

EVALUACIÓN DE LA FATIGA EN LA VASIJA DE CN SANTA M^a DE GARONA: Transitorios Reales frente a Transitorios de Diseño

J. MARTÍN - I. GORROCHATEGUI

La documentación oficial de CN Sta. M^a. Garoña define el número de los distintos transitorios para los que está diseñada la vasija frente a fatiga. Los distintos transitorios, a su vez, se describen en la especificación de diseño del componente correspondiente.

En este trabajo, por un lado, se compara la descripción de los eventos de diseño con la realidad y, por otro lado, se compara el número de transitorios ocurridos con los previstos originalmente. En ambos casos se evalúa el impacto de la diferencia entre previsión de diseño y realidad en el gasto por fatiga de la vasija.

The number of transients that control the fatigue life of its reactor pressure vessel is included in the Sta. M^a. Garoña NPP Technical Specifications, being the different transients described in the design specification of the corresponding component.

In this work, on the one hand, the description of the design transients with their corresponding real ones is compared and, on the other hand, the number of occurrences and the number of transients originally estimated is also compared. In both cases the influence of the difference between design and reality in the fatigue usage is discussed.

INTRODUCCIÓN

La fatiga es uno de los mecanismos que limita la vida de los componentes. Los cálculos de diseño consideran, de forma general, sus efectos de forma conservadora y, en consecuencia, la duración estimada de los componentes se ve reducida. Una forma de evitar este inconveniente es el empleo de sistemas de monitorización, los cuales permiten controlar las condiciones de las localizaciones monitorizadas y registrar su gasto en fatiga de forma continua. En este artículo se aborda la aplicación de uno de estos sistemas de monitorización en CN Sta. M^a de Garoña (SMG).

Uno de los componentes más críticos

de la central es la vasija del reactor, la cual se ve sometida a choques térmicos durante la operación normal de la instalación. Las tensiones térmicas así producidas, junto con las originadas por las variaciones de presión, tienen carácter alternante y, en consecuencia, dan lugar a la actuación de la fatiga sobre este importante componente.

Con el objeto de limitar el gasto por fatiga de la vasija, en la Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de SMG se definen los "límites transitorios o cíclicos" para los que está diseñada la central.

CÁLCULOS ESTRUCTURALES

Los cálculos estructurales originales de la vasija de SMG, que fueron realizados por la empresa fabricante (RDM) de acuerdo a la edición aplicable del Código ASME [1], abarcan de forma independiente el análisis detallado de sus diferentes partes, incluyendo la evaluación del gasto por fatiga allí donde es necesario.

La vasija dispone de toberas mediante las cuales se conectan al reactor tanto los sistemas necesarios para el correcto funcionamiento de la planta como los necesarios para garantizar su seguridad. Las toberas suponen, por un lado, discontinuidades geométricas donde se producen concentraciones de tensiones y, por otro lado, zonas de mezcla de fluidos a distinta temperatura que dan origen a tensiones térmicas

de distinta naturaleza. Este hecho hace que las toberas sean las localizaciones de la vasija más críticas desde el punto de vista de la fatiga.

De entre los distintos sistemas conectados a la vasija, el de Agua de Alimentación (FDW) es el que induce las condiciones más severas a su tobera (N4) - a causa de su operación de forma continuada y por la temperatura del fluido que transporta - y así se ve reflejado en los cálculos estructurales [2], en los cuales esta conexión es la que resulta con el mayor gasto por fatiga de diseño.

Con motivo de unas modificaciones llevadas a cabo en la planta en el año 1994 los cálculos estructurales de esta tobera fueron rehechos [3]. De estos nuevos cálculos se desprende una nueva evaluación del gasto por fatiga en esta localización de acuerdo a la edición de 1986 del Código ASME, cuya edición de 1965 [1] fue la empleada en los cálculos originales.

SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE FATIGA

Un sistema de monitorización de fatiga (FMS) es una herramienta informática que permite el registro continuo de las condiciones de los componentes seleccionados y, como resultado, la actualización instantánea del gasto en fatiga que han acumulado.

El sistema actualmente instalado en SMG, desde 1999, es el FatiguePro

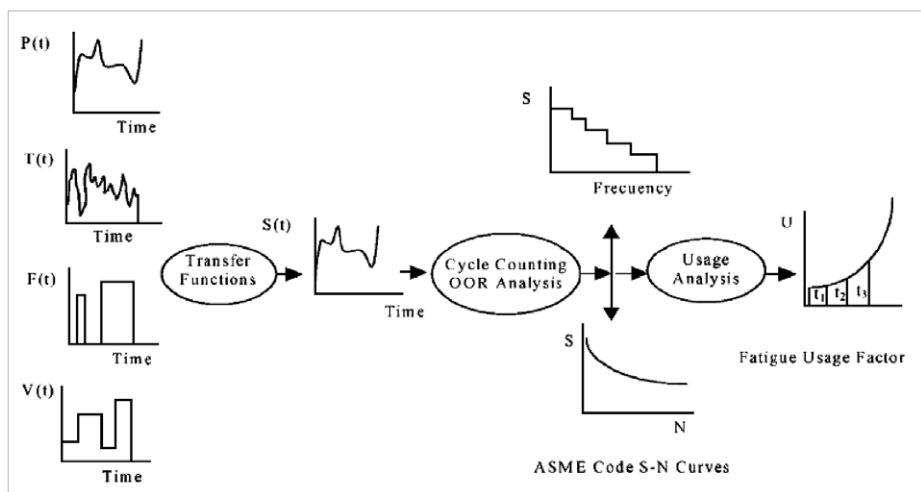


Figura 1. Proceso de cálculo de un sistema de monitorización de fatiga.

Version 2 (FPro) desarrollado por EPRI [4]. Este sistema adquiere los datos necesarios de la instrumentación de la planta y los convierte en valores de tensión frente al tiempo haciendo uso de una serie de funciones (denominadas funciones de transferencia) previamente desarrolladas para las localizaciones de interés, la tobera N4 en el caso de SMG. Con anterioridad a 1999, desde 1994, la central disponía de un sistema similar instalado por General Electric [5].

La Figura 1 ilustra el proceso seguido por el FMS de SMG. FPro adquiere los datos siguientes de la instrumentación de la planta:

- presión y temperatura del reactor
- temperatura, caudal y posición de las válvulas de todos los sistemas que afectan a la tobera N4.

Todos estos datos se combinan para obtener la presión, la temperatura del fluido y el caudal a través de la tobera [6].

Las tensiones térmicas se calculan haciendo uso de funciones de Green previamente definidas y las tensiones mecánicas a través de las funciones de transferencia anteriormente mencionadas [6]. Esta metodología permite el cálculo de las tensiones totales actuantes en los puntos de interés, así, eva-

luando la historia tensional del componente, aplicando un criterio de contabilidad de ciclos y haciendo uso de las curvas S-N del Código ASME, es posible obtener el gasto acumulado por fatiga (U).

TRANSITORIOS DE DISEÑO

La Figura 2 es la tabla extraída de las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETFs) de SMG que contiene el número admisible de diseño de los transitorios para los que está diseñado el reactor.

A su vez, cada uno de estos transitorios está descrito en el plano 885D941 [7], referenciado en la especificación de diseño de la vasija, del cual se han extraído algunos de los gráficos incluidos a continuación.

De los transitorios contenidos en esta tabla, ni los 10.000 cambios de potencia al 75%, ni los 2.000 cambios de potencia al 50%, ni los 400 cambios de secuencia de las barras de control producen gasto en fatiga como se desprende de su descripción. En la Figura 3 puede apreciarse como las condiciones en el reactor (presión y temperatura) en estos tres transitorios permanecen prácticamente constantes.

De acuerdo al diseño de SMG, la pérdida de los calentadores de FDW da lugar a un disparo del reactor (scram). Este hecho es conservador según la definición de los transitorios mostrada en la Figura 4. Así, los 80 ciclos de cambio en escalón habrán de añadirse a los 200 de disparo del reactor y considerarlos de forma conjunta.

Finalmente la Figura 5 es la representación teórica de los transitorios de diseño de arranque y parada del reactor.

TRANSITORIOS REGISTRADOS

Contabilización de transitorios

Una de las aplicaciones del FMS es la contabilización de los ciclos térmicos experimentados en las localizaciones controladas a lo largo del tiempo. Así, desde la instalación de este sistema en SMG (Julio 1994) hasta la actualidad (10.5 años) se han registrado, de entre los transitorios incluidos en las ETFs que producen gasto en fatiga, los siguientes:

- Arranques y paradas: 12
- Disparos (incluyendo cambios en escalón): 12

Si se extrapolan linealmente estos valores hasta los 40 años de diseño de

Tabla 5.6-1

LÍMITES TRANSITORIOS O CÍCLICOS DE COMPONENTES

COMPONENTE	LÍMITE TRANSITORIO O CÍCLICO	TRANSITORIO O CICLO DE DISEÑO
Reactor	120 ciclos de calentamiento y enfriamiento	Arranque a 55,5°C/h (100°F/h) y parada a 55,5°C/h (100°F/h)
	10.000 ciclos de cambio de potencia	Reducción diaria al 75% de la POTENCIA TÉRMICA NOMINAL
	80 ciclos de cambio en escalón	Pérdida de los calentadores del agua de alimentación
	200 ciclos de disparo del reactor	100% a 0% de la POTENCIA TÉRMICA NOMINAL
	2.000 ciclos de cambio de potencia	Reducción semanal al 50% de la POTENCIA TÉRMICA NOMINAL
	400 cambios de secuencia de las barras de control	-----

Figura 2. Transitorios de diseño del reactor de SMG.

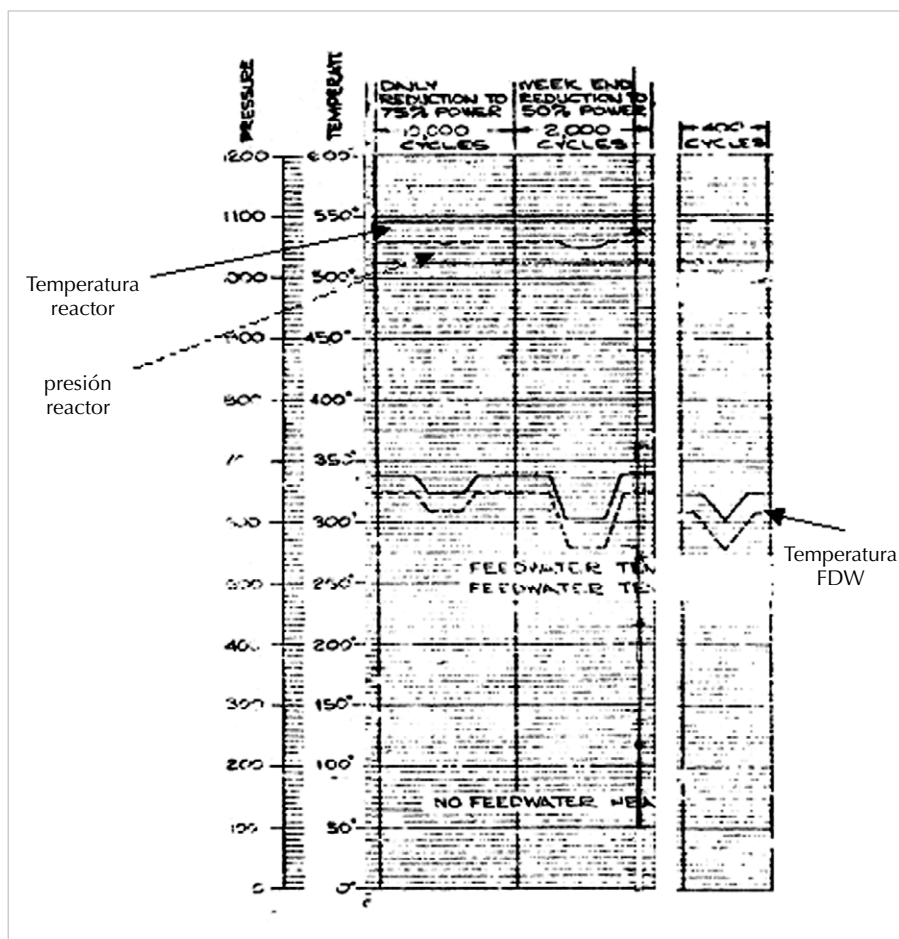


Figura 3. Cambios de potencia y de secuencia de barras de control. (Documento original)

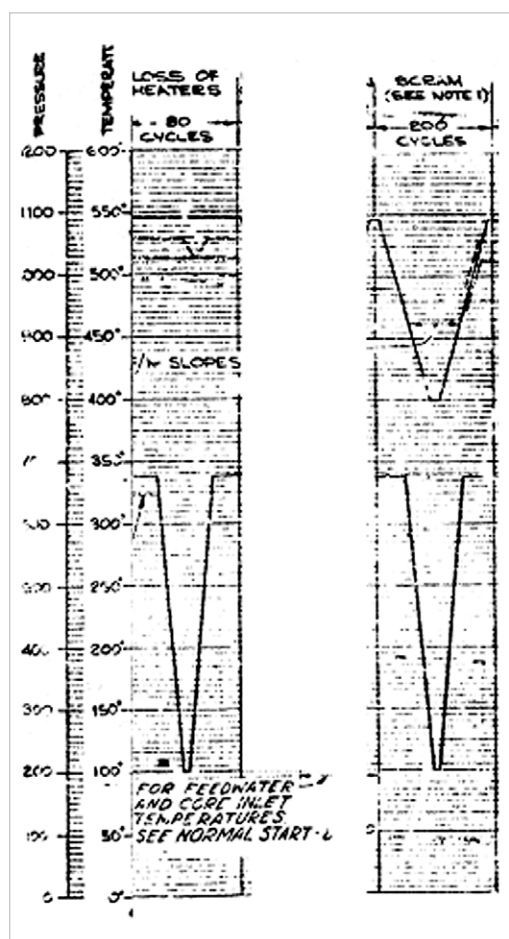


Figura 4. Cambios en escalón y disparo del reactor. (Documento original)

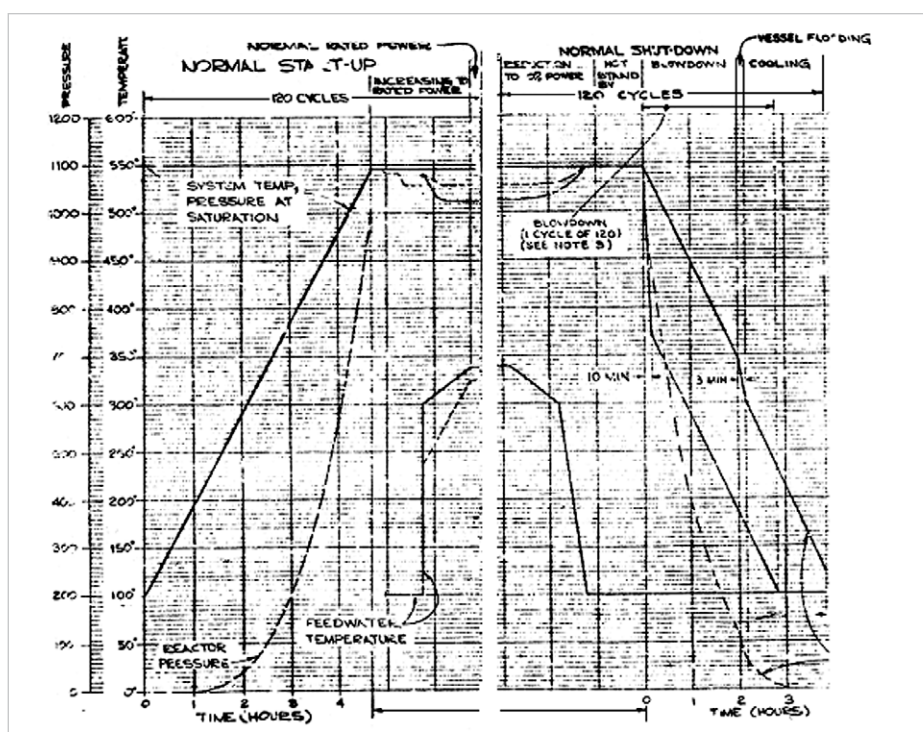


Figura 5. Arranque y parada del reactor. (Documento original)

la central, para los cuales está definido el número admisible de las ETFs, se obtiene $12 \cdot 40 / 10.5 = 46$, valor éste muy inferior tanto a los 120 ciclos de arranque y parada como a los 280 disparos estimados.

Representación de los transitorios reales

El FMS instalado en SMG registra todos los parámetros involucrados en la fatiga de los componentes monitorizados. Esta propiedad permite la comparación directa entre los transitorios de diseño y los sucesos que realmente han tenido lugar en la instalación. A modo de ejemplo, las Figuras 6 y 7 representan, respectivamente, un arranque y un scram ocurridos en SMG.

En esta figura puede apreciarse la buena correspondencia entre la descripción del transitorio de diseño y la realidad en lo que a las condiciones del reactor respecta, pero no así en lo relativo a la temperatura del FDW. Esta consideración es extrapolable al caso de la parada.

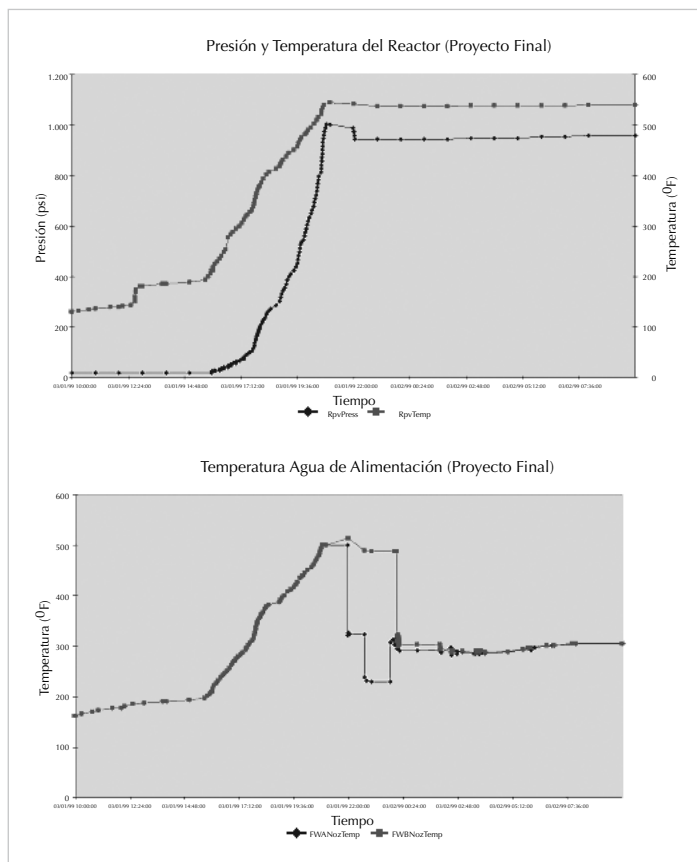


Figura 6. Arranque real del reactor.

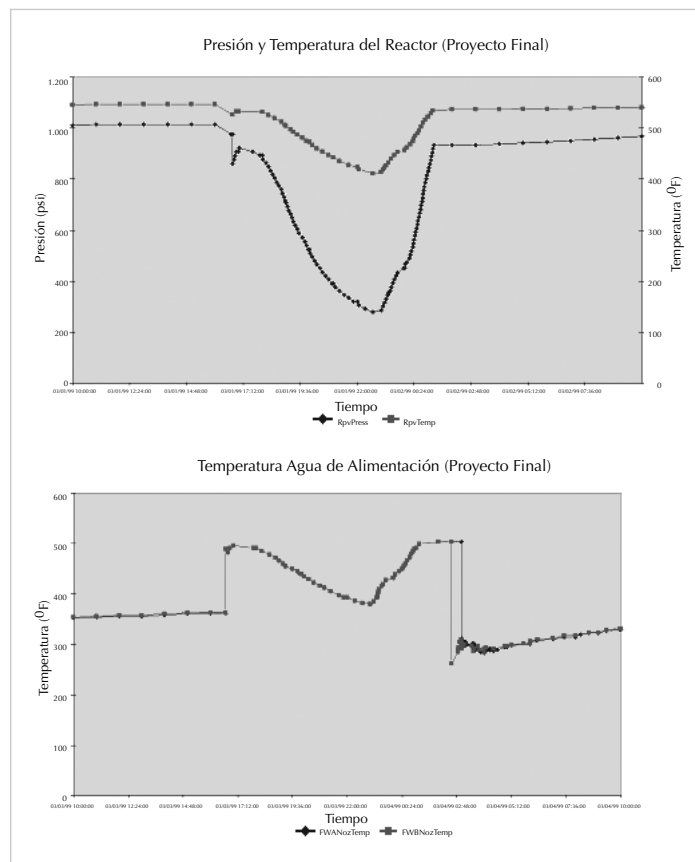


Figura 7. Scram real del reactor.

Al igual que en el caso anterior, en la Figura 7 se observa que en el scram de diseño se representan correctamente las condiciones del reactor pero no la temperatura del FDW.

EVALUACIÓN DEL GASTO EN FATIGA

En este apartado se discute la influencia en el cálculo del gasto en fatiga de las consideraciones realizadas a lo largo del artículo.

Una primera observación es que el número de transitorios ocurridos en la planta (de los contenidos en las ETFs) está en torno al 23% del número de transitorios estimados en el diseño, 92 frente a 400 respectivamente. Este hecho, si bien es difícil de cuantificar, hace ver uno de los posibles beneficios de la implantación de los sistemas de monitorización.

El cálculo del gasto acumulado por fatiga más reciente de las toberas N4 [3] proporciona un valor de $U=0.9369$, inferior al valor admisible $U=1$, para 40 años de vida de diseño. Ha de mencionarse que en este cálculo intervienen no sólo los transitorios recogidos en las ETFs sino todos los que afectan a las toberas de los dos lazos del siste-

ma FDW. Aplicando este valor a los 10.5 años monitorizados se obtiene $U=0.9369 \cdot 10.5/40=0.246$. Por otro lado el valor del gasto en fatiga registrado por el FMS en este mismo periodo es de 0.00379 y 0.00356 para las toberas de los lazos A y B, respectivamente. Este cálculo, al igual que el anteriormente mencionado, incluye todos los transitorios experimentados por las toberas. La comparación entre ambos valores muestra de nuevo el beneficio que supone disponer de un sistema de monitorización de fatiga adecuado.

Se ha visto que los transitorios de diseño representan apropiadamente las condiciones del reactor pero no la temperatura del FDW. Esta observación conduce a un tercer beneficio de la utilización del FMS cual es la correcta evaluación del gasto en fatiga de las toberas N4, que son los puntos de la vasija más afectados por este mecanismo. Cabe mencionar que este hecho es específico de las particularidades de este sistema y que el resto de localizaciones está en principio bien evaluado de acuerdo a la descripción de los transitorios de diseño. Por otro lado también es reseñable que esta consideración tiene implicaciones que pueden estar

del lado de la seguridad, o no, dependiendo de la severidad relativa entre el transitorio real y el de diseño. A modo de ejemplo se puede mencionar que cuando se simulan con FPro los transitorios de arranque y parada y el de scram de diseño se obtienen valores unitarios de U de 0.0018 (incluye un arranque y una parada) y $2.12 \cdot 10^{-8}$, respectivamente. Un transitorio de diseño similar al representado en la Figura 7 (interrupción del caudal de FDW) proporciona un valor de $U=0.000133$.

Por otro lado el gasto en fatiga registrado por FPro para los transitorios reales correspondientes es:

- Entre $1 \cdot 10^{-5}$ (lazo A) y $2.5 \cdot 10^{-5}$ (lazo B) para el transitorio representado en la Figura 7.
- Entre $3.1 \cdot 10^{-5}$ (lazo B) y $6.93 \cdot 10^{-4}$ (lazo A) para el último ciclo de parada y arranque de SMG (Abril-2004).

Se aprecia, por un lado, el distinto comportamiento de los dos lazos. Esto es así porque a causa de los pequeños valores obtenidos, ligeras variaciones de las variables características repercuten de forma significativa en los resultados.

Por otro lado también es reseñable que el gasto en fatiga obtenido en los transitorios reales es inferior al calculado para su transitorio de diseño correspondiente.

CONCLUSIONES

Como conclusiones de este trabajo a continuación se resumen los beneficios que supone la utilización de un sistema de monitorización para la evaluación del gasto en fatiga en los componentes críticos de una instalación industrial como es la vasija del reactor de SMG:

- Contabilización exacta del número de transitorios experimentados.
- Cálculos más realistas, siempre del lado de la seguridad, que los de diseño original, pues éstos últimos tienden a ser excesivamente conservadores.
- Consideración de forma apropiada de las variables que controlan el cálculo tensional: representación realista de los transitorios.

REFERENCIAS

- [1] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, 1965 Edition.
- [2] Nuclenor Reactor Pressure Vessel - Analysis of Nozzles. RDM-IGE-1104, Rev. 0, 1968.
- [3] Tobera de Alimentación – N4, Informe de Cálculo, ENSA, AR-5904, Rev. 1, 1996.
- [4] FatiguePro Version 2: Fatigue Monitoring Software, EPRI, TR-107448, 1997.
- [5] Technical Description Manual for the General Electric Fatigue Monitoring System, GE-NE-523-47-0592, Rev. 0, 1992.
- [6] Transfer Function and System Logic Report for the Fpro Transient and Fatigue Monitoring System for the SMG NPP, SIA, SIR-99-030, Rev. 0, 1999.
- [7] 885D941. Nozzle Thermal Cycles.

Javier MARTÍN es Ingeniero Industrial por la Universidad Politécnica de Madrid. Actualmente es el Director de Tecnología de NUCLENOR, S.A.



Iñaki GORROCHATEGUI es Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad de Cantabria, entidad ésta en la que también alcanzó el grado de Doctor en el área de Ciencia de Materiales y posteriormente ejerció docencia durante varias etapas en calidad de Profesor Ayudante y Profesor Asociado. Actualmente es el responsable de la sección de Ingeniería de Materiales de la empresa NUCLENOR, S.A.