

Análisis termohidráulico de piscinas de combustible gastado PWR.

F. Sánchez-Sáez, V. Serradell, S. Carlos
Departamento Ingeniería Química y Nuclear. Universitat Politècnica de Valencia (UPV).
Cami de Vera s/n 46021 València, España.
F. Pelayo, R. Mendizábal
Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)
I.Sol
Asociación Nuclear Ascò-Vandellós (ANAV)

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del estudio de Seguridad en Parada de centrales nucleares se ha analizado el comportamiento del reactor bajo diferentes secuencias accidentales utilizando códigos de estimación óptima. Además, en dicha configuración de planta (en parada) las piscinas de combustible gastado están conectadas mediante el canal de transferencia con la cavidad de recarga para realizar la recarga de elementos combustibles. En estas condiciones, un determinado iniciador puede tener consecuencias tanto en el núcleo del reactor como en las piscinas de combustible gastado. Con el objetivo de analizar el comportamiento termohidráulico de las piscinas, y tomando como planta de referencia la central nuclear de Ascó, se ha construido un modelo de TRACE para la piscina haciendo uso de una componente Vessel-3D en coordenadas cartesianas. Dicho modelo ha sido utilizado para la simulación de dos escenarios transitorios: uno de ellos supone la pérdida del sistema de refrigeración de la piscina, mientras que en el segundo se postula la pérdida del sistema de refrigeración junto con una pérdida de refrigerante a través del canal de transferencia, ya que es muy importante conocer los tiempos disponibles de actuación que logren mantener la integridad de los elementos de combustible gastado frente a una pérdida de refrigerante. Ambos escenarios se han simulado suponiendo que la piscina se encuentra completamente llena de elementos combustibles, con lo que la generación de calor residual es la máxima posible.

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

En concreto, se ha estudiado la piscina de combustible gastado de Ascó, suponiendo el caso más desfavorable, en el que se encuentran 8 núcleos dentro de la misma, que generan 4.92 MW, más un núcleo recién extraído, que genera 4.39MW. Por lo tanto, el calor total que se genera dentro de la piscina será de 9.31 MW.

La geometría de la piscina de combustible gastado de Ascó es la que se muestra en las figuras 1 y 3 [1]. Además, en las figuras 2 y 4 se muestra el modelo que se ha implementado en Trace para simular la piscina.

A partir de las figuras 2 y 4, se ha modelado la piscina de combustible gastado de Ascó con una componente Vessel 3D en coordenadas cartesianas. Se ha distribuido la potencia en 5 segmentos diferenciados, como se muestra en las figuras 1 y 2. En estos segmentos, para cada celda $(x_i, y_i, z_{2:6})$, se ha distribuido el número de elementos combustibles que contienen en relación al área de la celda respecto al área total de las celdas que forman el segmento.

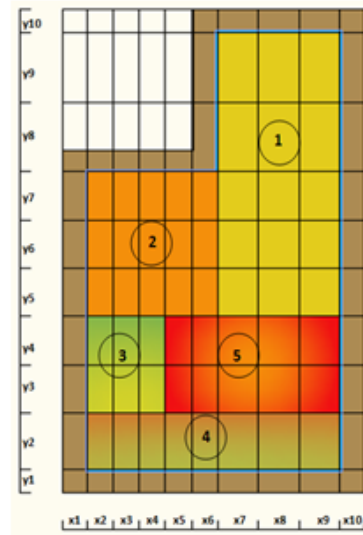


Fig 1. Plano X-Y. Esquema de la piscina de Ascó Fig2. Plano X-Y. Modelo implementado en Trace

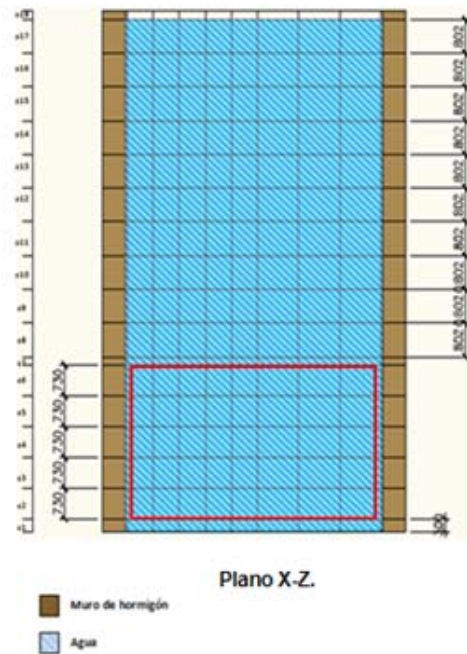
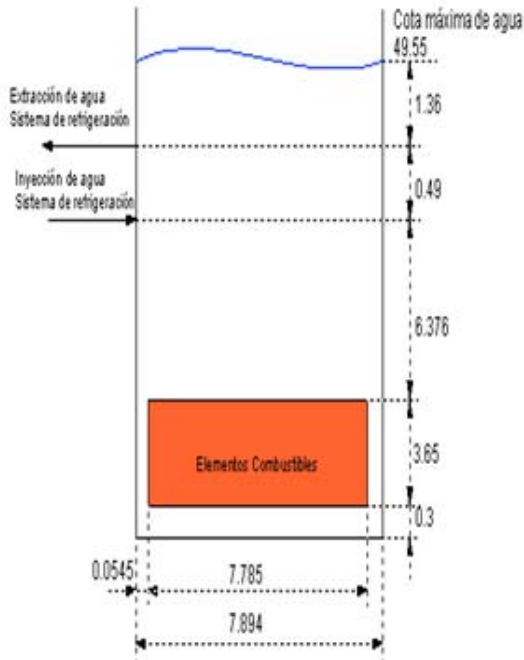


Fig 3. Plano X-Z. Esquema de la piscina de Ascó Fig4. Plano X-Z. Modelo implementado en Trace

3. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos para los dos transitorios.

3.1 Transitorio I : Pérdida de refrigeración

En este transitorio se simula que solamente ocurre la pérdida de refrigeración (no se pierde refrigerante por el canal de transferencia). Se han simulado 70000s. Los resultados de la evolución de la temperatura de la vaina se muestran en la figura 5. El refrigerante entra en saturación a los 22000 s, momento en el que empieza a disminuir el nivel de agua de la piscina debido a la evaporación. En esta primera parte de la simulación se observa una circulación natural, entre las diferentes zonas térmicas de la piscina, donde el agua circula, bajando por el *downcomer* de la piscina, y subiendo por los canales de los elementos de combustible gastado, principalmente por los del núcleo recién extraído.

Al final de la simulación, el nivel de agua colapsado en la piscina es de aproximadamente 7 m.

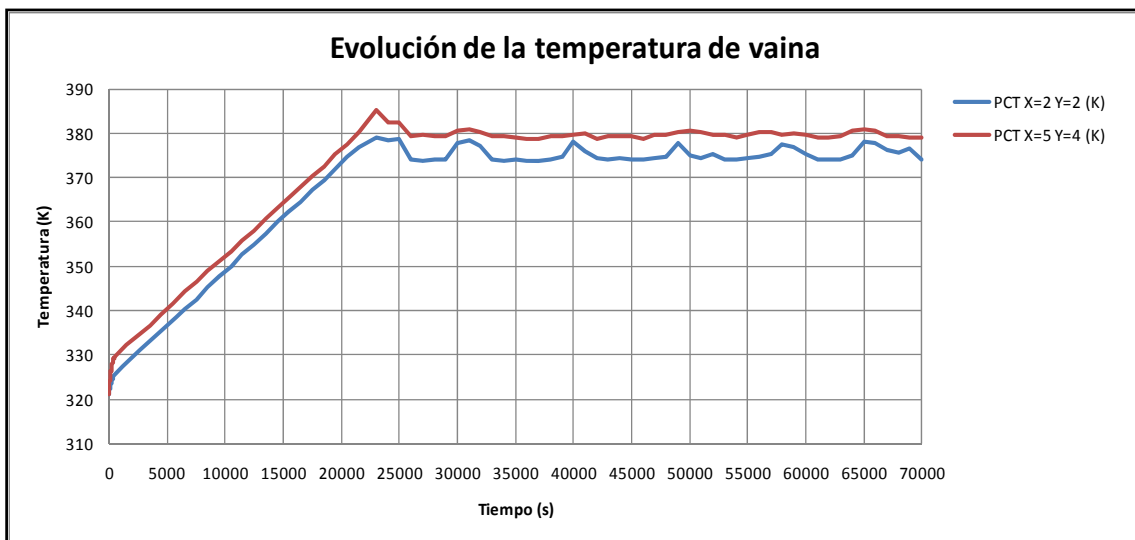


Fig 5. Evolución de la temperatura de vaina con el tiempo.

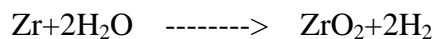
3.2 Transitorio: Pérdida de refrigeración + pérdida de refrigerante por el canal de transferencia

Se ha simulado un segundo transitorio en el que se produce una pérdida de refrigerante por el canal de transferencia junto con la pérdida del sistema de refrigeración de la piscina, por tanto no habrá ningún caudal de inyección.

En la figura 6 se muestra la evolución de las temperaturas de vaina con el tiempo. Durante el transitorio, se observan dos grupos de evoluciones de temperatura claramente diferenciadas: un grupo que alcanza la temperatura límite para la PCT, que se corresponde con las estructuras de calor del núcleo recién extraído y un segundo grupo, donde las temperaturas que se alcanzan son menores, que se corresponde con las estructuras de calor del resto de núcleos de la piscina. La PCT X=9 y=4, pertenece al núcleo recién extraído, y la PCT X=2 y=2 pertenece al resto de núcleos.

Del estudio de la fig 6 se extrae la siguiente información:

- A los 5300 s se alcanza la temperatura de saturación en el refrigerante y comienza el cambio de fase líquido-vapor.
- Desde los 5300 s hasta los 23000 se produce ebullición del refrigerante, reduciendo el nivel de agua en la piscina (Ver figura 7). La temperatura de vaina de los elementos de combustible gastado se mantienen constante a la temperatura de saturación del refrigerante a presión atmosférica (373 K).
- A partir de los 23000 s, se produce un descubrimiento de los elementos de combustible gastado, por lo que las temperaturas en vaina de los mismos empiezan a subir.
- A los 36400 s se alcanza, en el núcleo recién extraído, la temperatura en la cual empiezan a observarse los fenómenos de oxidación y de liberación de hidrógeno en las vainas de zircaloy. (873 k).



- A los 47200 s se sobrepasa el límite de la PCT [2] en el núcleo recién extraído, momento en el que la vaina pierde sus características mecánicas y se pierde la integridad de los elementos de combustible gastado (1477K).

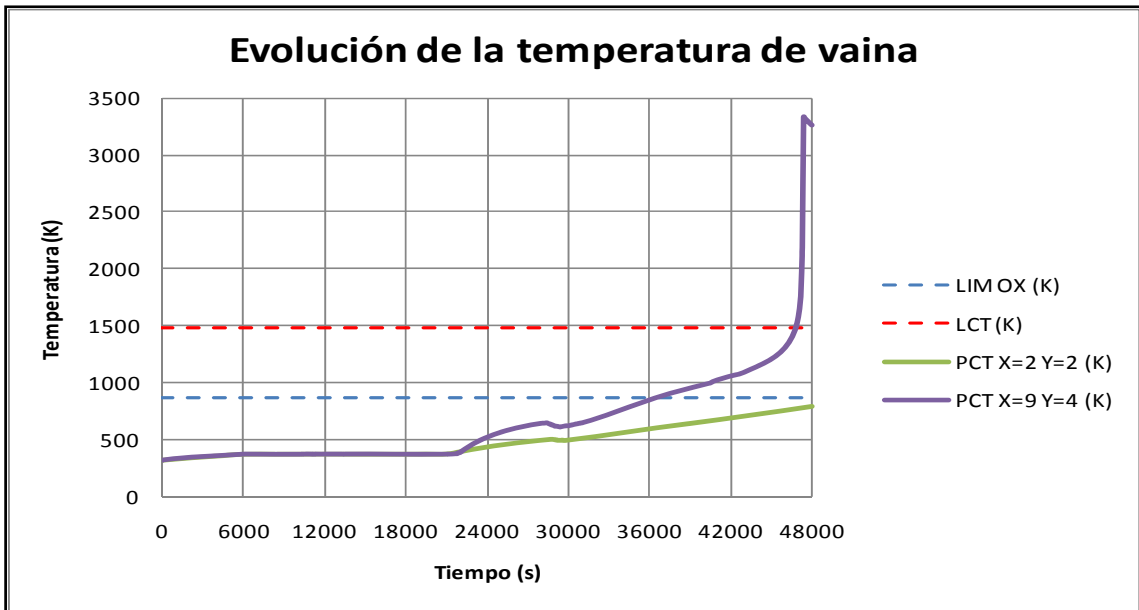


Fig 6. Evolución de la temperatura máxima de vaina con el tiempo.

En la figura 7 se muestra la evolución del nivel de refrigerante colapsado durante el transitorio. En ella se observa que se mantiene cierto nivel de agua durante todo el transitorio. En concreto:

- Cuando se alcanza la T Oxidación: 36400 s. Nivel: 2.028 m.
- Cuando se alcanza la LCT: 47200 s. Nivel: 1.495 m.

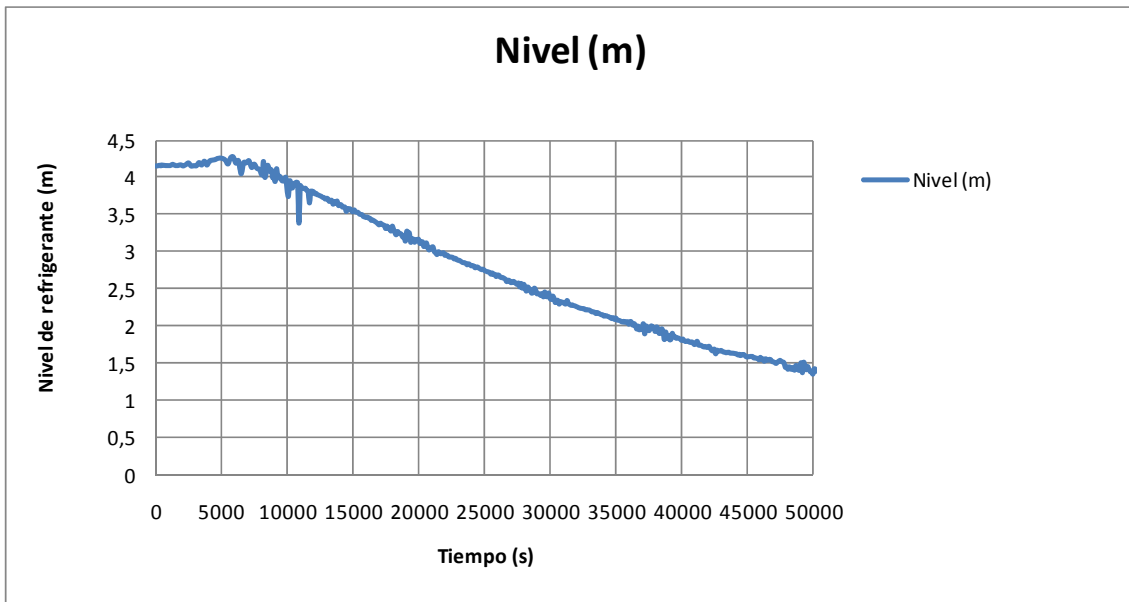


Fig 7. Evolución del nivel de refrigerante en la piscina con el tiempo.

En las figuras 8 y 9, se observa la distribución en planta de las temperaturas de vaina de las estructuras de calor de la piscina de combustible gastado en planta al empezar saturación (5300s) y al llegar al límite de oxidación (36500s). Tanto en la figura 8, como en la figura 9, se observa que las temperaturas más elevadas se corresponden con la zona donde está el núcleo recién extraído.

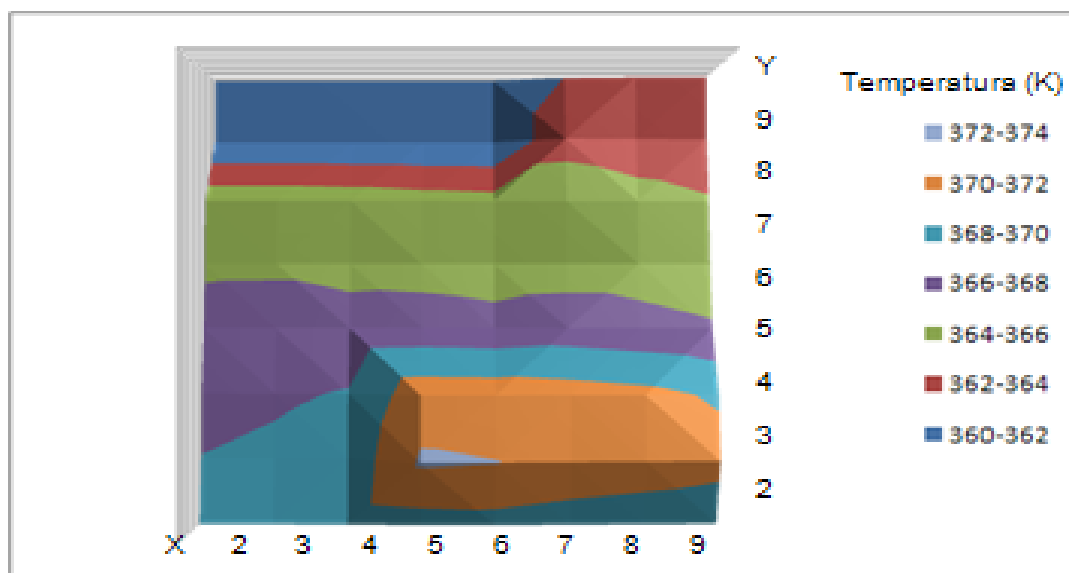


Fig 8. Distribución en planta de la piscina a los 5300s.

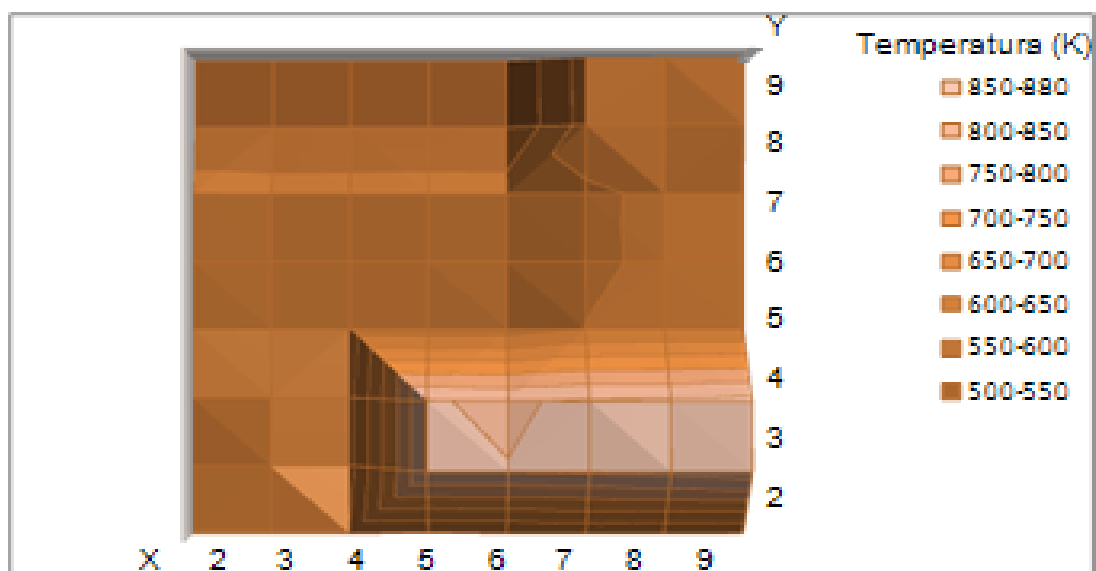


Fig 9. Distribución en planta de la piscina a los 36500s.

En las figuras 10, 11 y 12 se muestran los parámetros más representativos del modelo de oxidación, que aparece a partir de los 41000 s del transitorio.

Del estudio de las figuras 10, 11 y 12 se extrae la siguiente información:

- A partir de 42000s (1000K) se empiezan a notar los efectos de la oxidación y la liberación de Hidrógeno (Ver figura 11).
- A partir de los 47000s el calor de la reacción crece de manera muy rápida (Ver figura 10). Poco después se sobrepasan los límites de generación de hidrógeno y de oxidación en vaina marcados en las figuras 11 y 12. En el momento en el que se alcanzan 1477 K (47200 s) se han generado alrededor de 10 kg de hidrógeno.
- A los 48000 s se ha oxidado todo el espesor de la vaina. Como se observa en la figura 12.



Fig 10. Calor reacción de oxidación.

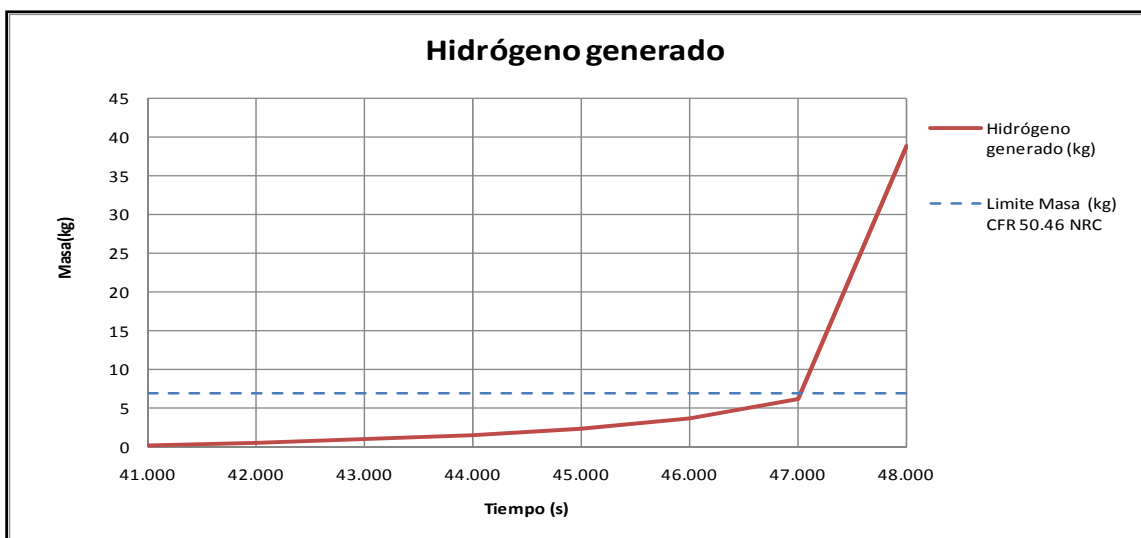


Fig 11. Hidrógeno liberado en la reacción de oxidación

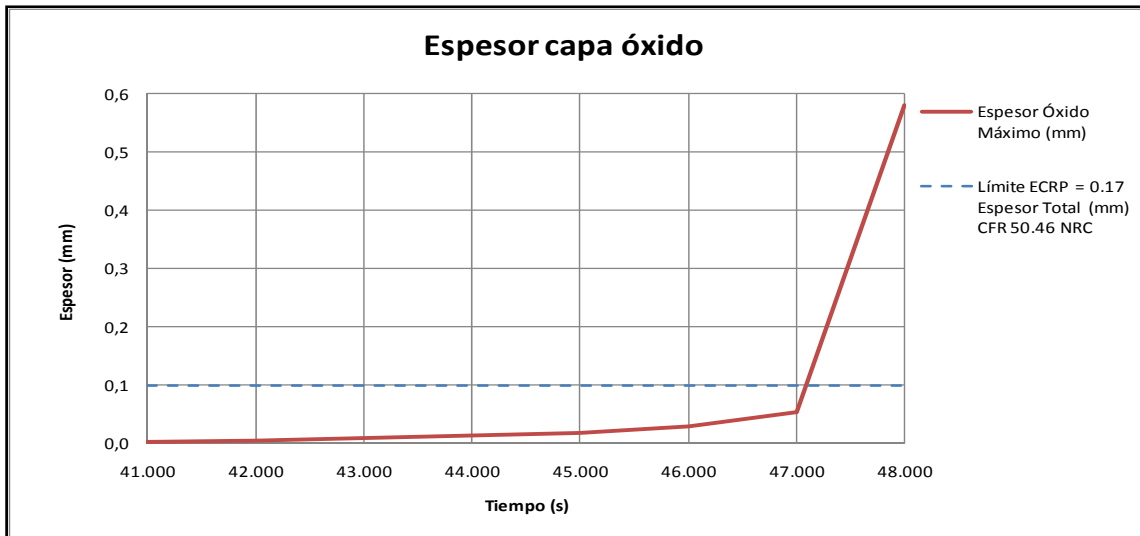


Fig 12. Espesor de óxido en vaina.

4. REFERENCIAS

[1] UPV-CSN. Documento nº UPV-RELAP-IN 008. Transitorios en parada: Escenarios en piscinas de combustible gastado. 2005.

[2] CFR.50.46.NRC.

[3] American Nuclear Society. American National Standard Criteria for Technical Specifications for Nuclear Power Stations. ANSI/ANS-58.4-1979.

[4] Regulatory Guide 1.70, "Standard Format and Content of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants". USNRC.

[5] American National Standards Institute. Nuclear Safety Criteria for the Design of Stationary Pressurized Water Reactor Plants. ANSI N-18.2. 1973.

[6] ANS Trial Use Standard N212, "Nuclear Safety Criteria for the Design of Stationary Boiling Water Reactor Plants", American Nuclear Society (1974).

[7] Gay R. "Spent Nuclear Fuel Storage Pool Thermal Hydraulic Analysis", Progress in Nuclear Energy, vol: 14 (3) pp: 199-225, 1984.