

## MODELADO COMPUTACIONAL DE FALLAS EN UNA TURBINA DE VAPOR

Juan C. Belmonte, Enrique Pardo  
Inst. de Inv.en Ciencia y Tecnología de Materiales, INTEMA  
Ftad. de Ingeniería, UNMdP, J.B.Justo 4302, M.del Plata

### RESUMEN

Para determinar las condiciones límites de operación de una turbina de 70 MW de potencia, se calculó por elementos finitos el campo de temperaturas y tensiones en la carcaza del estator, producido en distintas condiciones de arranque en frío.

Durante el mantenimiento de turbinas similares se detectaron distorsiones que pueden haberse debido a altos gradientes térmicos, lo que hace necesario establecer límites seguros para una puesta en marcha.

Habiéndose ajustado los parámetros térmicos a datos reales medidos por termocuplas, se propuso un modo de carga para el arranque en frío según las condiciones actuales de operación de la turbina en estudio.

### ABSTRACT

A Finite Element Analysis of transient thermal stresses during start up of a 70 MW steam turbine was conducted in order to determine the limiting conditions of operations.

The experience with similar turbines has shown that distortions in the casings may be produced by high thermal gradients. Although the manufacturing company establishes adequate conditions for safe operation of the turbine, these conditions are difficult to match due to operational limitations.

After adjusting thermal parameters of the model, by comparing numerical results with thermocouple measurements, several simulations of thermal stresses were carried out. An alternative start up procedure was proposed, compatible with the actual operation limitation.

### 1. INTRODUCCION

Con el objeto de determinar las condiciones límites de operación de una turbina de 70 MW de potencia durante las entradas y salidas de servicio, se realizó un modelado numérico de la carcaza de alta presión del estator, orientado hacia la prevención de fugas de vapor y distorsión.

Problemas de distorsión en la carcaza fueron detectados durante el mantenimiento de turbinas similares. Estas distorsiones están generalmente asociadas a problemas de estanqueidad en la junta central de la carcaza, entrada de aire en la etapa de vacío y fuga de vapor en las etapas de alta presión.

Por razones operativas, la puesta en marcha de esta turbina difiere de la propuesta originalmente por el fabricante [1], por lo que se hace necesario estimar el efecto resultante en las zonas de máximos esfuerzos. La aplicación del Método de Elementos Finitos (MEF) [2] sirve para el cálculo de las tensiones y deformaciones originadas

durante la puesta en marcha de la turbina y para la determinación del gradiente máximo de temperaturas que debe existir en los arranques o bruscos cambios de carga.

## 2. DETALLES CONSTRUCTIVOS. PROPIEDADES DEL MATERIAL

La carcaza consta de dos mitades aproximadamente simétricas, unidas por espárragos o pernos de fijación a lo largo de un plano que coincide con el eje del rotor, figura 1. En su interior circula vapor de agua con una distribución de temperaturas, presión y velocidades que dependen fundamentalmente de la posición axial. El exterior se halla cubierto de material aislante de gran espesor, que le da propiedades adiabáticas a la transferencia de calor al medio.

El material de construcción de la carcaza es un acero aleado 17Cr55Mo. Ante la imposibilidad de realizar ensayos que permitieran determinar con precisión la tensión de fluencia del material  $\sigma_y$ , se adoptó como referencia la mínima entre un rango de valores dados para aceros de turbinas similares [3] [4].

TABLA I: Propiedades termo-mecánicas de la carcaza

Tensión de Rotura	MPa	450
Tensión de Fluencia	MPa	250
Módulo de Young	MPa	210000
Módulo de Poisson		.3
Conductividad Térmica	W/m <sup>2</sup> *K	38/34
Calor Específico	J/Kg *K	550/670
Coef. de Dilatación	%	.3/.7
Coef. de Trans.Térmica	W/m <sup>2</sup> *K	15/150

## 3. MODELO COMPUTACIONAL

Para obtener la distribución de tensiones que tomen en cuenta la geometría y distribución térmica de la carcaza, es necesario recurrir a modelos computacionales. Con ese objeto se realizaron cálculos de temperaturas y tensiones termoelásticas usando el MEF, tomando como referencia una puesta en marcha particular de la que existían registros de temperaturas y régimen de velocidad y potencia.

### 3.1 Modelo térmico.

Para hallar la distribución de temperaturas se emplearon dos modelos. Al disponerse de cuatro termocuplas ubicadas estratégicamente dentro y fuera de la carcaza, figura 1, se realizó un corte transversal coincidente con las termocuplas A y B. La red de elementos finitos, que consta de 314 elementos y 192 nodos [5], se muestra en la figura 2. Con este modelo se simularon diversos calentamientos, producidos por entradas de vapor a temperaturas variables. El exterior de la carcaza

se supuso adiabático, es decir aislado térmicamente, y la superficie interior se supuso calentada con una temperatura de vapor variable según las condiciones de una puesta en marcha determinada.

La transferencia de calor del vapor al medio está gobernada por el coeficiente de transferencia térmica pelicular,  $h$ , que depende del régimen hidrodinámico del vapor y la naturaleza de la superficie. El coeficiente  $h$  se varió para cada régimen de velocidad de vapor hasta obtener el mejor acuerdo con los valores medidos por las termocuplas cuyo registro puede verse en la figura 3.

Una vez ajustado el valor de  $h$  se hizo un modelo con simetría de revolución. La figura 4 muestra la discretización por elementos finitos del modelo axisimétrico, con 284 elementos triangulares y 191 nodos. La figura 5 muestra la distribución de temperaturas de este modelo axisimétrico de la carcaza cuando se alcanza la máxima diferencia de temperaturas en las termocuplas,  $\delta T = 150 \text{ }^\circ\text{C}$  [6].

### 3.2 Cálculo de las Tensiones

Utilizando la distribución de temperaturas mostrada en la figura 5, se calcularon las tensiones termoelásticas en la carcaza [7]. Para establecer un concepto de plastificación se graficaron las tensiones equivalentes o de Von Mises, figura 6. Se muestra en la figura que las tensiones máximas, 200 MPa representan casi el 80% de la tensión de fluencia considerada, lo que la sitúa cerca del límite tolerable.

Si el arranque de la turbina es más severo, es decir, se aumenta la carga más rápidamente, se corre el riesgo de producir deformaciones permanentes en la carcaza.

Es ilustrativo considerar la evolución de los esfuerzos durante transitorios de temperatura. En la figura 7 se grafica la tensión equivalente en un punto cercano a la admisión de vapor en función del tiempo. Se observa que ésta crece desde cero, pasa por un máximo pronunciado y luego decrece hasta alcanzar su valor de régimen estacionario, donde es relativamente bajo. Cualitativamente, cuanto más ancho es el pico, menor es la altura del máximo, que es lo que se desea. Este gráfico pone de manifiesto que la probabilidad de producir deformaciones en la carcaza aumenta con la rapidez de entrega de carga.

### 4. REGIMEN DE CARGA PROPUESTO

Habiendo ajustado el coeficiente de transferencia térmica con la evolución de la temperatura medida por las termocuplas, se puede, entonces, establecer un REGIMEN DE CARGA para el arranque en frío de la turbina de acuerdo a las condiciones operativas actuales. En la figura 8 se muestran las curvas de potencia y temperaturas correspondientes en las termocuplas A y B en función del tiempo calculadas para no originar sobreesfuerzos en la carcaza de la turbina. Comparada con la curva de potencia dada por el fabricante, aquella difiere en la forma de entrega de la carga, pero asegura una evolución de temperaturas de acuerdo a los requerimientos de máximos gradientes térmicos permitido, o sea, no más de  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 5. CONCLUSIONES

De acuerdo al modelo realizado, el límite de  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  entre el interior y exterior de la carcaza (termocuplas A y B), es un valor aceptable

para no generar tensiones excesivas que deformen la estructura irreversiblemente. Una diferencia de temperatura mayor podría originar serias distorsiones.

Las tensiones calculadas para un arranque según datos dados por el fabricante se encuentran por debajo del límite definido por la fluencia del material.

Por otro lado, dadas las condiciones operativas actuales de la turbina, y habiendo ajustado el modelo a los datos reales medidos por las termocuplas ubicadas en puntos críticos a lo largo de la carcasa, se propuso un modo de carga para el arranque en frío para evitar gradientes térmicos que lleven a una deformación plástica del material. De este modo se controla la evolución de las temperaturas y no se generan altos picos de tensión durante el primer aumento de la carga.

#### 6. REFERENCIAS

- [1] Informe de Montaje del Grupo 3 - Central Necochea, SIEMENS AG Nov 1990.
- [2] ZIENKIEWICZ, O., El Método de los Elementos Finitos, Ed. Reverté, 1981.
- [3] GUYER, E., Handbook of Applied Thermal Design, McGraw-Hill, 1989.
- [4] SHEGLIAEV, A., Turbinas de Vapor, Ed. MIR, 1978.
- [5] Código GENRED. Código para la generación de redes de elementos finitos. INTEMA - Ftad. de Ingeniería - UNMdP.
- [6] Código TEMPEF. Código para la determinación de campos térmicos. INTEMA - Ftad. de Ingeniería - UNMdP.
- [7] Código TELPEF. Código para el cálculo de tensiones termo-elásto-plástico. INTEMA - Ftad. de Ingeniería - UNMdP.

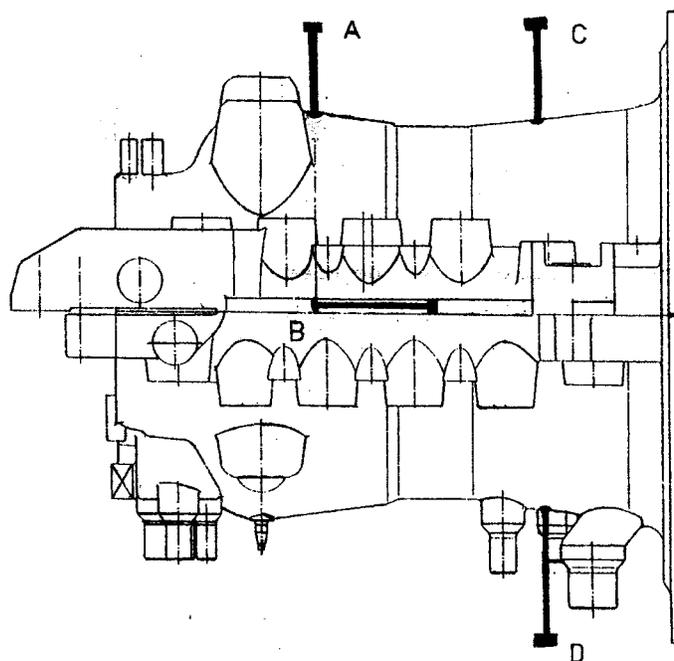


FIGURA 1: Esquema de la carcasa de alta presión y disposición de las termocupas.

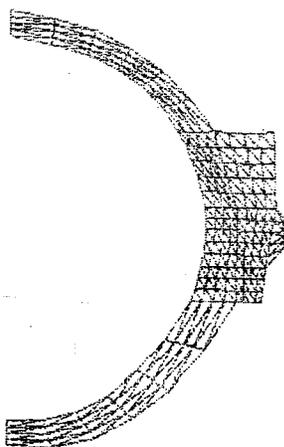


FIGURA 2: Red de elementos finitos para el corte transversal.

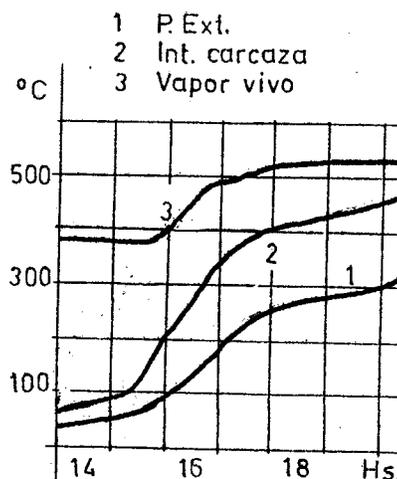


FIGURA 3: Variación de temperaturas en las termocupas.

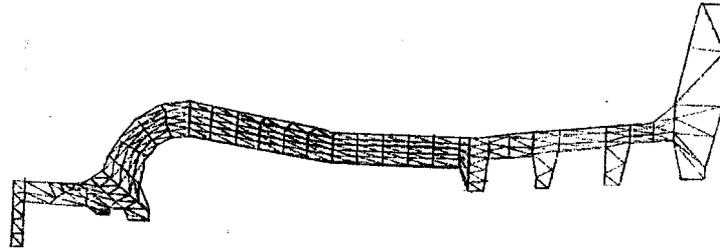


FIGURA 4: Red de elementos finitos para el corte axial.

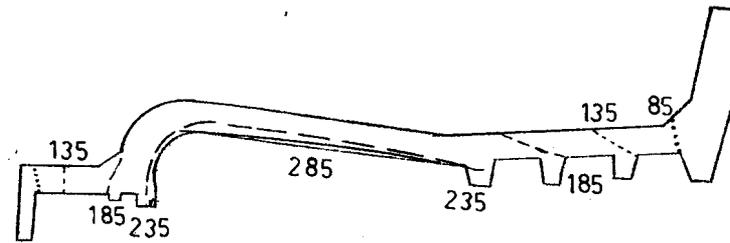


FIGURA 5: Distribución de temperaturas en el modelo de revolución ( °C).

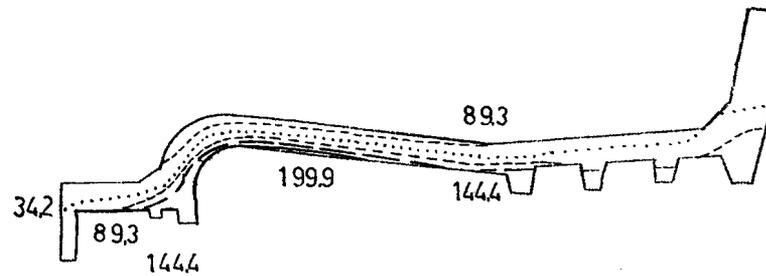


FIGURA 6: Tensiones equivalentes (MPa) en la carcasa.

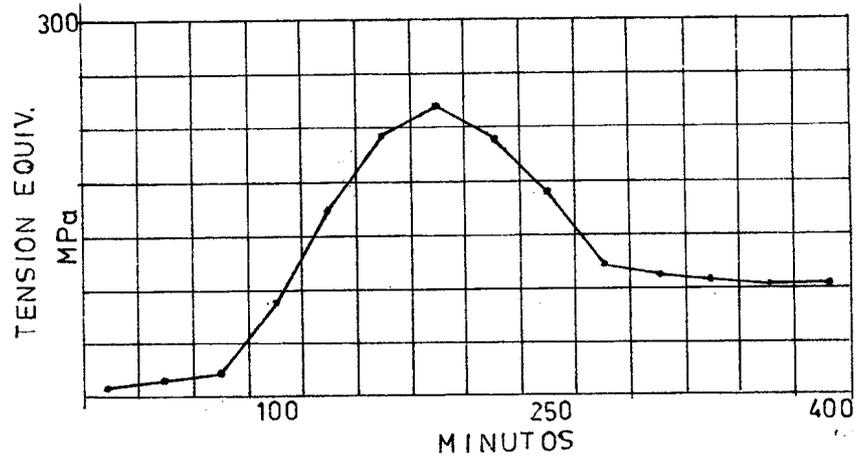


FIGURA 7: Esquema de la variación de las tensiones en una puesta en marcha en frío.

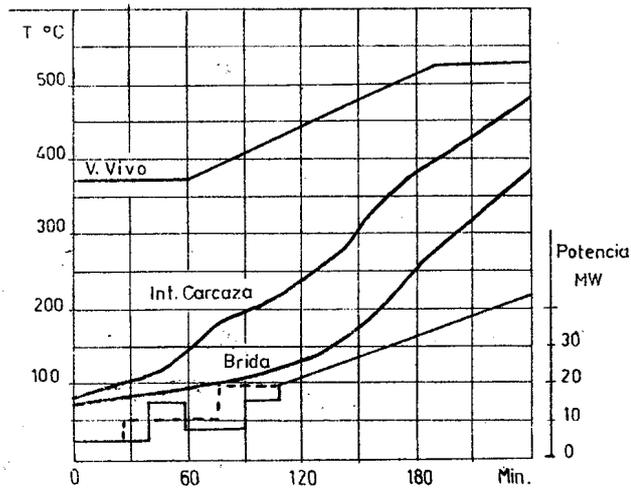


FIGURA 8: Régimen de carga propuesto y evolución de las temperaturas calculadas en el modelo.  
 — ORIGINAL — PROPUESTO

