

Análisis termohidráulico de trayectorias vinculadas a Procedimientos de Operación de Emergencia (POE). Aplicación a la pérdida de un tren del RHR.

F. Sánchez-Sáez, S. Martorell Alsina, S. Carlos Alberola, J. F. Villanueva López, P. Martorell Aygues.

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

Este trabajo se enmarca dentro del “PROYECTO DE I+D EN EL ÁMBITO DE LA SEGURIDAD NUCLEAR EN CC.NN (STN/2369/08/640)”. En este trabajo se aborda el estudio de las trayectorias asociadas a los Procedimientos de Operación de Emergencia (POE) de una central nuclear (CN) de agua ligera tipo PWR. En concreto, se ha emprendido el análisis de las secuencias derivadas a partir del iniciador: “Pérdida 1 ó 2 bombas RHR (D.1)” del POE I/IOF-07, “Malfuncionamiento del “Sistema de Evacuación de Calor Residual”, bajando potencia (EOP 3).

2. Obtención de trayectorias mediante la herramienta informática COLAPSO

A partir del estudio en profundidad del POE, y con ayuda de la herramienta de análisis topológico de redes desarrollada en el CSN (denominada COLAPSO) [3], se ha conseguido realizar un esquema del POE I/IOF-07 en el caso de entrada por pérdida de 1 ó 2 bombas del RHR (D.1). La Figura 1 muestra el esquema de bloques resultante. En dicha figura se observan los bloques fundamentales en que puede dividirse dicho procedimiento y síntoma de entrada y sus conexiones.

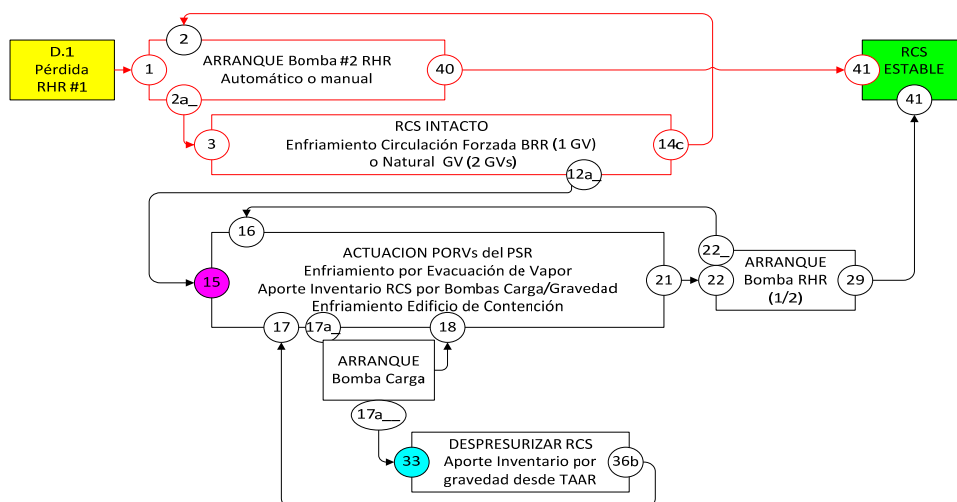


Figura 1. Procedimiento de Operación de Emergencia I/IOF-07 con entrada en D.1.

La descripción del procedimiento de la Figura 1 puede resumirse de la siguiente manera:

- Cuando se produce la pérdida de una bomba del RHR se ha de producir el arranque de la segunda bomba del RHR de manera automática y alternativamente mediante actuación manual para llevar de nuevo al RCS a una situación estable.
- En caso de que persista el fallo en el arranque, puesto que en EOP 3 el RCS se mantiene intacto, se utiliza la alternativa de refrigeración mediante los generadores de vapor (GVs). Esta operación mantiene el RCS en una condición controlada hasta arrancar el RHR.
- En caso de no estar disponibles los GVs requeridos, se pasaría al enfriamiento mediante la actuación de las PORVs a contención, lo que precisa del arranque de una de las Bombas de Carga para aportar agua al RCS, o en su defecto mediante despresurización del RCS y proceder al aporte de agua desde el TAAR por gravedad. En cualquiera de estos dos casos se requiere, adicionalmente, la refrigeración del Edificio de Contención. Esta operación mantendrá el RCS en una condición controlada hasta que se consiga arrancar el RHR.

Los números que aparecen en la figura 1 corresponden con las instrucciones de dicho POE. A partir de este diagrama de bloques, se pueden obtener las trayectorias asociadas al POE dependiendo de la disponibilidad de equipos y/o acciones. La zona señalada en rojo es la que se ha estudiado en este trabajo. Es decir que se han estudiado las trayectorias:

Trayectoria 1.1: D1—1—2—40—41

Que corresponde con que ante el fallo de un tren del RHR se consigue arrancar el segundo tren del RHR antes de que las condiciones termohidráulicas no lo permitan ($T_{\text{media_primario}} > 448\text{K}$) y se lleva la planta a situación estable.

Trayectoria 1.2: D1—1—No2a—3—14c—2—40—41

Que corresponde con que ante el fallo de un tren del RHR no se consigue arrancar el segundo tren del RHR, se enfría la planta mediante los GVs hasta que las condiciones termohidráulicas vuelven a permitir el arranque del segundo tren del RHR, se arranca dicho tren y se lleva la planta a situación estable.

3. Análisis termohidráulico de trayectorias

Se ha realizado el modelo de la CN de Ascò mediante TRACE. A continuación se adjuntan las vistas de SNAP del modelo realizado con TRACE para CN Ascò, donde se ha distinguido entre:

- Sistema Primario (Figura 2)
- Sistema Secundario (Figura 3)
- Sistema RHR (Figura 4)

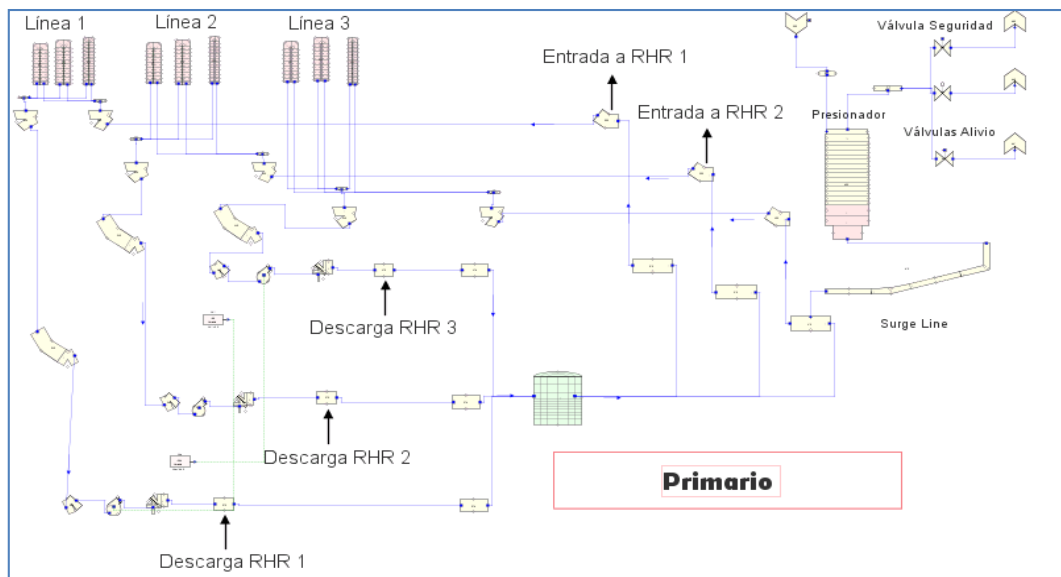


Figura 2. Primario CN tipo PWR para TRACE.

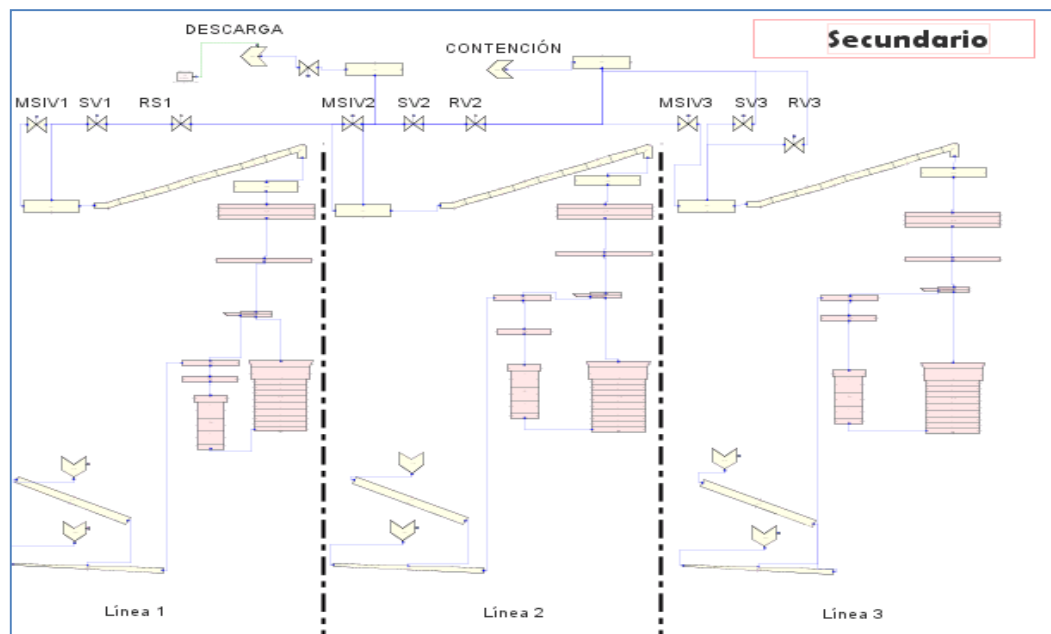


Figura 3. Secundario CN tipo PWR para TRACE.

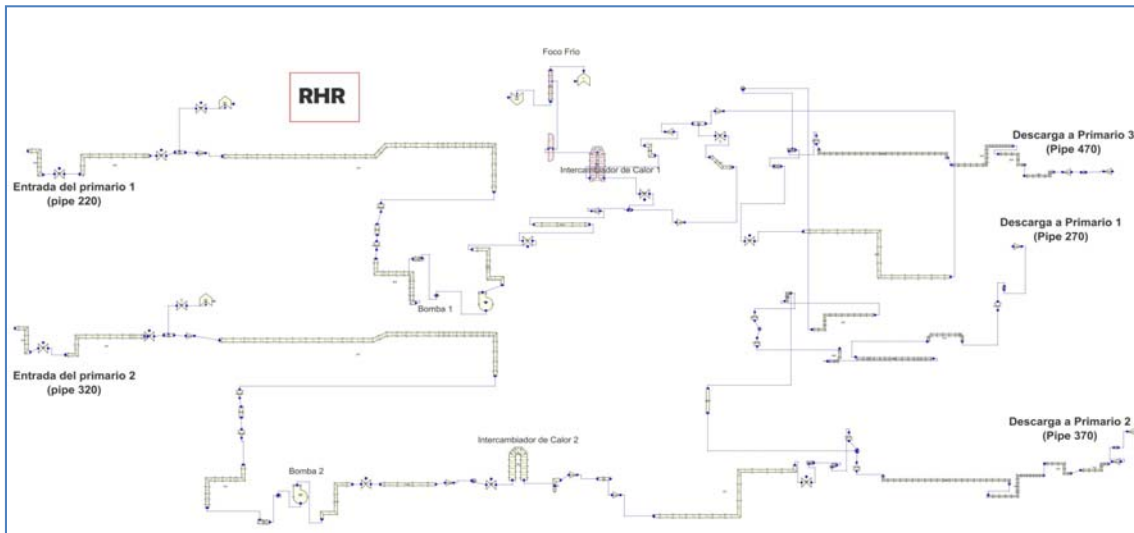


Figura 4. Sistema RHR CN tipo PWR para TRACE.

Se ha realizado el análisis de los POEs partiendo de EOP3. En el inicio del EOP 3 ($T_{\text{primario}} = 448\text{K}$ y $P_{\text{primario}} \approx 2,647 \times 10^6 \text{ Pa}$) se arranca el RHR y hay un intervalo de tiempo donde se solapa la refrigeración del RHR con la refrigeración a través de los GV.

El inicio del EOP 3 empieza con la puesta en marcha del RHR, y la parada de la bomba del lazo 2. Al mismo tiempo se va desacoplando el secundario para que la evacuación de calor se haga íntegramente a través del RHR. Durante el EOP 3, la presión del primario se mantiene entre 26 y 27 kg/cm^2 . Una vez desacoplado el secundario, los Generadores de Vapor se mantienen en conservación húmeda, estando 2 de ellos disponibles.

Se han escogido los siguientes tiempos de conexión de los componentes del RHR y cerrado del secundario:

- Tiempo inicio parada bomba lazo 2: **0.0 s**. Se para la bomba completamente a los **100s**.
- Tiempo en el que se empieza la puesta en marcha del RHR **0.0 s**
- Tiempo en el que las válvulas que unen el tren del RHR con el primario están completamente abiertas: **100 s**
- Tiempo de inicio de la desconexión del secundario: **20 s**. Tiempo en el que se cierra completamente el secundario: **100 s**
- Tiempo en el que la bomba del RHR alcanza su velocidad nominal: **100 s**

En la figura 5 se muestra la evolución de la temperatura media del primario que se produce durante el EOP 3 en condiciones de operación normales hasta alcanzar EOP 4.

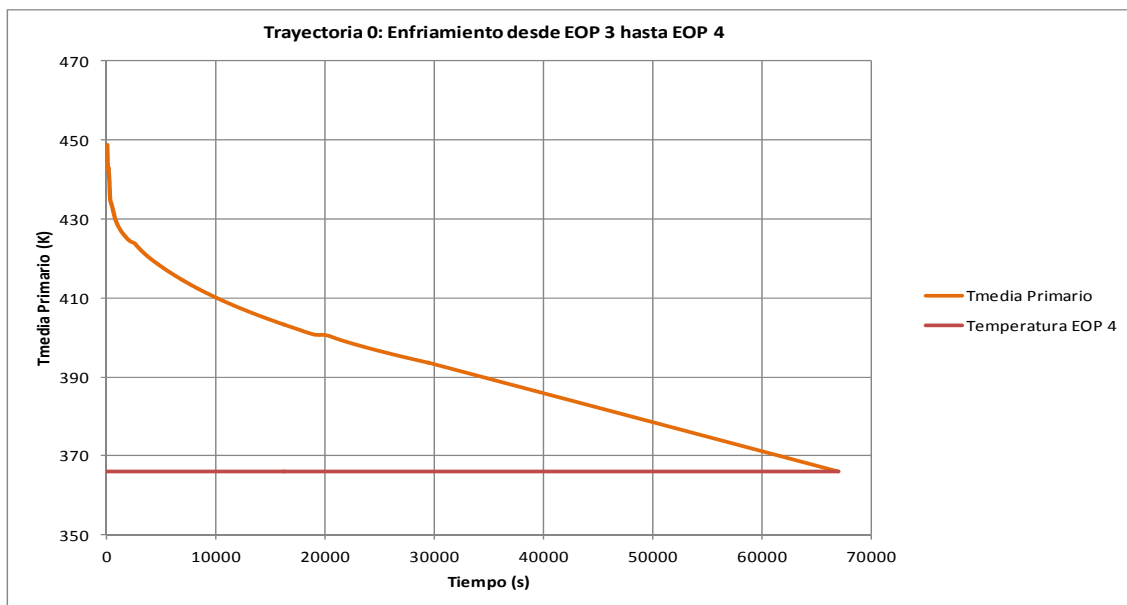


Figura 5. Temperatura media del primario durante el EOP 3

El iniciador “**Pérdida 1 ó 2 bombas RHR (D.1)**” podría ocurrir en cualquier tiempo durante el EOP 3, pero se ha considerado que se produce en el instante en que se interrumpe la AAA en el secundario y se produce su desacoplamiento con el primario (100 s), momento en el que la refrigeración se produce únicamente con el RHR, ya que se ha considerado como la situación más desfavorable. Si el iniciador se produjera en un tiempo posterior a los 100s, se obtendrían tiempos disponibles mayores para realizar las acciones contempladas en el POE.

Para la trayectoria 1.1 extraída del diagrama de bloques de la figura 1, el tiempo disponible para el arranque del otro tren del RHR viene determinado por la $T_{media_primario}$.

En la figura 6 se muestra la $T_{media_primario}$ para la trayectoria 1.1 y se comprueba que el tiempo disponible para el arranque del segundo tren del RHR es de 155s. Desde los 100s donde se produce el iniciador D1 hasta los 255s, donde la temperatura media del primario es superior a 448K, y por condiciones termohidráulicas no está permitido el arranque del segundo tren del RHR.

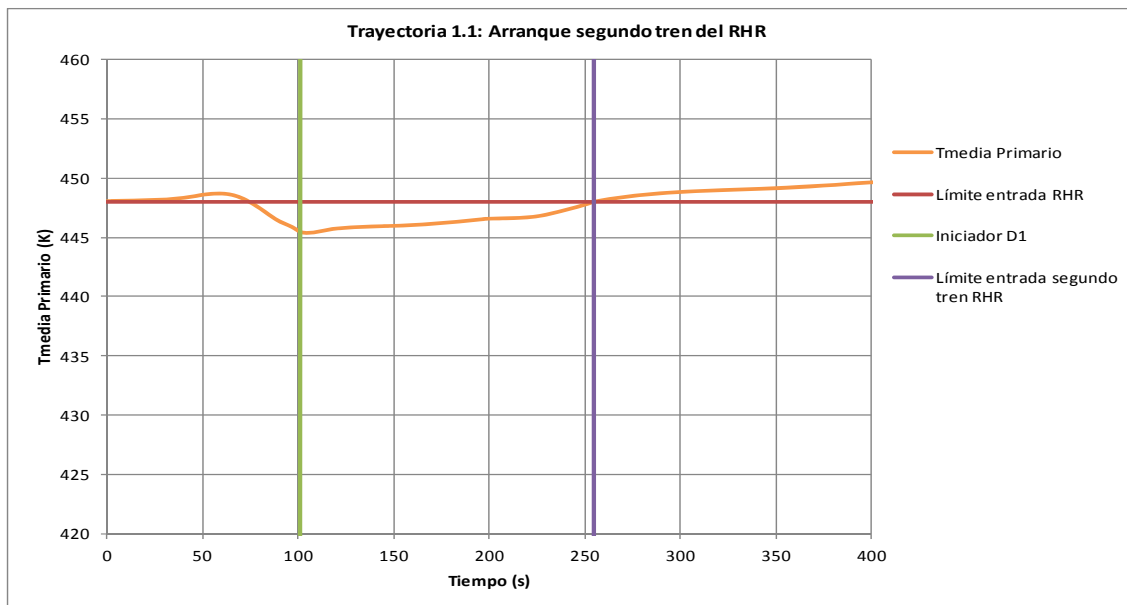


Figura 6. Temperatura media del primario durante la trayectoria 1.1

Para la trayectoria 1.2 extraída del diagrama de bloques de la figura 1, se realiza un enfriamiento a través del secundario mediante la PORV del GV 3. Se ha considerado que el tiempo en el cual se produce el enfriamiento mediante los GVs es a los 100s, es decir en el mismo instante en el que se produce el iniciador D1. En la figura 7 se observa la temperatura media del primario para esta trayectoria. Y se observa, que a partir de 1125s se vuelven a alcanzar las condiciones termohidráulicas ($T_{media_primario} < 448K$) que permiten el arranque del segundo tren del RHR.

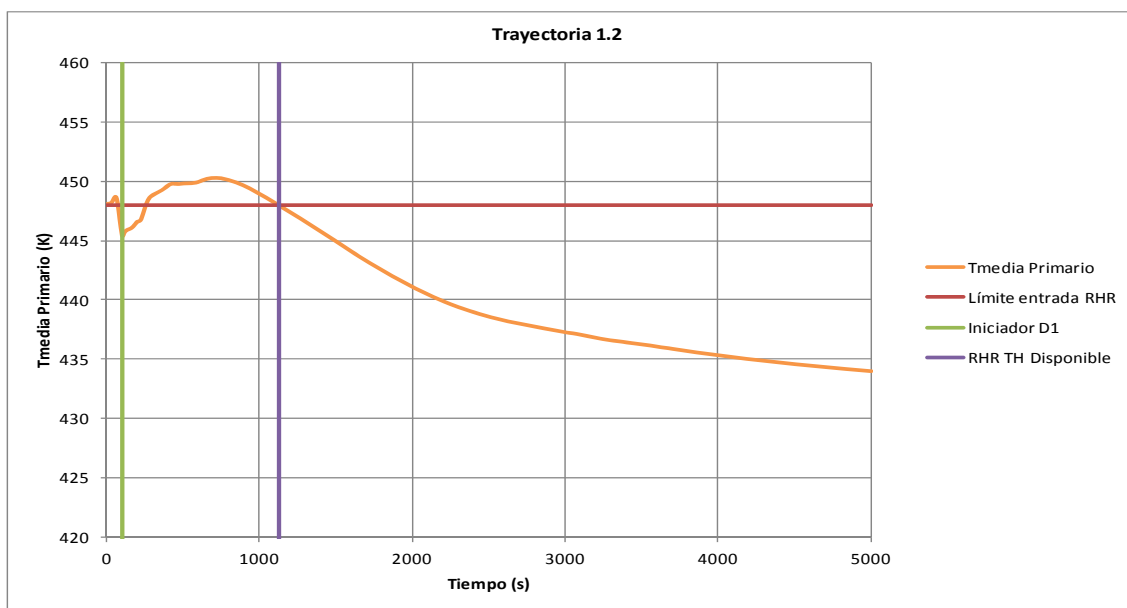


Figura 7. Temperatura media del primario durante la trayectoria 1.2

Una vez alcanzadas las condiciones de restablecimiento de la función del RHR, se podrá arrancar el tren de RHR en reserva y la planta se encontrará en situación estable. En caso de fallo de la restitución de la evacuación de calor mediante el tren de RHR en reserva, la función podrá recuperarse, dado el éxito previo del control de enfriamiento con las válvulas de alivio de los GV, mediante la reposición de inventario a los generadores de vapor (antes de su secado) a través de alguna motobomba del agua de alimentación auxiliar.

Se considera que el secado del GV se produce cuando su nivel en el rango estrecho es inferior al 11%. En la figura 8 se muestra el nivel del GV3, a través del cual se está realizando el enfriamiento. En esta figura se observa que el tiempo disponible para el arranque del segundo tren o la reposición del inventario del GV es hasta los 3500s, momento en el cual el nivel del GV3 disminuye por debajo del 11%.

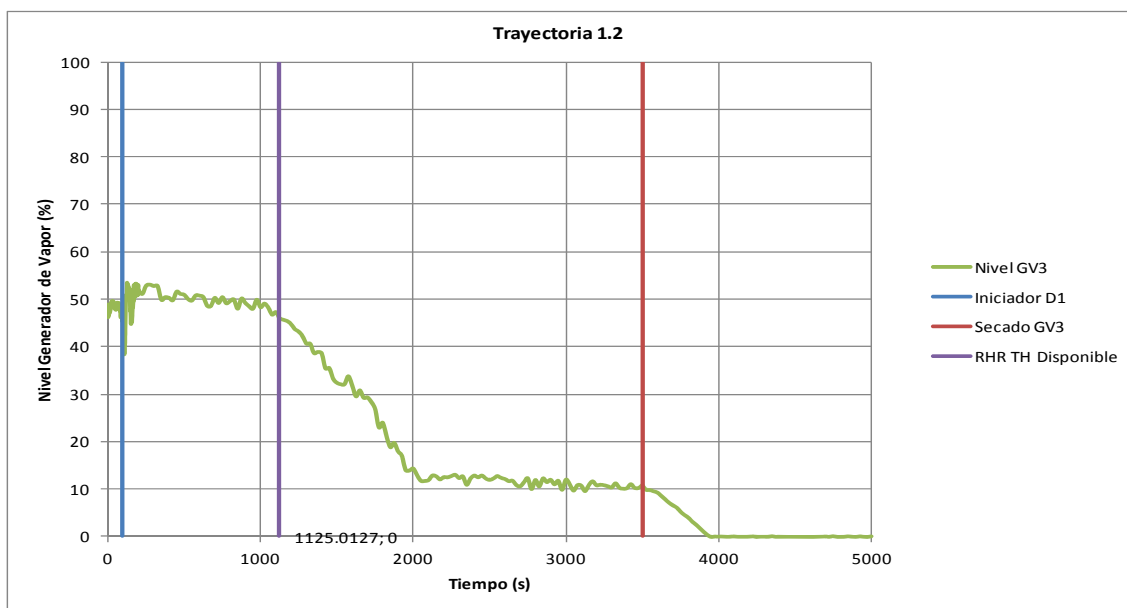


Figura 8. Nivel del GV3 durante la trayectoria 1.2.

4. Relación con el APS. Influencia en los árboles de eventos

El estudio del POE, y la simulación termohidráulica de las secuencias tienen una gran relación con la elaboración del APS, ya que permite acotar las ventanas temporales del mismo y complementarlos.

En la figura 9, se observa el árbol de sucesos frente al iniciador D1 para modo 4 (EOP3).

Las trayectorias estudiadas en este trabajo corresponderían con la trayectoria marcada en el árbol de fallos de la figura 9, y servirían para determinar las ventanas temporales, que conducirían a éxito del cabecero E4.

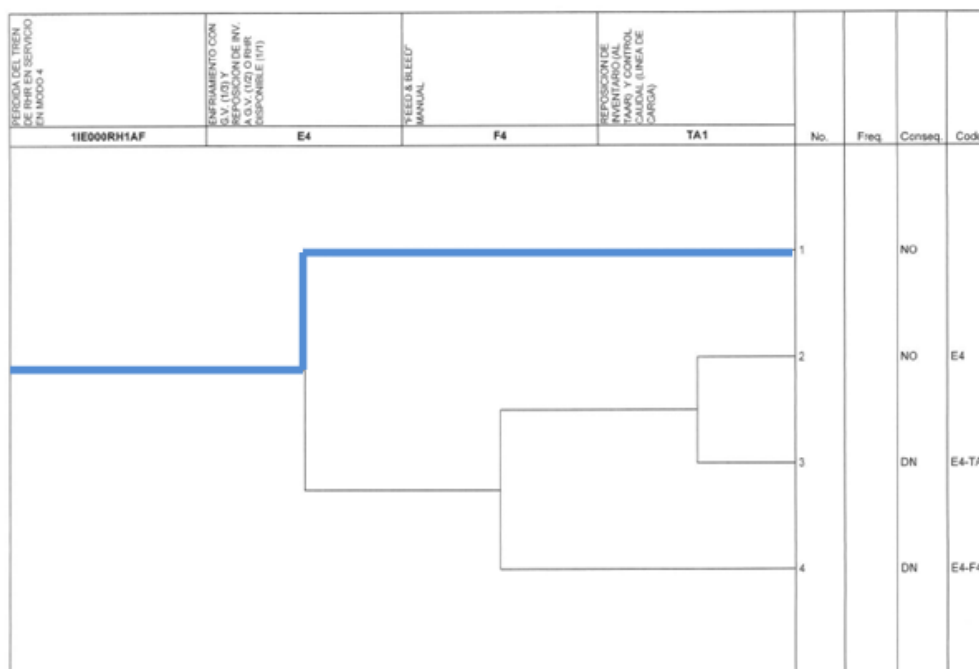


Figura 9. Árbol de sucesos de pérdida de tren del RHR en servicio en modo 4

5. Conclusiones

Es posible aplicar el programa COLAPSO en el ámbito de análisis de actuaciones en POE, ya que la herramienta es robusta para modelar y secuenciar trayectorias complejas, con uno o varios síntomas de entrada, e incluso para enlazar varios POEs.

Con el estudio sistemático de los POEs, su generación de trayectorias y análisis termohidráulico de las mismas, se obtiene una metodología que permite informatizar y actualizar estos procedimientos, permitiendo a su vez la complementación con el APS.

6. Referencias

- [1] Nos V. “Análisis de Sistemas Frontales en Otros Modos”. **APS-P-IT-201 Rev. 1**. 2002.
- [2] Llombart O. “I/IOF-07 Malfuncionamiento del sistema de evacuación de calor residual”. **Manual de procedimientos de la dirección de central nuclear de Ascó. Rev 13**. 2010.
- [3] Programa COLAPSO, CSN.