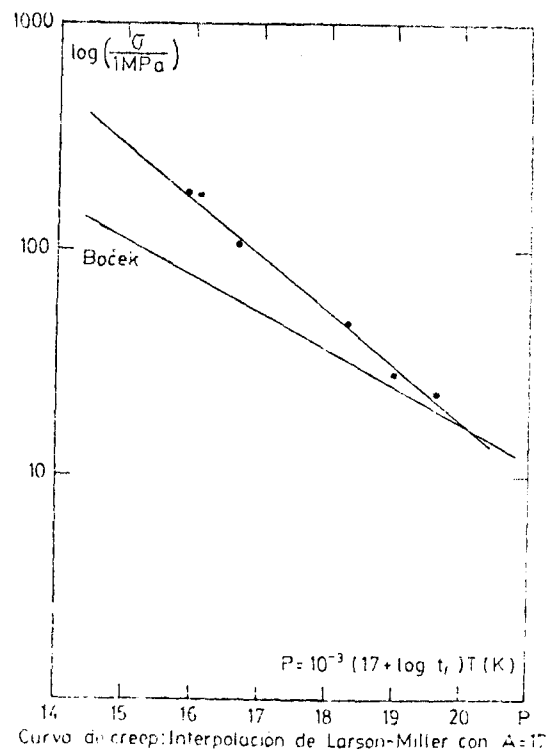
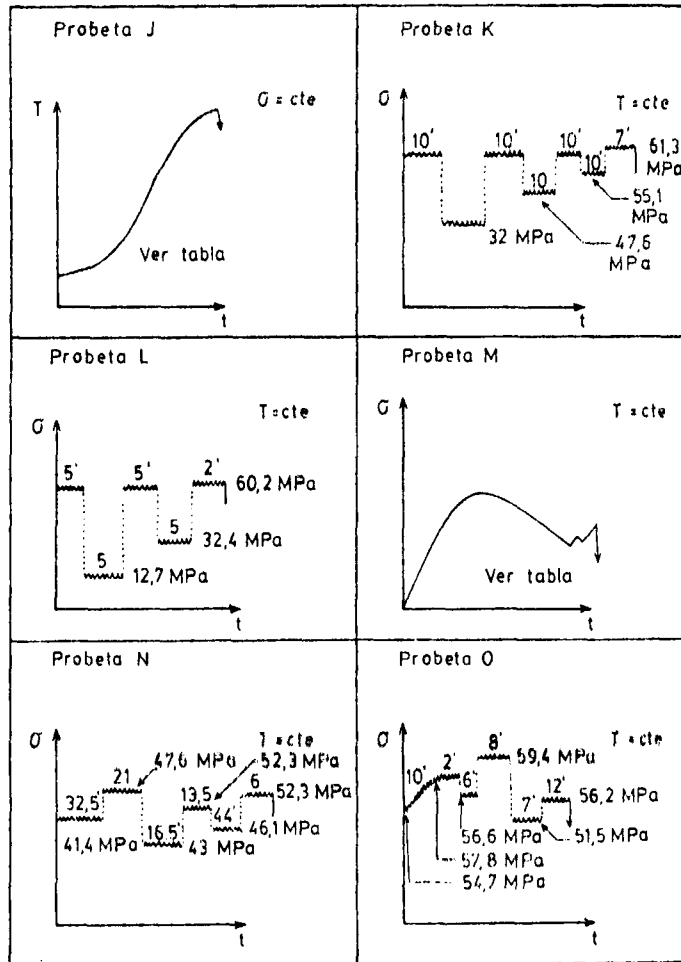


Figura 1



Ensayos no estacionarios

Figura 2

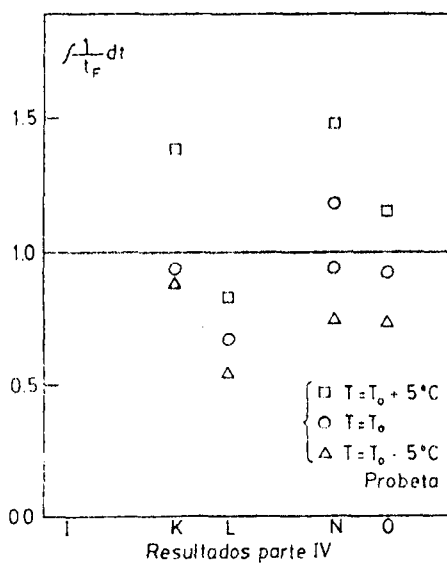


Figura 3

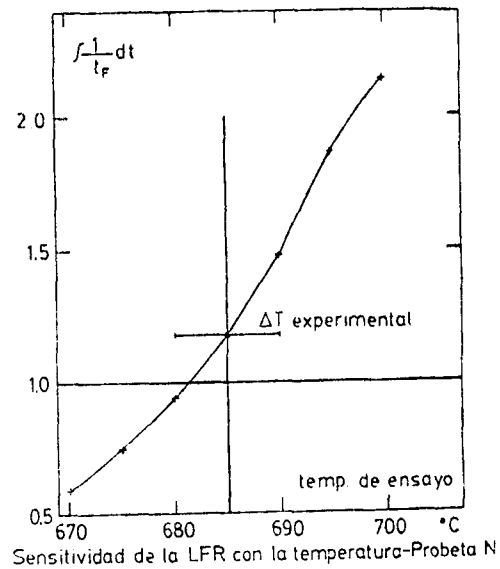


Figura 4