

ANÁLISIS TERMOHIDRÁULICO DEL ACCIDENTE DE PÉRDIDA DE REFRIGERANTE (Loss of Coolant Accident, LOCA) EN EL REACTOR RP-10

Gallardo A.⁽¹⁾ agallardo@ipen.gob.pe; Lázaro G.⁽¹⁾ glazaro@ipen.gob.pe;
Nieto M.⁽¹⁾

(1) Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad – IPEN / Lima, Perú

RESUMEN

El accidente de pérdida de refrigerante que se postula es la rotura del tubo tangencial pasante (a los muros del reactor) en alguna parte dentro de la pileta del reactor, escapándose el agua del interior de la pileta del reactor al exterior a través de los extremos del tubo tangencial, con conexión al exterior. Del análisis termohidráulico realizado se concluye que en caso de no contar con un Sistema de Refrigeración de Emergencia (ECCS) los elementos combustibles nucleares se fundirían; además, que el ECCS debe actuar al menos durante 150000 segundos para asegurar que la refrigeración con aire estanco sea suficiente para refrigerar a los elementos combustibles.

1. HIPÓTESIS PARA EL CÁLCULO

- 1) El reactor está operando a un nivel de potencia de 15 Mwt.

$$\dot{q}'' \cdot dA + k_p \cdot A_{SR} \cdot \frac{\partial^2 T_p}{\partial z^2} \cdot dz = dm_p \cdot C_p \cdot \frac{\partial T_p}{\partial t} + h \cdot (T_p - T_R) \cdot dA \quad (1)$$

donde:

$\dot{q}'' \equiv \dot{q}''(z, t)$ flujo de calor (w/m²)
 $T_R \equiv T_R(z, t)$ temperatura del refrigerante (°C)
 $T_p \equiv T_p(z, t)$ temperatura de la placa combustible (°C)
 $k_p \equiv k_p$ conductividad térmica de la placa combustible (w/m-°C)
 h coeficiente de transferencia de calor por convección (w/m²-°C)
 A_{SR} área de la sección recta de la placa combustible (m²)

- 2) Los 2 extremos del tubo tangencial están abiertos porque fallo la cuchilla de cierre.
- 3) La temperatura del agua en la pileta del reactor al inicio del accidente es 40 °C.
- 4) El descenso del nivel de agua hasta 8 m, incluye el agua de la pileta del reactor, de pileta auxiliar y del canal entre piletas. Por debajo de 8 m se considerará solo el agua de la pileta del reactor.
- 5) La refrigeración del núcleo del reactor tendrá dos regímenes: convección forzada hasta el nivel 3.55 m (rompesifón) y por debajo de dicho nivel convección natural.
- 6) Flujo incompresible y cuasi-estacionario para el agua que fuga a través de las salidas del tubo tangencial.
- 7) El sistema de refrigeración de emergencia actuara a partir del nivel 3.2 m.

2. ECUACIONES PARA EL CÁLCULO

Ecuación en la Placa Combustible:

dA diferencial de área a lo largo de la dirección axial (m²)
 dm_p diferencial de masa de la placa, incluye vainas y "meat" (kg)
 $C_p \equiv C_p(T_p)$ calor específico de la placa (incluye vaina y meat) (J/Kg-°C)
 z longitud "activa" axial con origen en el borde superior de la placa activa (m)
 dz diferencial de longitud "activa" a lo largo de la dirección axial (m)
 t tiempo (s)

Ecuación en el refrigerante:

Se considera que todo el calor que se transmite por convección al refrigerante incrementa su

energía interna y/o es extraído por el flujo de refrigerante. Luego, tenemos:

$$h \cdot (T_p - T_R) \cdot dA = dm_R \cdot C_R \cdot \frac{\partial T_R}{\partial t} + \dot{m}_R di \quad (2)$$

donde:

$C_R \equiv C_R(T_R)$ calor específico del refrigerante (J/Kg·°C)

dm_R diferencial de masa de refrigerante (Kg)

\dot{m}_R flujo de refrigerante (Kg/s)

$i \equiv i(T_R) \equiv i(z, t)$ entalpía del refrigerante (J/Kg)

$di = i(z + dz, t) - i(z, t)$

MODELO DE DISTRIBUCIÓN DEL CALOR GENERADO

El calor generado a lo largo de la placa combustible se modela a través de una distribución cosenoidal. Luego, la distribución de calor está dado por:

$$\dot{q}''(z, t) = \dot{q}''_{\max} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{LE} \cdot \left(z - \frac{LA}{2}\right)\right) \cdot F_{pot} \quad (3)$$

donde:

LA es la longitud activa de la placa (m)

LE es la longitud extrapolada de la placa (m)

\dot{q}''_{\max} es el flujo calorífico máximo en el centro del canal caliente (w/m²·s)

$F_{pot} \equiv F_{pot}(t)$ es la fracción de potencia al tiempo t después del shutdown

Antes del shutdown $F_{pot} = 1$. Después del shutdown, F_{pot} se calcula según ANSI-5.1.

Donde t es el tiempo después del shutdown.

VELOCIDAD DEL AGUA EN ELEMENTO COMBUSTIBLE EN RÉGIMEN DE CONVECCIÓN FORZADA

Para el cálculo de la velocidad de ingreso del agua al canal de refrigeración haremos uso del modelo, en el que la fuerza boyante dada por la diferencia de densidades se equilibra con las fuerzas de fricción debidas al flujo, esto es, que de $F_{boyante} = Fricción$, tenemos la siguiente relación:

$$g \cdot (\rho_{in} - \rho_m) \cdot LT \cdot S_{canal} = \frac{(\rho \cdot V)_{in}^2}{2} \left[\frac{1}{2 \cdot \rho_{in}} + \sum_{j=1}^{NT} \frac{\bar{f}_j \cdot \Delta z_j}{\rho_j \cdot D_h} + \frac{1}{\rho_{out}} \right] \quad (4)$$

3. RESULTADOS

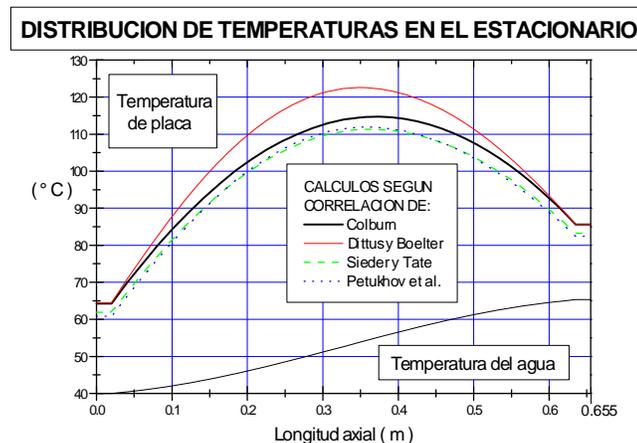


Figura 1. Distribución de temperaturas utilizando diferentes correlaciones.

EVOLUCION DE LAS TEMPERATURAS DESPUES DEL SHUTDOWN

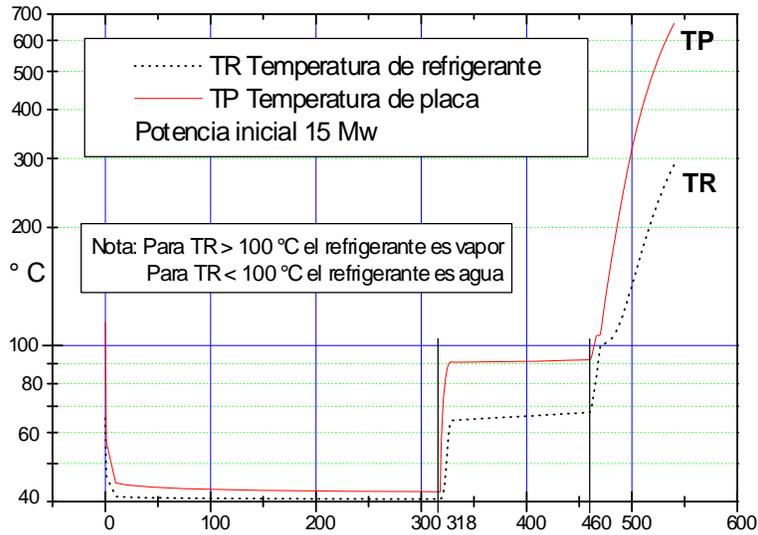


Figura 2. Evolución de temperaturas sin EECS, tiempo después del shutdown (s).

EVOLUCION DE LA TEMPERATURA DE PLACA COMBUSTIBLE

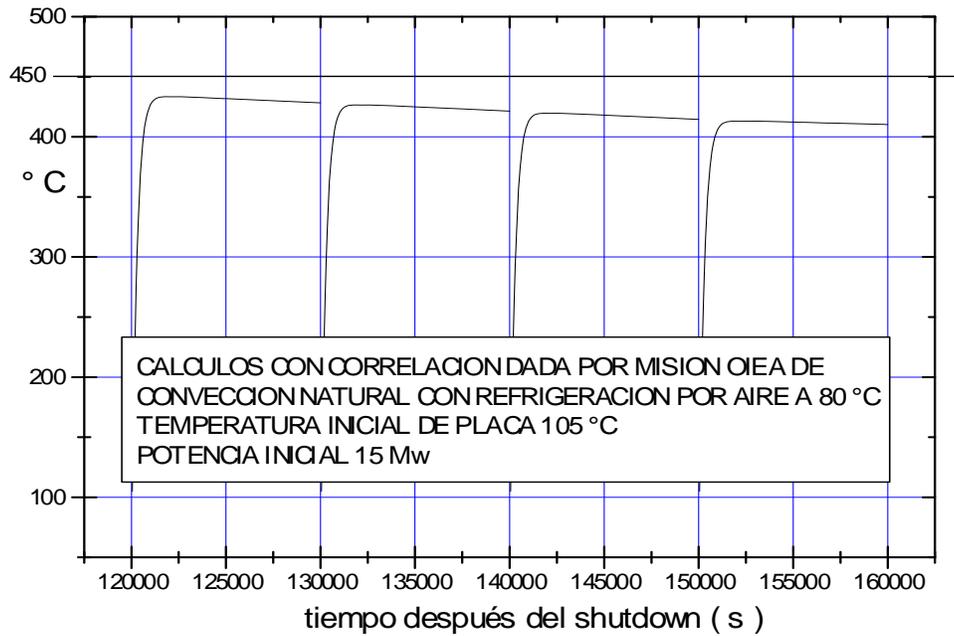


Figura 3. Evolución de temperaturas después de agotarse el ECCS.

4. REFERENCIAS

1. Incropera, Frank; De Witt, David. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 3ra edición, Ed. John Wiley & Sons, 1990.
2. Holman, J.P. Transferencia de Calor. Sexta reimpresión, Ed. Continental, 1993.
3. El-Wakil, M.M. Nuclear Heat transport. International Texbook Co., Scranton, Pa., 1971.
4. Smith, R.S.; Woodruff, W.L. Thermal-hydraulic Analysis and Safety Margins for Natural Convection Cooled Research reactors. Reporte Interno, Argonne National Laboratory, 1987.
5. Burn, Reed Robert. Emergency Core Cooling System. Informe Final, Misión OIEA, Huarangal, 15 de marzo de 1996.
6. Gallardo P, Alberto. Análisis Hidráulico del Sistema de refrigeración de Emergencia del Núcleo (Emergency Core Cooling System, ECCS) del Reactor RP-10. Informe Técnico N° 001-98-DGI/DR/GCAS/PCMR/AGP.
7. Parkansky, D.; De Notta, H. Reactores Tipo Piscina. Pérdida de Refrigerante. Análisis Experimental de seguridad. Informe de trabajo 1023/83, CNEA, Argentina, 10 de mayo de 1983.