

MEDICIONES DE DEFORMACION EN SOPORTES ANTISISMICOS DE UN GENERADOR DE VAPOR EN UNA CENTRAL NUCLEAR

Raúl Kulichevsky

Estudio y Ensayo de Componentes Estructurales - U.A. Ensayos No Destructivos y Estru

Comisión Nacional de Energía Atómica

Av. Gral Paz y Av. de los Constituyentes (1650), San Martín, Buenos Aires, Argen.....

Fax: (54) 1-754-7355; e-mail: kulichev@cnea.edu.ar



AR9800027

Los Generadores de Vapor de las Centrales Nucleares poseen distintos tipos de soportes estructurales. Uno de esos tipos son los soportes antisísmicos, los que deberían soportar cargas sólo en el caso en que tenga lugar un evento sísmico. A pesar de ello, se encuentran sometidos a un proceso de fatiga térmica originado en los ciclos térmicos que se producen durante las paradas y puesta en marcha de la Central a lo largo de la vida útil de la misma. Con el objeto de evaluar estas cargas durante la puesta en marcha de la Central, se instrumentaron con extensómetros dos soportes antisísmicos de uno de los Generadores de Vapor de la Central Nuclear Embalse, uno en la zona superior y otro en la zona inferior del mismo. En este trabajo se presentan el tipo de instrumentación utilizada y los resultados obtenidos durante dos operaciones de puesta en marcha. Se analiza además la influencia de los parámetros de operación de la puesta en marcha de la Central sobre la evolución de las deformaciones.

The Nuclear Power Plants (NPPs) Steam Generators have different types of structural supports. One of these types are the antiseismic supports, which are intended to be under stress only if a seismic event takes place. Nevertheless, the antiseismic supports lugs, that are welded to the Steam Generator Vessel, are subjected to thermal fatigue because of the temperature cycles related with the shut down and start up operations performed during the life of the NPP. In order to evaluate the stresses that the lugs are subjected to, several strain gages were welded on two supports lugs, positioned at two heights of one of the Embalse NPP Steam Generators. In this paper, the instrumentation used and the strain measurements obtained during two start up operations are presented. The influence of the Plant start up operation parameters on the lugs strain evolution is also analyzed.

I. INTRODUCCION

Los Generadores de Vapor de las Centrales Nucleares poseen distintos tipos de soportes estructurales. Uno de esos tipos son los soportes antisísmicos, los que deberían soportar cargas sólo en el caso en que tenga lugar un evento sísmico. A pesar de ello, se encuentran sometidos a un proceso de fatiga térmica originado en los ciclos térmicos que se producen durante las paradas y puesta en marcha de la Central a lo largo de la vida útil de la misma.

La Central Nuclear Embalse es del tipo CANDU 600 y se encuentra operativa desde el año 1984. Posee cuatro Generadores de Vapor idénticos compuestos por un manajo de tubos en U invertida instalado en una carcasa de 16,3 m de altura y diámetros mayor y menor de 3,86 y 2,77 m respectivamente. La representación esquemática de uno de ellos puede observarse en la Figura 1, en la que los soportes antisísmicos aparecen denominados como "lateral supports".

Como parte del programa de mantenimiento predictivo de la Central se decidió realizar una modelización por el método de elementos finitos de los soportes antisísmicos para evaluar las cargas térmicas a que se ven sometidos durante las paradas y puesta en marcha de la Central. Asimismo, y de manera de poder convalidar los resultados obtenidos por medio de la modelización, se instrumentaron con extensómetros dos soportes del Generador de Vapor N° 4, uno ubicado en la parte superior del GV y el otro en su parte inferior.

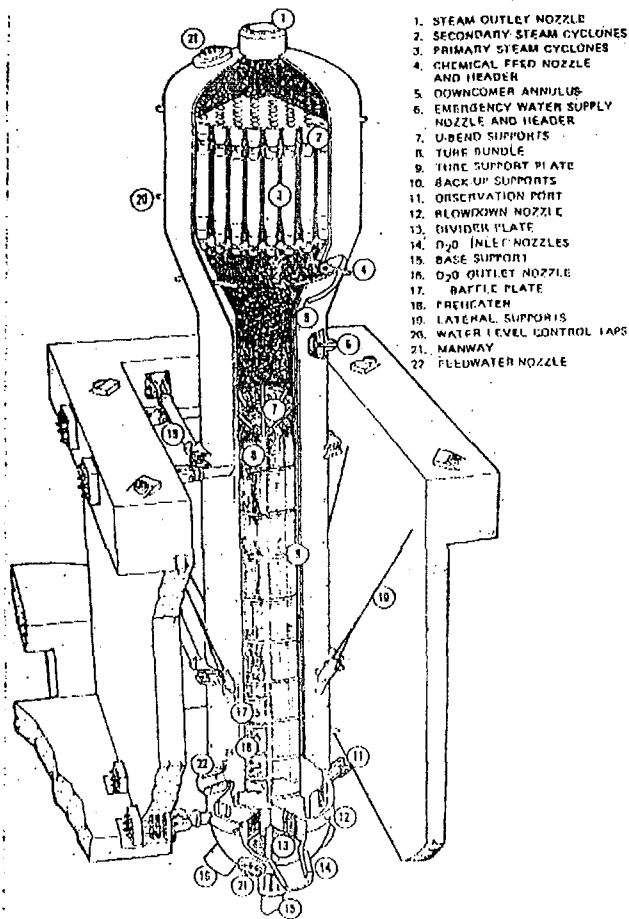
Debido a que los extensómetros disponibles tenían una compensación por temperatura distinta a la que corresponde a los materiales de los soportes, fué necesario además instrumentar termocuplas cerca de las posiciones de los extensómetros para poder realizar a posteriori las correcciones correspondientes.

En este trabajo se presentan el tipo de instrumentación utilizada y resultados obtenidos durante dos operaciones de puesta en marcha. Se analizan además la influencia de algunos parámetros de operación de la Central durante la puesta en marcha, tales como la temperatura del primario en los colectores, la temperatura del agua de alimentación a los GV y la presión de vapor principal, sobre la evolución de las deformaciones registradas en los soportes.

II. INSTRUMENTACION UTILIZADA

Para obtener las deformaciones producidas en los soportes antisísmicos durante el calentamiento del Generador de Vapor N° 4 (GV4) se instrumentaron dos soportes, uno en la zona superior y otro en la zona inferior del mismo, con diez extensómetros del tipo soldables y seis termocuplas. Las características de los extensómetros utilizados son las siguientes:

- resistencia eléctrica de la grilla (R): $351,2 \pm 1,2 \Omega$
- longitud de la grilla: 5 mm
- factor de medición ("gage factor", K): $2,01 \pm 2,0\%$
- forma de fijación: soldable
- compensación de temperatura: 16,2 PPM/°C.



1. STEAM OUTLET NOZZLE
2. SECONDARY STEAM CYCLONES
3. PRIMARY STEAM CYCLONES
4. CHEMICAL FEED NOZZLE AND HEADER
5. DOWNCOMER ANNULUS
6. EMERGENCY WATER SUPPLY NOZZLE AND HEADER
7. U-BEND SUPPORTS
8. TUBE BUNDLE
9. TIRE SUPPORT PLATE
10. BACK-UP SUPPORTS
11. OBSERVATION PORT
12. BLOWDOWN NOZZLE
13. DIVIDER PLATE
14. D₂O INLET NOZZLES
15. BASE SUPPORT
16. D₂O OUTLET NOZZLE
17. Baffle PLATE
18. PREHEATER
19. LATERAL SUPPORTS
20. WATER LEVEL CONTROL TAPS
21. MANWAY
22. FEEDWATER NOZZLE

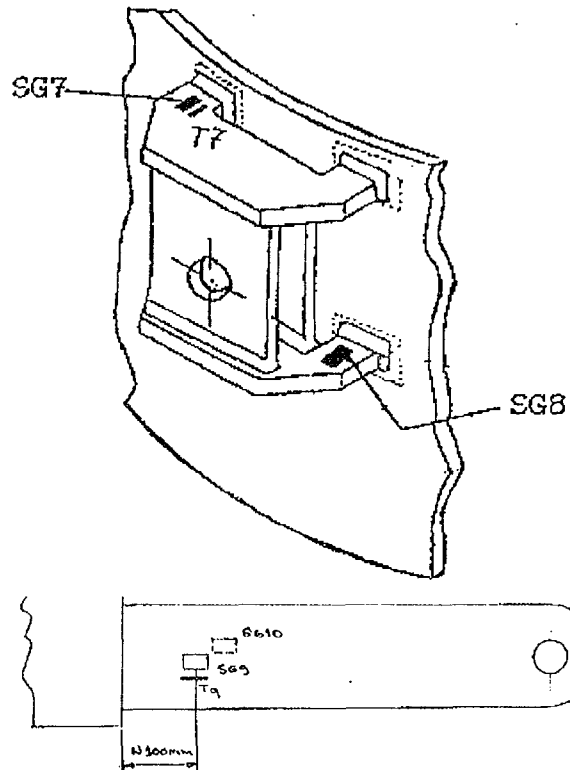


Figura 3: Posición de los extensómetros y termocuplas instrumentados en el soporte inferior.

Figura 1: Esquema de un Generador de Vapor

Una representación esquemática de la posición de los extensómetros instrumentados en los dos soportes, con sus correspondientes códigos, pueden observarse en las Figuras 2 y 3 respectivamente.

Como ya fuera mencionado en la Introducción de este trabajo, los extensómetros disponibles incorporaban una compensación por temperatura para aceros inoxidables (16,2 PPM/°C) la que resultaba distinta a la necesaria para los materiales de los soportes, SA 508 cl 2 las placas horizontales (donde estaban soldados, por ejemplo, el sg3 y el sg7) y las pestañas (sg5) y SA 516 gr 70 las placas verticales (con el sg4), fué necesario colocar termocuplas cerca de los extensómetros para conocer la temperatura de las zonas donde éstos fueron ubicados y así poder realizar a posteriori las correcciones necesarias. La ubicación de las termocuplas pueden observarse también en las Figuras 2 y 3. Las termocuplas utilizadas fueron del tipo K envainadas en acero, y fueron fijadas a los soportes por medio de abrazaderas tipo omega, las que fueron soldadas a los soportes.

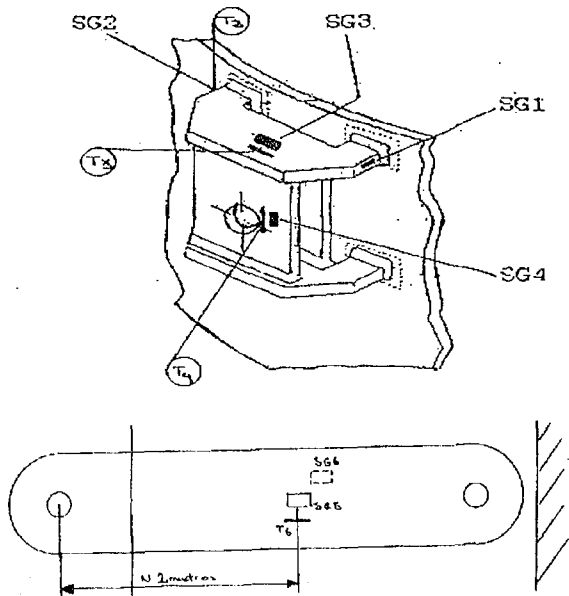


Figura 2: Posición de los extensómetros y termocuplas instrumentados en el soporte superior.

El equipamiento de medición de deformaciones estáticas estaba formado por un puente extensométrico combinado con una unidad de selección y balanceo de 10 canales, mientras que las señales de deformación dinámica se registraron por medio de una grabadora de FM para su posterior procesamiento. La medición de temperaturas se realizó utilizando un módulo de medición de temperaturas conectados a un multímetro digital.

III. CORRECCIONES REALIZADAS A LOS VALORES MEDIDOS

Los valores de deformación proporcionados por los extensómetros debieron ser corregidos por dos factores⁽¹⁾:

1) los extensómetros, aún soldados sobre un material con un coeficiente de dilatación térmica de 16,2 PPM/°C entregan un valor de deformación en ausencia de tensiones (llamado aparente) cuando cambia la temperatura a la que se encuentran. El valor de la deformación aparente en función de la temperatura es suministrado por el fabricante, por lo que éste valor puede ser restado del valor leído. También debe tenerse en cuenta que el factor de proporcionalidad, K , es función de la temperatura, T , por lo que, los valores obtenidos, después de restar la deformación aparente, deben multiplicarse por $K_{ref} / K_{(T)}$ donde K_{ref} es el valor de K leído de la hoja de datos suministrada por el fabricante para la temperatura de referencia.

2) el otro factor se origina en la diferencia del coeficiente de dilatación del material real y 16,2 PPM/°C. Para compensar este efecto se debe conocer la temperatura a la que se encuentra el extensómetro (razón por la cual se instalaron las termocuplas) y el coeficiente de dilatación térmica del material al que está soldado.

La corrección de los valores obtenidos por medio del *sg4* (placa vertical, de acero SA 516 gr 70) se realizó por medio de la expresión:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_l - (\alpha_{(T)} - 16,2) \Delta T \quad (1)$$

donde ε_v es la deformación verdadera, ε_l es la deformación leída por instrumento, $\alpha_{(T)}$ es el coeficiente de dilatación térmica medio entre T_0 y T y ΔT es el incremento de temperatura entre el estado de referencia y el actual. El coeficiente de dilatación térmica utilizado fué calculado en base a los coeficientes instantáneos correspondientes a materiales del Grupo A de la Tabla I-5.0 del Código ASME 3. En base a los valores instantáneos de esta tabla el $\alpha_{(T)}$ se calculó en función de la temperatura por medio de cuadrados mínimos en el rango de 21 a 288 °C resultando:

$$\alpha_{(T)} = (0,1214 * T [°C] + 11,3154) * 10^{-6} / °C \quad (2)$$

con un coeficiente de correlación de 0,9995.

Para la corrección de los valores de deformación obtenidos por los demás extensómetros, soldados sobre acero SA 508 cl 2, fué posible conseguir, a posteriori de las series de medición, una probeta de este material, por lo que se realizó un ensayo, soldando sobre la probeta un extensómetro del mismo tipo y serie de los utilizados en los soportes del GV, calentando la probeta hasta temperaturas de aproximadamente 280 °C y registrando los valores de deformación que acusaba el extensómetro también con el mismo equipamiento de medición. Este ensayo se realizó en tres oportunidades, obteniendo valores repetitivos. Los valores obtenidos en una de estas corridas son presentados en la Tabla 1.

Estos resultados se ajustaron por medio de la siguiente función con un coeficiente de correlación de 0,99988 y donde T_0 es la temperatura de puesta a cero de la electrónica asociada:

$$\varepsilon_e = -1042,551 + 1255,91 \cos(0,0045(T - T_0)) + 0,5923 \quad (3)$$

Los valores de deformación se corrigieron entonces por medio de:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_l - \varepsilon_e \quad (4)$$

TABLA 1: Valores de Deformación registrados con un extensómetro soldado sobre una probeta de acero SA 508 cl 2

Temperatura [°C]	Deformación [μ s]
21,3	0
86,4	-244
117,2	-387
141,1	-512
168,9	-635
189,1	-753
214,6	-895
236,4	-1022
256,1	-1136
282,2	-1268

Debe destacarse que los extensómetros *sg6* y *sg9* acusaron fallas desde el inicio de las mediciones, por lo que esos datos no pudieron ser registrados.

IV. PRESENTACION DE LOS RESULTADOS Y COMENTARIOS

Los valores de deformación obtenidos, en función del tiempo, por medio de los extensómetros *sg1*, *sg4* y *sg5* durante la primer puesta en marcha monitoreada se presenta en la Figura 4. El cero del eje de tiempos corresponde al momento de puesta a cero de la electrónica asociada

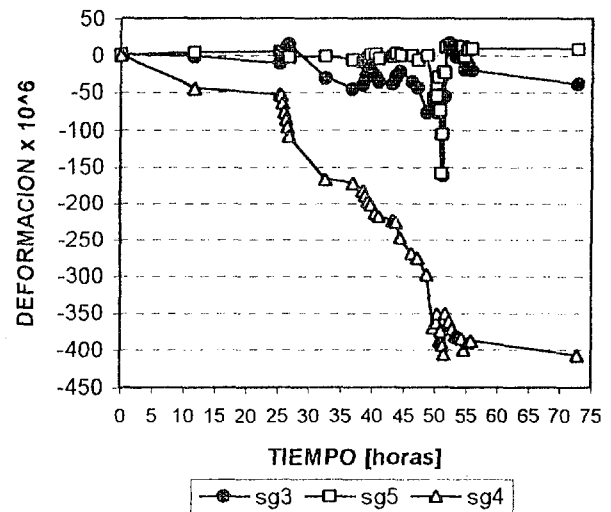


Figura 4: Valores de deformación obtenidos durante la primer puesta en marcha monitoreada.

En esta figura puede observarse que, aproximadamente a las 51 horas de comenzadas las mediciones, los extensómetros *sg3* y *sg5* acusaron un cambio en la tendencia que venían desarrollando, verificándose un pronunciado aumento en los valores de presión registrados. Este comportamiento se verificó

de manera similar en los extensómetros *sg1* y *sg2* y en los instrumentados en el soporte inferior. El hecho de que existiera un pequeño corrimiento temporal en el valor máximo de compresión alcanzado por los extensómetros o de que el *sg4* no tuviera un cambio drástico en su evolución general descarta cualquier problema relacionado con la instrumentación utilizada (ruidos eléctricos, inestabilidad térmica del equipo de medición, etc.). Analizando además la evolución temporal de algunos de los parámetros de operación de la Central durante la puesta en marcha, tales como la temperatura del primario en los colectores, la temperatura del agua de alimentación a los GV y la presión de vapor principal pudo verificarse que este comportamiento coincidía con bruscas oscilaciones de la temperatura de alimentación a los GV y con la rampa de aumento de la presión de vapor principal de 20 a 47 kg/cm², tal como se muestra en la Figura 5.

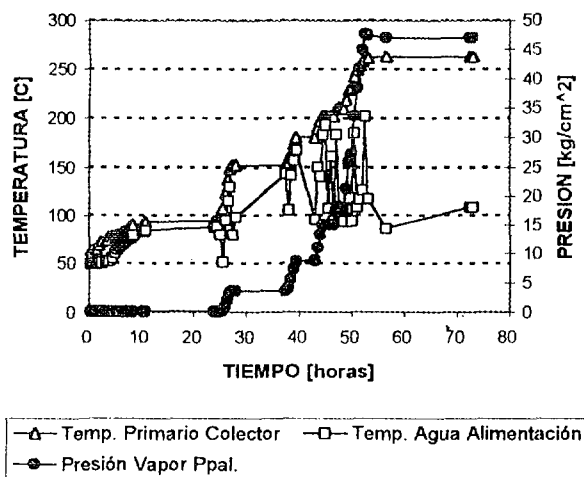


Figura 5: Evolución temporal de los parámetros de operación de la Central durante la primera puesta en marcha.

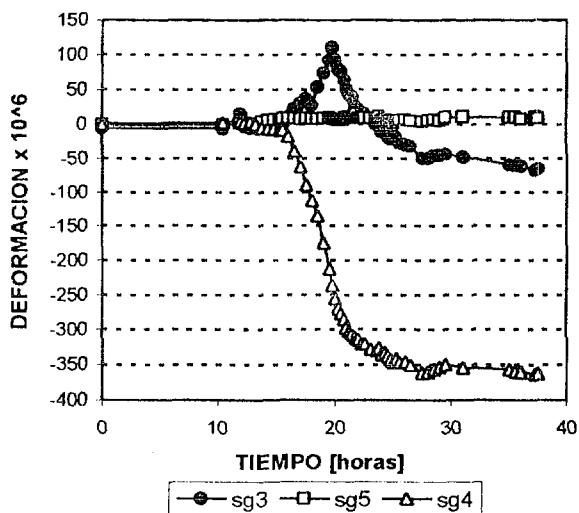
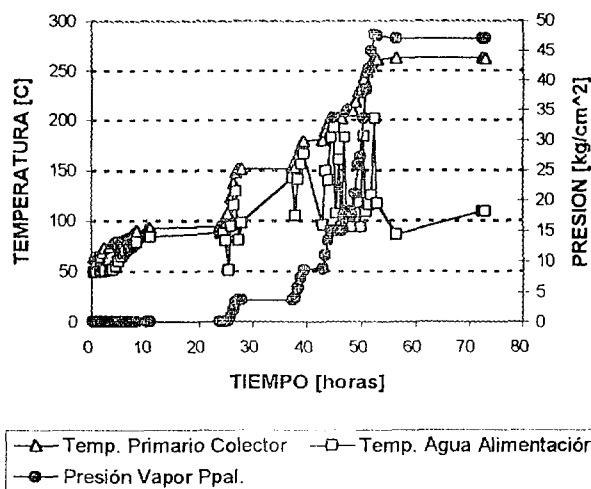


Figura 6: Valores de deformación obtenidos durante la segunda puesta en marcha monitoreada

En la Figura 6 se puede observar la evolución de las deformaciones registradas por los mismos extensómetros presentados en la Figura 4, pero correspondiente a la segunda puesta en marcha monitoreada. Comparando ambas figuras se puede observar que, si bien los valores finales de deformación registrados en ambos procedimientos son similares, la evolución es bastante diferente en los casos del *sg3* y del *sg5*. El *sg3* presenta un pico de valores de deformación, en este caso en tracción, entre las horas 16 y 18,5. Previamente se había detectado otro pico, de menor magnitud en la hora 12, mientras que el *sg5* registró valores de deformación prácticamente insignificantes durante todo este proceso. Picos de deformación similares a los del *sg3* fueron registrados por el *sg7* y el *sg8* (soporte inferior).

La observación de la evolución temporal de la temperatura del primario en el colector, la temperatura del agua de alimentación y la presión de vapor principal correspondientes al GV4 (Figura 7) indica que, nuevamente, podría establecerse una relación entre los picos de deformación registrados por los extensómetros y oscilaciones importantes en la temperatura del agua de alimentación.



V. CONCLUSIONES

La instrumentación por medio de extensómetros soldables de dos soportes antisísmicos de un Generador de Vapor y el posterior análisis de los resultados obtenidos permite arribar a las siguientes conclusiones:

- Fué posible obtener datos reales de la deformación de dichos soportes durante dos puestas en marcha de la Central, los que constituyen un aporte importantísimo al trabajo de modelización por elementos finitos de los mismos.
- Los extensómetros soldables mostraron una muy buena estabilidad en el tiempo, ya que entre la primera y segunda serie de mediciones transcurrieron varios meses, y confiabilidad para trabajos en alta temperatura la cual, en este caso, alcanzó los 260 °C.

- Si bien los valores finales de deformación alcanzados en ambas series de medición fueron similares, la evolución hacia los mismos fué distinta.
- En las dos series de mediciones realizadas pudieron detectarse picos de deformación que afectaron tanto al soporte superior como al inferior.
- Parecería existir una relación entre los picos de deformación registrados y las oscilaciones de la temperatura del agua de alimentación del Generador de Vapor durante las operaciones de puesta en marcha de la Central.

VI. REFERENCIAS

1 - Hoffmann, Karl. "An Introduction to Measurements Using Strain gages", De. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, 1989.

