

ANALISIS DE TENSIONES TERMICAS EN UNA BOQUILLA DE UN
RECIPIENTE DURANTE UN PROCESO DE SOLDADURA

Héctor C. Sanzi

ENACE S.A. (Empresa Nuclear Argentina de Centrales
Eléctricas S.A.)
Avda. L.N. Alem 712 (TM - 8° piso)
1001 Buenos Aires
Argentina

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos del análisis de tensiones y el campo de desplazamientos de origen térmico, generado por una fuente calórica durante un proceso de soldadura debido a la realización de un plaqueado en una de las boquillas del generador de vapor (G.V.) de una central nuclear del tipo PHWR (reactor de agua pesada presurizada). El cálculo se realizó por el método de elementos finitos.

ABSTRACT

In this paper numerical results of the stress and strain fields produced by a heat source during a welding process for the cladding in the steam generator of a nuclear power central (PHWR) are presented.

The calculos were done by means of the finite elements techniques.

1. INTRODUCCION

Los G.V. transmiten el calor desde el refrigerante del reactor en el lado primario, al ciclo de agua de alimentación/vapor en el lado secundario. El calor transmitido eleva la temperatura del agua de alimentación y genera el vapor saturado que acciona el turbo-alternador (Figura 1).

En la parte inferior se encuentra el cabezal que tiene cuatro boquillas, dos de las cuales sirven para entrada de hombre (Figuras 2a y 2b). Entre la boquilla y la tapa de estanqueidad se ubica un anillo plano de deposición del material de aporte de soldadura, denominado plaqueado. La tapa exterior se une a la boquilla mediante 20 bulones, ubicados circunferencialmente con espaciado uniforme (Figuras 2c y 2d).

Es en una de las boquillas de la entrada de hombre en la que se realizará el plaqueado. Esta posee un diámetro exterior de 780 mm y su forma y demás dimensiones se observan en las figuras indicadas anteriormente.

2. DATOS DEL PROBLEMA

a) Propiedades físicas y mecánicas de la boquilla

Material: 20 MnMo 55

Módulo de elasticidad (E): a 20°C _____ $2,1 \times 10^5$ MPa
a 350°C _____ $1,85 \times 10^5$ MPa

Coefficiente de Poisson (ν): 0,3

Conducción térmica (k): 0,03 Joule/mm s°C

Calor específico (c): 0,006 Joule/mm °C

Tensión de fluencia (Sy): a 20°C _____ 450 MPa
a 350°C _____ 350 MPa

b) Estructura del plaqueado

El plaqueado se efectuará sobre la boquilla mediante un proceso de soldadura del tipo por arco manual, SMAW, y su estructura consiste en cinco capas de soldadura. La inferior está formada por 14 cordones y la superior por 10 (Figura 3). El tiempo en completar un cordón es de 15 minutos.

c) Datos del proceso

- Durante el aporte de material, la pieza debe encontrarse dentro de los 180/250°C. Esto se logra con un calentamiento previo.

- El aporte calórico está dado:

$$Q = \frac{J}{\Delta t \cdot \Delta e} = 1,468 \frac{\text{watt}}{\text{mm}^3} \quad (1)$$

siendo

$$J \text{ el calor de entrada e igual a } J = \xi \frac{I.V}{v} \quad (2)$$

- v = Velocidad del electrodo (definida en la Figura 4)
- I = Corriente de la máquina: 25 Amper
- V = Tensión de la máquina: 140 volt
- ξ = Rendimiento: 0,85
- Δt = Tiempo que dura el aporte de Q para un determinado volumen elemental: 10 segundos
- Δa = Area elemental de aporte: 126 mm²

3. HIPOTESIS GENERALES

- El estudio se efectúa bajo las hipótesis de la teoría lineal de la elasticidad, considerando que el cuerpo es isótropo y homogéneo.
- No se considera el estado triaxial de tensiones en los filetes de rosca del agujero de los bulones.
- La determinación de la distribución de temperaturas, producida por la fuente calórica se basa en la teoría de transferencia de calor por conducción y no se tienen en cuenta los efectos producidos por radiación y cambios de fase debido a que el proceso se desarrolla rápidamente.

4. DESCRIPCION DEL MODELO DE ELEMENTOS FINITOS

Teniendo en cuenta la simetría de revolución de la boquilla con respecto a su eje longitudinal, se modela únicamente una sección meridional de la misma. Por lo tanto, de acuerdo con las Figuras 2, la red de elementos finitos queda definida según la Figura 5.

Dicha red fue generada con el código REDEF [1] y está conformada por 214 elementos cuadrangulares y 250 nodos.

Se modeló la estructura del plaqueado por 4 elementos cuadrangulares de igual superficie. En la zona cercana a ellos se observa una densificación en la cantidad de elementos para mejorar la precisión de los resultados.

5. PROCEDIMIENTO DE CALCULO

a) Problema térmico

El aporte de material de soldadura se efectúa por capas de 14 pasadas (ejecución de 14 cordones de soldadura) hasta completar un total de 5 capas. En esta etapa se determina la distribución de temperatura que caracteriza aproximadamente al proceso.

Una vez encontrada esta distribución se analizarán los resultados, debiéndose elegir aquella distribución para la cual el gradiente de temperatura sea el máximo entre las pasadas. Esta será la que ocasiona mayores distorsiones sobre la boquilla, cuando la misma se enfríe.

Para el cálculo se considera la primera capa del plaqueado (14 pasadas) ya que el gradiente de temperaturas de las capas sucesivas es menor y no influyen en los resultados de este análisis.

La distribución de temperaturas en función del tiempo se calcula con el programa CTR [2], que resuelve la siguiente ecuación diferencial de transferencia de calor:

$$c \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r} \left(k \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{k}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (3)$$

Considerando sólo efectos de conducción, pero despreciando radiación y cambios de fase.

Las condiciones de contorno son:

$$k \frac{\partial T}{\partial n} = 0 \quad \text{En todas las superficies exteriores de la boquilla y en la porción del cabezal inferior del G.V.}$$

Los parámetros:

k = conductividad térmica
c = calor específico
ρ = densidad

se suponen constantes, es decir, independientes de la temperatura.

Como condición inicial se plantea que en el instante inicial, la temperatura de la boquilla es la de precalentamiento.

Los datos ingresados al programa son:

- 1) Temperatura inicial (precalentamiento): $T_{prec} = 200^{\circ}\text{C}$
- 2) Aporte calórico (Q): $1,468 \text{ Watt/mm}^3$
- 3) Tiempo del proceso:

Está dado por 14 pasadas (o cordones); cada una de ellas se divide en 25 ciclos de 15 minutos, distribuídas de la siguiente manera:

5 ciclos	2 seg c/u	Q = 1,468 Watt/mm ³
5 "	10 " "	Q = 0
10 "	15 " "	Q = 0
5 "	138 " "	Q = 0

El calor aportado en los 5 primeros ciclos irá variando a medida que los cordones de soldadura a realizar se alejen del borde interior de la boquilla, trasladándose a los elementos sucesivos del plaqueado.

Analizando los resultados, se observa que el gradiente máximo para las 14 pasadas de la primera capa, se produce durante la última pasada, en el nodo 248 y para el instante correspondiente al ciclo 333 (11740 seg), Figura 6. Para este instante, la distribución de temperaturas sobre la boquilla está graficada en la Figura 7.

b) Problema tensional

En esta etapa se realiza el cálculo tensional en base a la distribución de temperaturas, determinada con el programa CTR [2], o sea, se encuentran las tensiones térmicas que se producen cuando el cuerpo se enfría.

Para este cálculo se utiliza el programa SAP IV [3]. Teniendo en cuenta la simetría geométrica y de cargas, se usa el elemento Tipo 4, cuadrangular axisimétrico, que posee una formulación isoparamétrica. Cada elemento está definido por 4 nodos, donde cada uno de ellos posee 2 grados de libertad: desplazamiento radial y longitudinal.

Las condiciones de borde adoptadas son: empotramiento sobre el ca bezal, en nodos, 16, 32, 48, 64, 80 (ver Figura 5).

Se considera un módulo de elasticidad equivalente (Eq), en la zona formada por el anillo de sección rectangular que ocupan los agujeros de los 20 bulones y el material que se encuentra sobre éstos,

$$Eq = E \frac{\text{Volumen Canaleta} - \text{Volumen agujero}}{\text{Volumen Canaleta}} \quad (4)$$

$$Eq = E \frac{(\text{R}_1^2 - \text{R}_2^2) \pi h - 20 \left(\frac{\text{R}_1 - \text{R}_2}{2} \right)^2 \pi h}{(\text{R}_1^2 - \text{R}_2^2) \pi h} \quad (5)$$

La utilización del módulo equivalente se propone, ya que las propiedades del material se deben mantener constantes en todas las secciones meridionales que forman la boquilla; caso contrario, habría que realizar un análisis tridimensional.

6. ANALISIS DE RESULTADOS

Se obtuvo el estado de tensiones actuantes sobre la boquilla, el cual verifica que dichas tensiones no superan el límite de fluencia del material, o sea el comportamiento del material se encuentra dentro del período elástico.

A partir del estado de tensiones se calcula la tensión equivalente de von Mises. En la Figura 8 se grafica la distribución máxima de tensiones que corresponde a un espesor dado.

En la Figura 9 se muestra la deformada de la boquilla ante el estado de carga analizado.

7. CONCLUSIONES

Se ha obtenido mediante un modelo sencillo bidimensional axisimétrico el estado tensional y el campo de desplazamientos debido a la

realización de un plaqueado en una de las boquillas del generador de vapor.

Estos resultados serán verificados una vez que el proceso de soldadura del plaqueado sea llevado a cabo, pudiéndose modificar y/o ajustar los parámetros del modelo propuesto para obtener el que caracterice aproximadamente al proceso real.

REFERENCIAS

- [1] G. Sánchez Sarmiento: "REDEF" Un esquema simple para la generación automática de redes de elementos finitos bidimensionales" - Publicación CNEA-NT 16/80 (1980).
- [2] F.G. Basombrío y B. Cruz: "Ecuación cuasiarmónica con derivada temporal. Su resolución por el método de Faedo Galerkin con elementos finitos (Programas CTR y CTRL)". Publicación CNEA-NT 30/78 (1978).
- [3] J.J. Bathe, E.L. Wilson y F.E. Peterson: "SAP IV - A structural analysis program for static and dynamic response of linear systems". - Report N° EERC 73-11, June 1973. College of Engng., University of California, Berkeley, California, U.S.A.

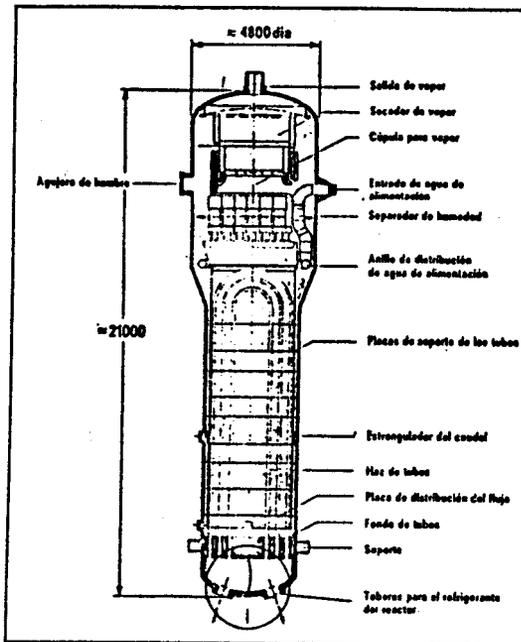


FIGURA 1: Detalle del generador de vapor (G.V.) de una central nuclear

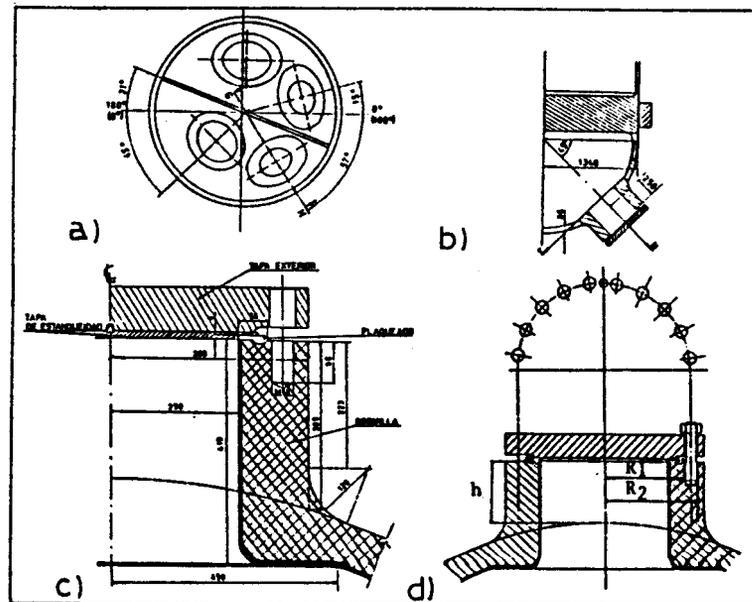


FIGURA 2: Detalles de la geometría del cabezal inferior del G.V.

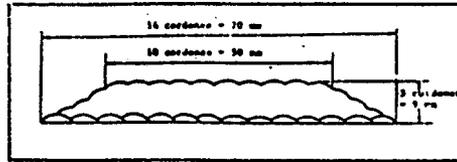


FIGURA 3: Estructura del plaquero

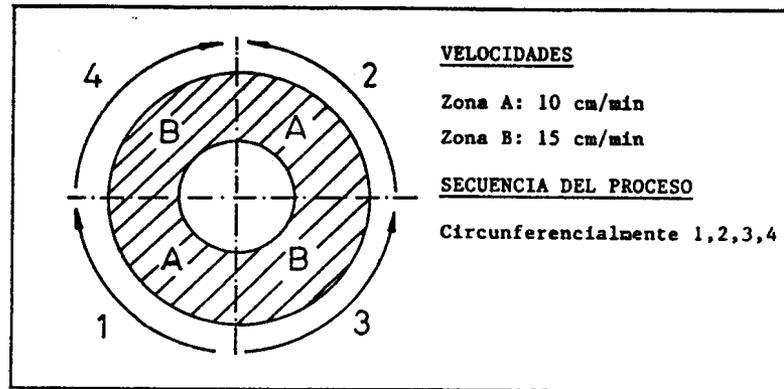


FIGURA 4: Especificación de las secuencias del proceso de soldadura

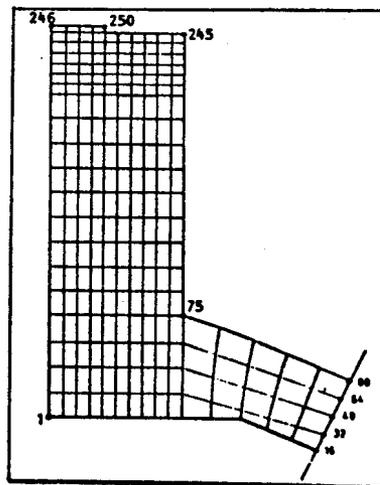


FIGURA 5: Red de elementos finitos empleada

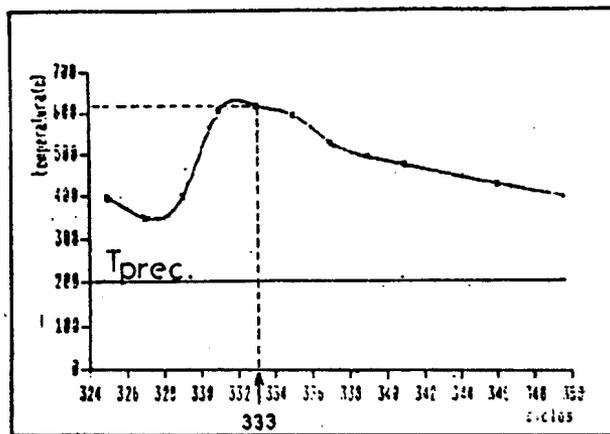


FIGURA 6: Distribución de temperatura en función del tiempo del nodo 248

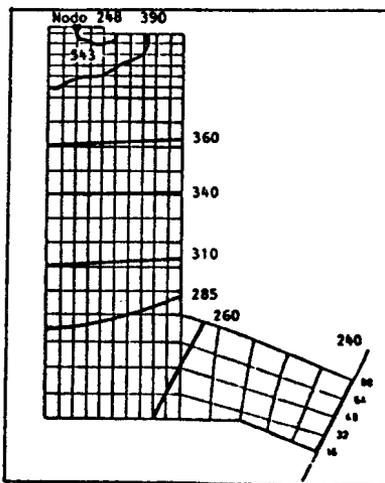


FIGURA 7: Distribución de temperaturas sobre la boquilla para el instante correspondiente al ciclo 333

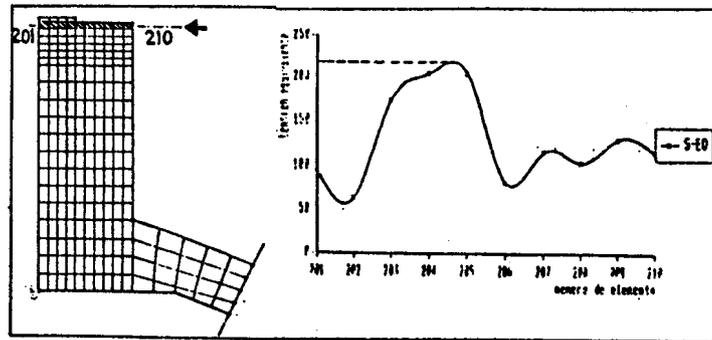


FIGURA 8: Distribución de tensiones de Von Mises para un espesor dado sobre la boquilla del G.V.

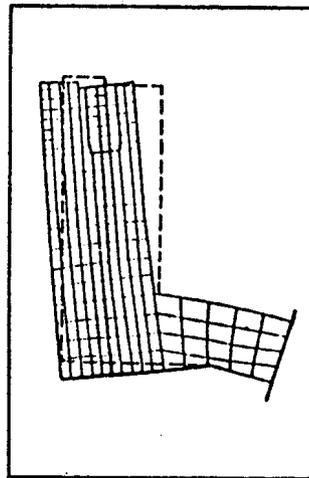


FIGURA 9: Deformada de la boquilla del G.V. ante el estado de carga considerado