

CAMBIOS EN LOS PARAMETROS SIGNIFICATIVOS DEL SPTC LUEGO DE LA LIMPIEZA DEL LADO PRIMARIO DE LOS GENERADORES DE VAPOR DE LA CENTRAL NUCLEAR EMBALSE

Carlos Moreno, Ernesto Coutsiers, Paul Acevedo, Marcelo Pomerantz
Central Nuclear Embalse

Durante la operación de la Central Nuclear Embalse (CNE) se produce el depósito de magnetita en las paredes internas del Sistema Primario de Transporte de Calor (SPTC). En particular es importante el depósito en los tubos en "U" de los Generadores de Vapor (GV) debido a su reducido diámetro lo cual ocasiona un deterioro en la transferencia de calor desde el SPTC al sistema secundario. Esto resulta en un aumento de la temperatura de entrada al núcleo, aumento del título de vapor a la salida y reducción del caudal de agua de refrigeración por los canales.

A fin de reducir el impacto de la deposición de magnetita (envejecimiento), durante la Parada Programada de 2000 de CNE se realizó la limpieza del lado primario de los GV con la técnica SIVABLAST. Esta técnica consiste en el granallado a través de pequeñas esferas de acero impulsadas por aire a presión. En este trabajo se presenta un resumen de los cambios en los parámetros significativos del SPTC luego de realizada dicha limpieza.

El SPTC de CNE está formado por dos lazos de refrigeración (ver figura 1). Cada uno de ellos involucra a la mitad de los 380 canales de refrigerantes en circuito de doble entrada (circuito en 8). Existen 4 colectores de entrada (2, 4, 6 y 8) y 4 de salida (1, 3, 5 y 7) con sus correspondientes GV (B1, B2, B3 y B4). El reactor posee 12 canales de refrigeración con placas orificios para la medición del caudal usados por el Sistema de Parada nº 1 para el disparo por bajo caudal. Se evaluaron :

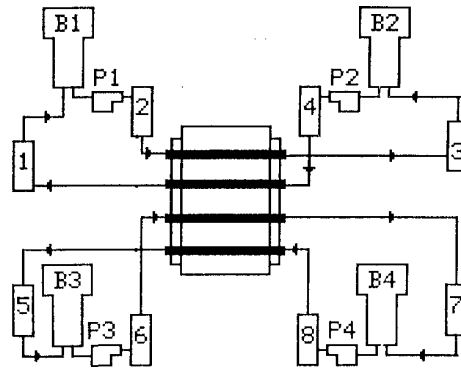


Figura 1: diagrama simplificado del SPTC

- Cambios de la temperatura en los colectores de entrada.
- Cambios en el título calculado en los colectores de salida.
- Cambios en el caudal total del SPTC determinado por mediciones en simple fase.
- Cambios en los caudales medidos y calculados en los canales instrumentados.
- Cambios en el caudal total calculado a través del código NUCIRC 1.0.

A. Temperatura en los colectores de entrada : Cada colector de entrada posee tres sensores RTD de temperatura. Se tomaron mediciones al 100% de potencia antes y después de la parada y se realizó la comparación tomando tanto el promedio como la mediana de los tres valores de temperatura para cada colector y se obtuvieron las diferencias para cada colector. En ambas variantes, se obtienen diferencias promedios del orden de $-3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Considerando que antes de la limpieza de la superficie interna de los tubos, la presión de vapor vivo era de $45,8\text{ kg/cm}^2$ (presión reducida en 1 kg/cm^2) y que el arranque de la Planta luego de la Parada Programada 2000 se hizo con la presión nominal de $46,8\text{ kg/cm}^2$, a los efectos de la

comparación de temperatura, la incidencia de $1,0 \text{ kg/cm}^2$ en el valor de la presión de vapor vivo debe considerarse de aproximadamente $1 \text{ }^\circ\text{C}$, de acuerdo a la experiencia previa. La Tabla siguiente los valores medidos al 100% antes (8/9/2000) y después (14/11/2000) de la Parada Programada.

COLECTOR	TRANSMISOR	ENTRADA	DIA 8/9/00	DIA 14/11/00	DIFERENCIA
			[$^\circ\text{C}$]	[$^\circ\text{C}$]	[$^\circ\text{C}$]
HD2	TT27A	EA1224	269,55	265,77	-3,77
HD2	TT27B	EA2406	268,12	264,21	-3,91
HD2	TT27C	EA3100	268,10	264,37	-3,73
HD4	TT28A	EA1226	267,67	264,44	-3,23
HD4	TT28B	EA2407	269,42	266,07	-3,35
HD4	TT28C	EA3101	269,63	266,52	-3,11
HD6	TT29A	EA1227	269,43	265,68	-3,76
HD6	TT29B	EA2410	269,05	265,29	-3,76
HD6	TT29C	EA3102	267,91	264,55	-3,35
HD8	TT30A	EA1230	269,13	265,12	-4,02
HD8	TT30B	EA2411	268,87	264,76	-4,11
HD8	TT30C	EA3103	269,05	265,19	-3,86

De lo anterior, la diferencia de temperatura promedio es : $-3,7^\circ\text{C} - 1^\circ\text{C} = -4,7^\circ\text{C}$

Se comparó también la temperatura de los colectores de entrada en condiciones de simple fase al 80% de plena potencia antes y después de la parada para iguales condiciones de presión de vapor ($46,8 \text{ kg/cm}^2$). La tabla siguiente presenta los valores medidos.

Colector de Entrada	EA #	07/09/2000 Previo a PP2000			03/11/2000 Posterior a PP2000			Diferencia	
		Valor Leído [$^\circ\text{C}$]	Pro-medio Colector [$^\circ\text{C}$]	Mediana Colector [$^\circ\text{C}$]	Valor Leído [$^\circ\text{C}$]	Pro-medio Colector [$^\circ\text{C}$]	Mediana Colector [$^\circ\text{C}$]	Promedio Colector [$^\circ\text{C}$]	Mediana Colector [$^\circ\text{C}$]
HD-2	EA-1224	269,10	268,17	267,76	264,81	263,87	263,54	-4,30	-4,22
	EA-2406	267,65			263,26				
	EA-3100	267,76			263,54				
HD-4	EA-1226	267,68	268,69	269,09	263,53	264,67	265,03	-4,01	-4,06
	EA-2407	269,09			265,03				
	EA-3101	269,29			265,46				
HD-6	EA-1227	269,48	268,73	269,01	264,92	264,35	264,51	-4,38	-4,50
	EA-2410	269,01			264,51				
	EA-3102	267,70			263,62				
HD-8	EA-1230	268,82	268,81	268,82	264,40	264,36	264,40	-4,45	-4,42
	EA-2411	268,71			264,07				
	EA-3103	268,89			264,60				
PROMEDIO 4 COLECTORES			268,60	268,67		264,31	264,37	-4,29	-4,30

En resumen:

- **Para condición de simple fase del refrigerante al 80%PP** : **-4,3 °C**
- **Para condición de doble fase del refrigerante al 100% PP** : **-4,7 °C**

B. Título de vapor: : El título de vapor en los colectores de salida es calculado por la Computadora de Control de Planta (DCC).

La tabla adjunta presenta las diferencias antes y después de la parada

	Antes de PP2000 [%]	Después de PP2000 [%]	Diferencia [%]
GV 1	3,20%	1,70%	1,50%
GV 2	2,80%	1,10%	1,70%
GV 3	3,10%	1,50%	1,60%
GV 4	3,10%	1,40%	1,70%
Promedio	3,05%	1,43%	1,63%

El cálculo del título de la computadora de control de planta considera el caudal de diseño y sabemos que el envejecimiento del SPTC produjo una reducción del caudal total del orden del 5-7 %. Esto afecta principalmente a los valores previos a la parada. Tomando las formulas de cálculo del título del programa de control de planta y realizando estimaciones off-line para caudales reducidos (simulando el envejecimiento del SPTC) surge que los valores de título calculados antes de la parada estaban subestimados entre 0,4 a 0,6 % . Con ello la reducción del título real (no el calculado) fue aproximadamente de **2,0 a 2,2 %**.

En resumen la reducción estimada del título fue de **3,5 % a 1,5%**

C. Caudal del SPTC: El caudal total del SPTC se determina por métodos de balance térmico mediante el programa HTSFlow en condiciones de simple fase del refrigerante al 80%PP. Hay dos modalidades de cálculo: CHBF : Channel Heat Balance Flow y BHBF : Boiler Heat Balance Flow.

Se tomaron los siguientes datos para estos cálculos:

- El 7/09/00 al 80%PP y presión de los GVs (lado secundario) nominal (46,8kg/cm²)
- El 3/11/00 al 80%PP y presión de los GVs (lado secundario) nominal (46,8kg/cm²)

La evolución de estos balances correspondientes a las paradas programadas 1993, 1995, 1997, 1998, 2000 puede encontrarse en la figura 2.

En la tabla se aprecia que el aumento del caudal estuvo entre 4.46-4.80%.

		Caudal en Simple Fase			
		07/09/2000	03/11/2000		
				Dif.	Prom
Potencia GV	%	80,49	80,44		
Presión de vapor	Kg/cm2	46,8	46,8		
Caudal CHBF	Kg/seg	8243,17	8639,08	395,91	4,80%
Caudal B1	Kg/seg	2091,94	2202,67	110,73	5,29%
Caudal B2	Kg/seg	2034,14	2131,20	97,06	4,77%
Caudal B3	Kg/seg	2082,14	2170,35	88,21	4,24%
Caudal B4	Kg/seg	2034,94	2134,85	99,91	4,91%
Caudal BHBF	Kg/seg	8270,49	8639,76	369,27	4,46%
Caudal B1	Kg/seg	2060,52	2165,38	104,86	5,09%
Caudal B2	Kg/seg	2117,78	2194,62	76,84	3,63%
Caudal B3	Kg/seg	2026,83	2127,77	100,94	4,98%
Caudal B4	Kg/seg	2065,36	2161,98	96,62	4,68%

D. Caudal de los canales instrumentados: Como respaldo en la determinación del aumento de caudal del SPTC, se realizaron mediciones de los canales instrumentados. Las mediciones ejecutadas fueron las siguientes:

- Una medición a 80%PP (simple fase) anterior a la PP2000 el día 07/09/2000
- Una medición a 80%PP (simple fase) posterior a la PP2000 el día 03/11/2000
- Promedio de mediciones al 100%PP (doble fase) anterior a la PP2000 entre los días 01/09/2000 y 08/09/2000. ($P_{GV}=45,8\text{kg/cm}^2$)
- Promedio de mediciones al 100%PP (doble fase) posterior a la PP2000 entre los días 13/11/2000 y 16/11/2000. ($P_{GV}=46,8\text{kg/cm}^2$)

Los resultados de estas mediciones se presentan en la tabla siguiente.

		Simple Fase a 80%PP			Doble Fase a 100%PP		
		07/09/2000	03/11/2000	Dif [%]	1/09/00 a 8/09/00	13/11/00 a 16/11/00	Dif [%]
34-FI1D	B13	16,49	17,15	3,96%	15,92	16,84	5,75%
34-FI2D	B14	17,33	17,88	3,19%	17,03	17,80	4,53%
34-FI3D	B09	16,71	17,22	3,02%	16,57	17,17	3,63%
34-FI4D	B10	17,06	17,72	3,86%	17,07	17,60	3,11%
34-FI1E	M21	18,74	19,45	3,75%	18,15	19,32	6,47%
34-FI2E	L21	19,50	19,98	2,51%	18,80	19,73	4,95%
34-FI3E	L02	18,72	19,40	3,64%	18,20	19,03	4,57%
34-FI4E	M02	18,92	19,54	3,25%	18,72	19,49	4,11%
34-FI1F	Q19	22,27	22,92	2,93%	22,00	22,53	2,41%
34-FI2F	Q20	18,23	18,79	3,10%	17,88	18,60	4,07%
34-FI3F	Q03	17,49	18,07	3,35%	16,86	17,49	3,77%
34-FI4F	Q04	21,45	22,28	3,89%	20,85	21,96	5,32%
Suma canales instrumentados		222,91	230,4	3,36%	218,05	227,56	4,36% (5,42%*)

*El valor entre paréntesis es el corregido teniendo en cuenta que los valores iniciales se tomaron con presión reducida de los GV ($P_{GV}=45,8\text{kg/cm}^2$)

E. Caudales del SPTC calculados con NUCIRC 1.0: Para darle mayor completitud se realizó un cálculo de caudales de los canales refrigerantes mediante el código termohidráulico NUCIRC 1.0 (Modalidad I-TYPE2).

Los casos analizados fueron utilizando las condiciones de contorno del SPTC en los siguientes escenarios:

- 80%PP anterior de la limpieza de los GV (7 de septiembre de 2000) **80%PP AL**
- 80%PP posterior a la limpieza de los GV (3 de noviembre de 2000) **80%PP PL**
- 100%PP anterior a la limpieza de los GV (9 de septiembre de 2000) **100%PP AL**
- 100%PP posterior a la limpieza de los GV (10 de noviembre de 2000) **100%PP PL**

Los resultados de las comparaciones se presentan en las tablas siguientes:

Caso: Caudal Total al 80%PP

		80%PP AL 07/09/2000	80%PP PL 03/11/2000	Diferencia	Prom
Potencia GV	%	80,49	80,44		
Presión de vapor	Kg/cm2	46,8	46,8		
Caudal TOTAL	Kg/seg	8371,0	8641,9	270,9	3,2%

Caso: Caudal Total al 100%PP

		100%PP AL 09/09/2000	100%PP PL 10/11/2000	Diferencia	Promedio
Potencia GV	%	100	100		
Presión de vapor	Kg/cm2	45,8	46,8		
Caudal TOTAL	Kg/seg	7956,6	8465,4	508,8	6,4% (7,5%*)

*El valor entre paréntesis es el corregido teniendo en cuenta que los valores iniciales se tomaron con presión reducida de los GVs ($P_{GV}=45,8\text{kg/cm}^2$)

Caso : Suma caudales de los canales instrumentados

CANAL	Simple Fase a 80%PP			Doble Fase a 100%PP		
	80%PP AL 07/09/2000 [Kg/seg]	80%PP PL 03/11/2000 [Kg/seg]	Dif [%]	100%PP AL 09/09/2000 [Kg/seg]	100%PP PL 10/11/2000 [Kg/seg]	Dif [%]
Suma de caudales Canales Instrumenta- dos	222,97	230,13	3,2%	211,23	224,85	6,4% (7,5%*)

*El valor entre paréntesis es el corregido teniendo en cuenta que los valores iniciales se tomaron con presión reducida de los GVs ($P_{GV}=45,8\text{kg/cm}^2$)

Figura nº 2
Evolución del Caudal del SPTC en simple fase al 80% PP
Calculado mediante balance térmico

