

***“LOCA pequeño postulado en la C.N. Embalse :
Secuencias de eventos en Estados de Parada”***

**CARRERA: ESPECIALIZACIÓN EN REACTORES NUCLEARES
Y SU CICLO DE COMBUSTIBLE**

Alumno: Ing. Nicolás LIPCHAK
Director: Dr. Roberto CORCUERA

Mes y año: Noviembre 2013



UNSAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

Índice

Resumen

Capítulo 1:

- 1.1. Introducción
- 1.2. Estados Operacionales de Planta
- 1.3. Objetivo
- 1.4. Alcance

Capítulo 2:

- 2.1. Metodologías del APS-BPP de CNE
- 2.2. Funciones de Seguridad
- 2.3. Eventos Inicianes y Escenarios Accidentales
- 2.4. Cabeceras de Sistemas y Acciones Humanas
- 2.5. Estados Finales de Planta

Capítulo 3:

- 3.1. Referencia : Árbol de Eventos "S2" en EOP N° 0, "OAP"
- 3.2. Árbol de Eventos "S2" en EOPs N° 1 y 2
- 3.3. Árbol de Eventos "S2" en EOP N° 3
- 3.4. Árboles de Eventos "S2" en EOPs N° 4 y 5
- 3.5. Árbol de Eventos "S2" en EOP N° 6
- 3.6. Otros Árboles de Eventos de Interés

Conclusiones

Referencias bibliográficas

Resumen

El Análisis Probabilista de Seguridad (APS) es una herramienta conceptual y matemática que permite obtener estimaciones numéricas sobre el Nivel de Riesgo de Accidentes Severos en centrales nucleares. En el denominado APS Nivel 1 se tienen en cuenta todos los Grupos de Eventos Iniciantes que pueden postularse en los diversos Estados Operacionales de Planta. Luego, el Modelo APS considera cada uno de estos Escenarios de Accidentes resultantes seguido de todas las diferentes combinaciones de fallas en la mitigación por parte de sistemas y/o acciones humanas que pueden llevar la planta – siguiendo diferentes “Secuencias” – a los varios Estados Finales Nivel-1. Estos van, desde una parada segura, hasta una fusión parcial o total del núcleo con liberación de inventario radiactivo. El modelado de tales secuencias se realiza mediante los denominados “Árboles de Eventos”. Las diferentes combinaciones de fallas se modelan mediante los respectivos “Árboles de Fallas” de cada Sistema, en tanto los Errores Humanos son modelados mediante técnicas propias.

La revisión de los APSs previos realizados para CNE es un Requerimiento Regulatorio aplicado al Proyecto “Extensión de Vida” de la Central Nuclear Embalse o “PEV-CNE”, proyecto actualmente en curso.

En este trabajo se analiza como responderán los sistemas de seguridad y posibles acciones humanas, al incluir ahora los nuevos Cambios de Diseño y de Criterios-Hipótesis de accidentes, frente a los eventos iniciantes tipo LOCA “S2” para los varios Estados Operacionales de Planta, “EOPs” (Baja Potencia, Paradas Frías varias, Parada Caliente y Transiciones). Estos son los EOPs de “Baja Potencia y Parada” o “BPP”. Para ello se deben modificar varios AEs y ampliar su número, los que serían incluidos a futuro en un nuevo APS-BPP.

Los nuevos Cambios de Diseño y Cambios en las Hipótesis de evolución de un CANDU-6 en condiciones accidentales implican cambios de importancia en los AEs tipo LOCA Pequeño “S2” en los EOPs mencionados. La elaboración de los nuevos AEs que surgen de considerar todos esos Cambios de Diseño y de Criterios-Hipótesis de accidentes, junto a la identificación de los cambios y ampliación de los AEs en los principales Estados BPP mencionados, son el objetivo central de este trabajo.

CAPÍTULO 1

1.1. INTRODUCCIÓN

El Análisis Probabilista de Seguridad (APS) es una herramienta conceptual y matemática que permite obtener estimaciones numéricas sobre el Nivel de Riesgo de Accidentes Severos en centrales nucleares.

El APS puede tener hasta 3 Niveles en su alcance, complementarios entre sí. El presente trabajo está limitado al Nivel 1. En dicho nivel se tienen en cuenta todos los Grupos de Eventos Iniciantes (GEIs) que pueden postularse en los diversos Estados Operacionales de Planta (EOPs). A partir de la definición de la Lista de EOPs y las Listas de GEIs para cada EOP, el Modelo APS considera cada uno de estos Escenarios de Accidentes resultantes seguido de todas las diferentes combinaciones de fallas en la mitigación por parte de sistemas y/o acciones humanas.

Las posibles combinaciones de fallas y/o de éxito en cada instancia de la mitigación mencionada pueden llevar la planta, a través de diferentes “Secuencias”, a los varios Estados Finales de Nivel-1, que pueden ser, desde una parada segura, hasta una fusión parcial o total del núcleo con liberación de inventario radiactivo. El modelado de tales secuencias se realiza mediante los denominados “Árboles de Eventos”. Las diferentes combinaciones de fallas se modelan mediante los respectivos “Árboles de Fallas” de cada Sistema, en tanto los Errores Humanos son modelados mediante técnicas propias.

Siguiendo la Norma respectiva de IAEA, Ref. /1/, recientemente y en el marco del Proyecto Extensión de Vida de la Central Nuclear Embalse (PEV-CNE), se completó la “Actualización del Análisis Probabilista de Seguridad para Operación a Alta Potencia” ó “APS-OAP”, Refs. /2-4/. Esta profunda modificación al Modelo APS-OAP estuvo centrada a la vez en :

- *Incluir el grueso del nuevo conocimiento, generado en la última década o más, sobre la evolución de una Central Candu-6 bajo condiciones accidentales severas.*
- *Reflejar la futura Configuración de la Central luego de la conclusión del PEV-CNE.*

Así, el Nuevo Modelo APS-OAP de CNE actualiza las Hipótesis y Criterios adoptados, e incluye, en particular :

- Todos los Cambios de Diseño relacionados con la seguridad y
- Mejoras en el modelo y en su interfase para su prolongación al Nivel-2.

Debe remarcarse que varios de los Cambios de Diseño en curso de implementación en CNE, están relacionados con la prevención o mitigación de LOCAs, en particular, los del tipo “LOCA pequeño”, cuyo código es “S2”.

El nuevo modelo posee un mayor realismo y otras mejoras, tales como :

- Ampliación-revisión de los *Grupos de Eventos Iniciantes (GEIs)* retenidos
- Nuevos o modificados *Árboles de Eventos (AEs)* para el Modelado de Secuencias de Accidentes
- Nuevos o modificados *Árboles de Fallas (AFs)* para el Modelado de Fallas en los Sistemas de Mitigación y en los Sistemas Soportes de estos
- Nuevas *Acciones Humanas (AHs)* de los diversos tipos según Ref. /1/ pre- y post-accidentales, o bien mejoras en el modelado de otras AHs ya existentes
- Nueva Estructura de *Estados Finales de Planta (EFPs)* provistos de mayor detalle para describir Descargas Radioactivas directas fuera de la Contención ó Eventos de Interfase, etc.

1.2. ESTADOS OPERACIONALES DE PLANTA

Fuera de la ocurrencia de un evento anormal o accidental, la Central deberá encontrarse necesariamente en “condiciones operacionales normales”, condiciones que pueden ser bastante diversas. Los diferentes estados o configuraciones normales autorizadas por diseño deben ser contemplados debidamente en todo APS.

Hace algunos años se encaró en la CNE la Definición de un Conjunto de “Estados Operacionales de Planta” ó “EOPs”. Así, quedaron establecidos :

A) *Un EOP principal-predominante: “EOP N° 0- Operación a Alta Potencia” (OAP). Su duración promedio en CNE es de 88.7 % y es el único EOP de CNE con generación de energía entregada a la Red Externa.*

B) *Seis EOPs muy diferenciados entre sí y del anterior : “EOPs N° 1 a 6- Baja Potencia y Parada” (BPP). En conjunto, poseen una duración promedio de 11.3 % y no se genera energía en ellos.*

Todo lo descripto en la Sec. 1.1. corresponde al EOP N° 0 – OAP, presentado en el punto A).

Los 7 Estados Operacionales de Planta definidos para CNE son los siguientes:

TABLA 1 : Estados Operacionales de Planta (EOPs) definidos para CNE

<u>EOP N° / Designación</u>
0. <i>“Alta Potencia” (Preactor > 60%).</i>
1. <i>“Arranque y Baja Potencia” (Preactor < 60%).</i>
2. <i>“Parada Caliente”.</i>
3. <i>“Parada Fría – SPTC lleno, sin presión”.</i>
4. <i>“Parada Fría – SPTC lleno, sin presión – SAP Indisponible”.</i>
5. <i>“Parada Fría – SPTC drenado, abierto”.</i>
6. <i>“Transiciones de temperatura o presión del SPTC”.</i>

Hace ya varios años se desarrolló el APS-BPP de CNE, que cubrió los 6 EOPs de Baja Potencia y Parada (EOPs “BPP” ó EOPs N° 1 a 6). La síntesis de ese estudio se da en Ref. /5/.

Es claramente un APS Pre-PEV-CNE, el que deberá alinearse, en un futuro cercano, con el Nuevo APS-OAP, incorporando los Cambios de Diseño y de Hipótesis mencionados

1.3. OBJETIVO

Habiendo completado la Actualización del APS-OAP, comenzar a evaluar el impacto o la influencia de los Cambios de Diseño y la actualización de Hipótesis bajo Condiciones Accidentales, en el Análisis Probabilista de Seguridad en Estados de Baja Potencia y Parada de la Central Nuclear Embalse, ó “APS-BPP” de CNE. Para este primer análisis, limitarse al Modelado de Secuencias para un solo GEI representativo.

1.4. ALCANCE

1.4.1. Especificación

Habiendo establecido que los Cambios de Diseño y las Nuevas Hipótesis de Evolución bajo Condiciones Accidentales afectan de manera muy polarizada el Modelado de Secuencias de Eventos “LOCAs”, se limitará el análisis a los Árboles de Eventos (AEs) para el GEI de mayor interés : “LOCA pequeño - S2” en los diferentes Estados Operacionales de Planta (EOPs).

1.4.2. Aclaraciones

1.4.2.1. No se tendrá en cuenta ninguna cuantificación, aún parcial, de las secuencias modeladas.

1.4.2.2. En la Actualización del APS-OAP ya realizada, quedaron definidas varias Familias de Eventos tipo “LOCA”, la primera de las cuales es la denominada “LOCAs generales”.

1.4.2.3. Ésta incluye 3 GEIs :

- “LOCA por Rotura Grande”, GEI = “A” .
- “LOCA por Rotura Pequeña”, GEI = “S2” .
- “LOCA por Rotura Muy Pequeña”, GEI = “S3” .

1.4.2.4. Siendo que la frecuencia de ocurrencia del GEI “A” es mucho menor que la del GEI “S2”, se selecciona éste último como objeto de este estudio.

CAPÍTULO 2

Parte de lo presentado en este Capítulo tiene carácter general para el APS-BPP y fue tomado de Ref. /5/. Tiene por objeto mostrar los aspectos particulares de tal estudio, en especial por las diversas configuraciones de planta incluidas (Ver Sec. 1.2.).

De acuerdo a lo fijado en Objetivo y Alcance (Sec. 1.3 y 1.4.), el trabajo a realizar se centra en el Modelado de Secuencias de Eventos de ciertos escenarios de LOCAs, bajo diversos Estados Operacionales de Planta (EOPs).

2.1. METODOLOGÍAS DEL “APS-BPP” DE CNE

2.1.1. Enfoque general

El Modelado de Secuencias de Eventos (MSE) requiere previamente la Definición de Escenarios de Accidentes (DAE) retenidos y requiere, a priori, contar con una base adecuada de estudios deterministas, procedimientos operativos para eventos anormales y experiencia operativa propia y eventualmente de otras plantas o estudios similares.

El Objetivo central del MSE es utilizar la técnica de Árboles de Eventos (AEs), modelando para cada uno de los “escenarios accidentales” retenidos las diferentes secuencias de eventos resultantes según el éxito o fracaso de cada sistema o acción humana cognitiva requeridos para paliar la evolución accidental, asociando a cada secuencia el correspondiente Estado Final de Planta (EFP).

Para ello hay una serie de tareas a ejecutar que se listan a continuación:

1. Definición Inicial de AEs a elaborar.
2. Revisión de los “Estados Finales de Planta” (EFPs) y su aplicabilidad para cada uno de los “Estados Operacionales de Planta” (EOPs) a considerar en los escenarios retenidos.
3. Definición del “Listado inicial de Cabeceras de Sistemas” a utilizar en los AEs.
4. Definición de los “Criterios de Éxito normales o de referencia”, para los Sistemas Frontales y Soporte a considerar según cada EOP.
5. Elaboración de todos los AEs iniciales.
6. Análisis de Dependencias iniciales
7. Actualización del “Listado de Cabeceras de Sistemas” y “Criterios de Éxito de referencia de sistemas de seguridad y soporte”. Elaboración del “Listado de Criterios de Éxito específicos de sistemas de seguridad y soporte”.
8. Listado inicial de Cabeceras Humanas e información adicional eventual para acciones humanas en Árboles de Falla (AFs).
9. Inicio del Proceso iterativo. “Definición de Escenarios”: Revisión del Listado de Escenarios, posibles redefiniciones de escenarios, posibles re-

agrupamientos, posibles aperturas en sub-grupos. Definición final de Escenarios.

10. Listado Definitivo de AEs a elaborar. Fuente elegida para frecuencias de escenarios.
11. Completamiento y adecuación de todos los AEs requeridos. Actualización de Dependencias.
12. Actualizaciones finales de Cabeceras-Sistemas involucrados, criterios de éxito finales de referencia y específicos para diferentes escenarios. Actualización final de Cabeceras Humanas e información adicional eventual para acciones humanas en AFs.

En lo que respecta a dependencias hay que analizar:

1. Posibles dependencias entre el Escenario inicial y el Criterio de Éxito a asignar a cada cabecera o sistema de seguridad y/o soporte.
2. Lo mismo entre el Escenario inicial, Cabeceras Humanas y/o Acciones Humanas previstas dentro de AFs de Sistemas.
3. Posibles dependencias entre Cabeceras de Sistemas y/o Humanas.

2.1.2. Limitaciones del presente trabajo

Como mínimo, se prevé realizar el Modelado de Secuencias de Eventos para un “LOCA Pequeño – S2” en los diferentes “EOPs BPP” (EOPs N° 1 a 6), tomando como referencia el Nuevo Árbol de Eventos “S2” en la reciente Actualización del APS-OAP, Ref. /4/.

En varios casos se encontró previamente, Ref. /5/, que era posible asimilar AEs de un cierto EOP con otro AE semejante de otro EOP. Con ello el número de AEs a modelar resulta menor (Ver Cap. 3).

Por otra parte, para un mejor análisis puede resultar útil modelar uno o más AEs adicionales, como fue en el presente trabajo con “Pérdida del SEP” (Ver Cap. 3).

2.2. FUNCIONES DE SEGURIDAD

De manera general, las Funciones de Seguridad (FSs) que deben ser aseguradas son las siguientes, Ref. /1/ :

1. FS#1 Control de la Reactividad del Reactor.
2. FS#2.a Remoción del Calor del Reactor.
3. FS#2.b Control del Inventario de Refrigerante Primario.
4. FS#2.c Transporte del Calor del Reactor a un Sumidero Final.

Cabe resaltar que para los EOPs de BPP (N° 1 a 6), respecto de la FS#1 – Control de la Reactividad, al momento del Evento Iniciante :

- A) El reactor se encuentra crítico en
- EOP N° 1 en todos los casos, y en
 - EOP N° 6 en ciertos casos
- B) El reactor se encuentra sub-crítico en
- EOPs N° 2, 3, 4, 5 en todos los casos

Las FS#2-a, b, c se aplican las 3 en el caso de cualquier LOCA, como el "S2".

2.3. EVENTOS INICIANTES Y ESCENARIOS ACCIDENTALES

2.3.1. Familias de Eventos Iniciantes en EOP N° 0 – "OAP"

Resulta conveniente rever este tema en el caso del EOP N° 0 – "OAP", a fin de tomar al mismo como referencia permanente, siendo éste el EOP predominante. Así, en la reciente Actualización del APS-OAP de CNE, las "Familias de Eventos Iniciantes" postulados son las dadas en Tabla 2.

TABLA 2 : Familias de Eventos Iniciantes - Actualización del APS-OAP

<u>FEI N°</u>	<u>/</u>	<u>Designación</u>
----------------------	-----------------	---------------------------

1. LOCAs Generales (dentro de la Contención).
2. LOCAs en Un Solo Canal.
3. LOCAs de Interfase.
4. Pérdidas de Refrigerante Primario Dentro de la Contención.
5. Pérdidas de Refrigerante Primario en Interfases.
6. Descargas de Moderador en Interfases.
7. Transitorios Generales de Planta.
8. Fallas en el Sistema de Regulación del Reactor.
9. Fallas en el Sistema Primario de Transporte de Calor y sus Sistemas Auxiliares.
10. Fallas en los Generadores de Vapor y en la Condensación, Agua de Alimentación y Sistemas Relacionados.
11. Fallas en el Sistema de Vapor Principal y sus Sistemas Relacionados.
12. Fallas en el Moderador, Shield Cooling y Sistemas Relacionados.
13. Fallas en los Sistemas de Suministro Eléctrico.
14. Fallas en los Sistemas de Suministro No Eléctricos.
15. Fallas de la Máquina de Recambio de Combustible Acoplada al Reactor.

2.3.2. Eventos Iniciantes en EOP N° 0 – "OAP"

Todo ese conjunto de Familias de eventos iniciantes agrupan a los siguientes GEIs (Ver Tabla 3).

TABLA 3 : Grupos de Eventos Iniciantes – Actualización del APS-OAP

Árbol de Eventos	Código	Designación
ET-01	A	Large Break LOCA
ET-02	S2	Small Break LOCA
ET-03	S3	Very Small Break LOCA
ET-04	SA	Pressure Tube / Calandria Tube Rupture
ET-05	SB	Inlet Feeder Break with Flow Stagnation
ET-06	SC	End-Fitting Failure
ET-07	VBa	Interface Small LOCA through Multiple SG Tube Rupture (10 tubes) into Secondary System
ET-08	VCa	Interface Small LOCA through Multiple Coolant HX Tube Rupture, in S/B toward SWS / Lake
ET-09	S4a	In-Containment Primary Coolant Leak. Discharge within the capacity of 2 D2O Feed PICS Pumps
ET-10	S4b	In-Containment Primary Coolant Leak. Discharge within the capacity of 1 D2O Feed PICS Pump
ET-11	VBb	Interface Primary Coolant Leak through Single SG Tube Rupture, into Secondary System
ET-12	VCb	Interface P-Coolant Leak, due to HX Tube Rupture, toward SWS / Lake
ET-13	VD	Interface P-Coolant Leak, due to HX Tube Rupt. toward Chimney/ Atmosph
ET-14	VMa	Interface Moderator Discharge through Multiple Moderator-Cooler-HX Tube Rupture (10 tubes), toward SWS / Lake
ET-15	VMb	Interface Moderator Discharge through Single Moderator-Cooler-HX Tube Rupture, toward SWS / Lake
ET-16	TG	Generic Transient (requiring Reactor Trip)
	TA5	High Level in 1 SG
ET-17	TR1a	Failure in Reactivity/ Total Power Control : Fast Evolution
ET-18	TR1b	Failure in Reactivity/ Total Power Control : Slow Evolution
ET-19	TR2	Failure in Regional Power Control : Regional Over Power
ET-20	TP2	Spurious or Abnormal Opening of 1 Liquid Relief Valve
ET-21	TP3	Non-controlled or Abnormal PHTS Depressurization
ET-22	TP5	Loss of SWS Cooling to PHTS Pump Bearings and Gland Seals (TP5 = Formerly TS3)
ET-23	TP6	Loss of 1 PHTS Pump
ET-24	TP7	PHTS Pump Shaft Seizure
ET-25	TP8	Single-channel Flow Blockage

Árbol de Eventos	Código	Designación
ET-26	TA1	Total loss of Main Feed-water Flow to the SGs
ET-27	TA2	Severe Symmetric break in SG Feed-water lines
ET-28	TA3	Asymmetric break in SG Feed-water lines outside the R/B
ET-29	TA6	Loss of Inventory in 1 SG
	TA4	Asymmetric break in SG Feedwater lines inside the R/B
ET-30	TA7a	Steam Generator Blow-down Line Break : In-Containment asymmetrical break
ET-31	TA7b	Steam Generator Blow-down Line Break : In-Containment symmetrical break
ET-32	TA7c	Steam Generator Blow-down Line Break : Out-Containment symmetrical break
ET-33	TA8	Loss of Main Feed-water Flow to 1 SG
ET-34	TV1	Main Steam Line break outside Reactor Building
ET-35	TV2	Main Steam Line break inside Reactor Building
ET-36	TV3	Main Steam Line leak inside Reactor Building
ET-37	TV4	Main Steam Line leak outside Reactor Building
ET-38	TV5	Loss of Condenser (Loss of Vacuum)
ET-39	TV6	Spurious Closure of Main Steam Isolation Valves
ET-40	TM1	Loss of Deuterium Concentration Control in the Moderator Cover Gas System
ET-41	TM2	Large Loss of Moderator Inventory
ET-42	TM3	High Temperature in the Moderator System
ET-43	TM4	Small Loss of Moderator Inventory
ET-44	TM5	Loss of Shield Cooling Water Inventory
ET-45	TM6	High Temperature in the Shield Cooling System
ET-46	TE1	Total Loss of Class-4
ET-47	TE2	Loss of Class-4 6.6KV ODD Bus bar
ET-48	TE3	Loss of Class-4 6.6KV EVEN Bus bar
ET-49	TE4	Loss of 1 Class-3 6.6KV Bus bar
ET-50	TS1	Total Loss of Service Water System (SWS)
	TS4	Other Partial Losses of SWS

Árbol de Eventos	Código	Designación
ET-51	TS2	Total Loss of High-Pressure SWS
ET-52	TS5	Total Loss of the Instrument Air Supply System
ET-53	TS6	Total Loss of Main Control Computers
ET-54	TF1	End Fitting Failure induced by a Coupled FM, with fuel ejection
ET-55	TF2	Small LOCA induced by Failures in a Coupled FM, with no fuel ejection

En los restantes EOPs, es decir los EOPs “BPP” el Número de GEIs y de AEs a modelar es bastante menor, pero es regla partir de lo aplicable en el EOP predominante.

2.3.3. Escenarios Accidentales

De esta forma, debe analizarse la aplicabilidad de cada GEI de Tabla 3 a cada uno de los EOPs N° 1 a 6. En particular, el GEI “S2” es aplicable en la mayoría de estos EOPs, como se verá en el Cap. 3.

Sin embargo, las condiciones iniciales varían ya que cada EOP posee configuraciones y condiciones operativas propias. La combinación de las condiciones iniciales fijadas por el EOP, junto a las características del GEI considerado, conforman diferentes “Escenarios Accidentales”.

Es aquí el caso del GEI “S2” en los diferentes EOPs de BPP.

2.3.4. Definiciones para la Familia de LOCAs generales

Ac: Área total de paso de refrigerante primario en un Colector SPTC de Entrada al Reactor

GEI = “A” – Loca Grande

Toda rotura en una tubería o colector del SPTC, con un área total de descarga de refrigerante primario que va desde :

Una rotura guillotina, (2 x Ac), hasta 5.% x Ac.

(Corte autom. del Reactor con SPR1 ó SPR2 por : Alta potencia del reactor.

Adición de Reactividad positiva muy elevada : Excursión de potencia No controlable por SRR. Señal de LOCA existente. Iniciación autom. del SEEN / ECCS).

GEI = "S2" – Loca Pequeño

Toda rotura en una tubería o colector del SPTC, con un área total de descarga de refrigerante primario que va desde :

5.% x Ac, hasta un caudal de descarga de aprox. 55. Kg / seg.

(Corte del Reactor por : Parámetros de procesos (Alta P , T).

Adición de Reactividad positiva moderada, Controlada por el SRR.

Señales de LOCA existente y nueva. Iniciación autom. del SEEN / ECCS)

GEI = "S3" – Loca Muy Pequeño

Toda rotura en una tubería o colector del SPTC, o en una línea de un sistema auxiliar interconectado, con un Caudal total de descarga de refrigerante primario que va desde :

- aprox. 55. Kg / seg hasta aprox. 17.Kg / seg.

(Corte tardío del Reactor por : Parámetros de procesos (Alta P , T).

Adición de Reactividad positiva muy pequeña, Controlada por el SRR.

Nueva Señal de LOCA solamente. Iniciación autom. del SEEN / ECCS).

Caudal de Descarga de aprox. 55.Kg / seg.

Límite superior de caudal de descarga, que implica una adición moderada de reactividad positiva, controlable por el SRR.

Caudal de Descarga de aprox. 17.Kg / seg.

Límite superior de caudal de descarga, compensable por parte del Sistema SCPI / PICS

(2 trenes- 2 bombas de alimentación de D2O)

2.4. CABECERAS DE SISTEMAS – ACCIONES HUMANAS

Como parte importante del "Modelado de Secuencias de Eventos", se incluye el establecer las bases, codificación y Listado Inicial de Cabeceras a ser utilizadas en los Árboles de Eventos que se elaboren para modelar las secuencias de accidentes bajo los escenarios retenidos.

2.4.1. Cabeceras de Sistemas

Toda Cabecera de Sistema (CS) utilizada en este trabajo y el modelado de todas sus posibles formas de fallas mediante su Árbol de Fallas (AF), correspondió a uno de estos 2 grupos :

- Cabecera de Sistema ya existente en el anterior APS-BPP, Ref. /5/
- Cabecera de Sistema adicional definida en la Actualización del APS-OAP, Ref./4/, válida y aplicable en el presente trabajo en Estados EOPs "BPP".

En efecto, en el presente trabajo no fue necesario expandir lo anterior a cabeceras nuevas o modificadas en sus modelos (o sea, modificar sus AFs).

A fin de recordar uno de los aspectos principales de este tema, tomando como referencia la Actualización del APS-OAP, las Cabeceras de Sistemas se agruparon en ese EOP, en los siguientes Tipos.

TABLA 4 : Tipos de Cabeceras

Número	Código	Designación
1	K	Reactor Trip
2	SN	Class-4 / Class-3 Supplies
3	LOC	LOCA Signals
4	PHTP,BTCH	Automatic / Manual PHTS Pump Trips
5	N	Automatic / Manual Opening of MSSVs
6	J	PHTS Loop and other Isolations
7	X	Opening / Closure of Special Valves
8	Q	Isolation or Bottling of a Main Component
9	U	PHTS Inventory Compensation by PICS
10	SG	SG Isolation due to rupture in a related pipe
11	BPC	BPC System sustained correct operation
12	D1	Crash-Cool-Down and HP-MP-ECCS Actuations
13	AMD2	Automatic / Manual Initiation of LP-ECCS
14	D2	LP-ECCS Operation
15	MPA	Main and Auxiliary SG FWS Operation
16	MA	Auxiliary SG FWS Initiation and Operation
17	P	SDCS Initiation and Operation
18	ME	EWS Initiation and Operation
19	MST	MLHS under Abnormal Transient
20	MSL	MLHS under LOCA
21	PMG1, NPFI	Moderator System

Estos Tipos de Cabeceras del EOP “OAP” siguen válidos en el presente trabajo al aplicarlos a los EOPs “BPP”.

Más aún, ninguna nueva Cabecera de Sistema, ni ninguna modificación al AF de alguna Cabecera de Sistema pre-existentes en el anterior APS-BPP ó en la Actualización del APS-OAP, fueron necesarias en el presente trabajo.

2.4.2. Acciones Humanas

Similarmente a lo visto en el par. 2.4.1. para las cabeceras de sistemas, toda Acción Humana (AH) considerada en este trabajo y su modelado correspondieron a uno de estos 2 grupos :

- AH ya considerada en el anterior APS-BPP, Ref. /5/
- AH adicional definida en la Actualización del APS-OAP, Ref./4/, y válida y aplicable en el presente trabajo en Estados EOPs “BPP”.

En efecto, no fue necesario expandir – agregar nuevas AHs o modificar otras en sus modelos.

Las Acciones Humanas (AHs) realizadas por el personal, antes, durante o luego de un evento anormal o accidente, pueden ser exitosas o bien erradas, y en este último caso se tienen Errores Humanos (EHs / HEs), a ser modelados bajo diversas metodologías.

Desde el punto de vista del comportamiento y reacciones en cada instancia de la evolución de la Central luego de un evento anormal o accidente, existen 2 grandes categorías de AHs y EHs :

- *Acciones Humanas Cognitivas o De Diagnóstico*
- *Acciones Humanas de Ejecución o Manuales*

En la primera categoría se encuentran las acciones del Personal de Operación en Sala de Control a cargo de monitorear señales e información recibida de la cual puede resultar la “*Detección*” de un evento anormal, seguida de un “*Diagnóstico*” y “*Definición de la Estrategia a seguir*”. Esto normalmente incluye la selección del *Procedimiento de Operación ante Eventos Anormales (POEA / AEOP)* apropiado para la mitigación.

Esta sucesión lógica de actividades de ese personal suele designarse como AH cognitiva. Cuando la estrategia elaborada y el propio POEA involucran más de un sistema, esa AH cognitiva es modelada e incluida en el Árbol de Eventos como Cabecera Humana. La misma precederá a todas las Cabeceras de los Sistemas incluidos en la Estrategia seleccionada.

En otros casos la AH cognitiva es mucho más limitada, referida a un único sistema y a menudo corresponde a una “acción de recuperación”, luego de ocurrida una falla en algún equipo o componente. En tal caso será considerada como parte del modelo del sistema al que está referida : será incluida como un “Elemento Básico” del Árbol de Fallas que modela la Falla del Sistema.

Por último, toda “AHs de Ejecución” se incluye siempre como un “Elemento Básico” del Árbol de Fallas que modela la Falla del Sistema en cuestión.

En suma, desde un punto de vista práctico, para la inclusión de todas las AHs en el Modelo general del APS Nivel-1, se pueden agrupar todas las AHs consideradas, en 3 grupos :

- “*AH Cognitiva o de Diagnóstico que concierne a más de un sistema*” : Se la incluye como Cabecera Humana en el Árbol de Eventos.
- “*AH Cognitiva o de Diagnóstico que concierne a solo un sistema*” : Se la incluye como Elemento Básico en el Árbol de Fallas del Sistema.
- “*AH de Ejecución o Manual (concierne a solo un sistema)*” : Se la incluye como Elemento Básico en el Árbol de Fallas del Sistema.

Como para las Cabeceras de Sistemas y siempre debido al Alcance acotado del presente trabajo, se encontró que Todas las AHs de los 3 grupos precedentes utilizadas en el presente trabajo, ya fueron definidas y modeladas en el anterior APS-BPP y en la Actualización del APS-OAP para el EOP "OAP" (en este último caso siguen válidas en el presente trabajo al aplicarlas a los EOPs "BPP").

>>> *No es necesario crear ninguna nueva AH ni modificar ningún modelado ya existente.*

En el presente trabajo, limitado al Modelado de Secuencias mediante Árboles de Eventos, solo son "visibles" las AHs del primer grupo de los tres señalados : las Cabeceras Humanas.

El Código de toda Cabecera Humana tiene la forma : "Hxyyy". H= fijo ; x es un dígito creciente a partir de 1, dentro de cada AE; yyy es el código del GEI/AE

Respecto del Modelado de las AHs se aplicaron las metodologías de uso internacional en el marco de los lineamientos fijados por IAEA al efecto en Ref. /1/ y otros documentos complementarios.

Como enfoque general se cuantifica cada AH, en primer lugar mediante el denominado "Método de Screening", aproximado aunque muy conservativo, determinando valores de "HEP" (Human Error Probability) en base a pocos parámetros (nivel de stress según fallas previas en la mitigación, nivel de entrenamiento y procedimientos para el caso, etc.). Luego, se aplican metodologías más refinadas y seleccionadas para cada caso de AH, todo ello designado "Modelado Detallado".

Los posibles errores humanos (EHs / HEs) pre- y post- accidentales son considerados, siguiendo lo fijado por IAEA, en "5 Tipos de EHs".

Solo para ilustrar esto, se indican dos tipos :

EH Tipo-1 : Cualquier EH pre-accidente, en especial ocurrido durante actividades del Personal de Mantenimientos, sean preventivos o correctivos, inspecciones, calibraciones, ensayos, pruebas, etc. Un caso relevante es el de Fallas de Causa Común, tales como calibración sistemáticamente desfasada en varios instrumentos redundantes, por error en el instrumento patrón. Muchos de los EHs Tipo-1 ocurren en la Parada programada previa al accidente.

EH Tipo-3 : Cualquier EH post-accidente ocurrido durante las tareas de mitigación por parte del Personal de Operación en la Sala de Control. Puede incluir errores en AH Cognitiva – Diagnóstico del Evento anormal, o en cualquier AH de Ejecución – Manual, p.ej. realizando pasos erróneos al seguir el Procedimiento de Operación para Eventos Anormales (POEA).

2.5. ESTADOS FINALES DE PLANTA

Otra tarea relevante en el “Modelado de Secuencias de Eventos” es la definición de los Estados Finales de Planta” (EFPs) a ser considerados en los Árboles de Eventos correspondientes a cada Escenario. Designando a la Liberación Radioactiva como “RR”, se tiene lo siguiente :

Clasificación General de Liberación Radioactiva (RR)

- A. “Cero-RR”, salvo autorizadas bajo condiciones normales (Licencia). “0-RR”.
- B. “Liberación dentro de la contención” “IC-RR”.
- C. “Liberación fuera de la contención” “OC-RR”.

Categorías de Daño a la Instalación

- “P”: Parada segura con el reactor preservado.
- “L”: Daño Limitado de los Elementos Combustibles del Núcleo.
- “D”: Deformaciones Geométricas de muchos Elementos/Canales Combustibles.
- “F”: Fusión Parcial o Total del Núcleo.

Codificación

- Primer carácter (X): Calificación del Daño a la Instalación.
- Segundo carácter (Y): Calificación de RR dentro de la contención.
- Tercer carácter (p): RR de Refrig. Primario fuera de contención.
- Cuarto carácter (m): RR de Moderador fuera de contención.

Posibles valores para los caracteres

Primer carácter:

- “P”: Parada segura con el reactor preservado.
- “L”: Daño Limitado de algunos Elementos Combustibles del Núcleo.
- “D”: Deformaciones Geométricas de muchos Elementos/Canales Combustibles.
- “F”: Fusión Parcial o Total del Núcleo.

Segundo carácter:

- “S”: Estado seguro, sin RR (Liberación Radioactiva) dentro de la contención.
- “L”: Poca Liberación Radioactiva del Refrigerante en la contención.
- “I”: Intermedia Liberación Radioactiva del Refrigerante en la contención.
- “G”: Generalizada Liberación Radioactiva de Vapor de Refrigerante y de Estructuras más combustibles fundidos.
- “H”: Significativa Liberación de Hidrógeno y Tritio en la contención.

NOTA: Solo llevan 3er y 4º caracteres los “Eventos de Interface”

Tercer caracter:

- Level 0 or “S”: Seguro Sin Liberación de Refrigerante fuera de la contención.
- Level 1 or “L”: Poca Liberación de Refrigerante fuera de la contención.
- Level 2 or “I”: Intermedia Liberación de Refrigerante fuera de la contención.
- Level 3 or “G”: Gran Liberación de Refrigerante fuera de la contención.

Cuarto caracter:

Level 0 or "S": Seguro Sin Liberación de Moderador fuera de la contención.

Level 1 or "L": Poca Liberación de Moderador fuera de la contención.

Level 2 or "I": Intermedia Liberación de Moderador fuera de la contención.

Level 3 or "G": Mucha Liberación de Moderador fuera de la contención.

CAPÍTULO 3

3.1. REFERENCIA: ÁRBOL DE EVENTOS “S2” en EOP N° 0, “OAP”

3.1.1. Inclusión de Cambios de Diseño

En el Árbol de Eventos “S2” de este Estado Operacional de OAP se pueden apreciar algunos “Cambios de Diseño” muy relevantes : son aquellos que constituyen *nuevos automatismos* que reemplazan anteriores Acciones Manuales de los Operadores. Por sus efectos salientes en el Modelado de Secuencias mediante el AE, varios de ellos se incluyen directamente como “Cabeceras de Sistemas”. Comprenden :

A) Nueva Señal de LOCA, independiente de la señal existente. Señal disparada por “Baja presión en SPTC, sostenida por más de 5 minutos” (sin concurrencia simultánea de ninguna otra señal, como sí ocurre con la Señal de LOCA existente). >>> Cabecera “LOC2”

B) La inclusión explícita de esa nueva señal, impone explicitar también el disparo de la señal de LOCA actualmente existente. Toda vez que converjan 2 señales apropiadas (una de ellas la “condicionante” de Baja presión en SPTC) se considera la Señal de LOCA actual, mediante >>> Cabeceras “LOC1A ó LOC1B” según donde se origina (la última ante parámetro de disparo relativo al Moderador)

B) Corte de las 4 bombas SPTC por Baja presión sostenida en el SPTC
Esto es de gran importancia en caso de LOCA, ya que evita que esas bombas caviten, sufran daños y se dañen líneas de tuberías, al punto de terminar por indisponer al SEEN / ECCS, todo ello ante una fracción de vacío creciente.
>>> Cabecera “PHTP1”.

En caso de falla de este automatismo, se considera el respaldo manual con las Cabeceras “PHTP0”, “PHTP3”, “PHTP4”.

C) Inicio automático del Sistema de Enfriamiento de Emergencia del Núcleo - Etapa de Baja Presión con back-up manual. >>> Cabeceras “AMDxyk”

3.1.2. Árbol de Eventos “S2” en EOP N° 0 - OAP

A continuación se presenta el Árbol de Eventos “S2” para este Estado Operacional de Planta N° 0 – Operación a Alta Potencia.

FIGURA 1 : LOCA Pequeño EOP #0

Small LOCA										No.	Freq.	Conseq.	Code
S2	K22R	LOC 1A	SN1	PHTP1	PHTP0	PHTP3	MSL1	MSL2					
Reactor Trip, Auto Pairs 22/23p		Trip of current LOCA signal not involving Moderator parameters	Sustained Class-4 Supply following Reactor Trip	Auto shut-off of 4/4 PHT Pumps on low PHTS pressure	Manual back-up to failed auto shut-off of 4/4 PHT Pumps on low PHTS pressure	After failed auto PHTP1 : Manual shut-off for 3/4 PHT Pumps	MLHS after LOCA; Short-term; 1 pump with large motor + 2 coolers; Class-4 Avail	MLHS after LOCA; Short-term; 1 pump with pony motor + 2 coolers; Class-4 Unavail					
										1	5,00E-03	S2IVA11	
										2	1,92E-04	S2IVA12	PHTP1
										3	2,11E-07	FGN	PHTP1-PHTP0
										4	4,35E-05	S2IVU	SN1
										5	8,50E-08	DIN	LOC 1A
										6	4,39E-11	FGN	LOC 1A-MSL1
										7	3,26E-09	DIN	LOC 1A-PHTP1
										8	1,69E-12	FGN	LOC 1A-PHTP1-MSL1
										9	3,59E-12	FGN	LOC 1A-PHTP1-PHTP3
										10	7,40E-10	DIN	LOC 1A-SN1
										11	4,11E-10	FGN	LOC 1A-SN1-MSL2
										12	3,88E-12	FGN	K22R

Small LOCA/class IV available	Auto/Crash-Cool-D & HP/MIP ECCS initiator. Inj.1.4. head/loop, for S2 or similar. Class-4 Avail	Auto/Manual ECCS LP-stage initiation after Small LOCA or similar. Class-4 Avail.	LP-ECCS operation for 24 hrs ; Class-4 Avail	Main or Auxiliary RW to 4/4 SGs. Class-4 Avail	CCSAS under Small LOCA and failure of RWS, to establish other heat sinks for both loops. Class-4 Avail	SDCS Initiation/Operation to 2 Loops ; SDCS Pumps only. Class-4 Avail	EWS pumped from lake (manual) to 4/4 SGs. PHTS thermo-siphoning. Class-4 Unavail	MLHS after LOCA; Short-term; 1 pump w/large motor + 2 coolers. Class-4 Avail	MLHS after LOCA; Long-term; 1 pump w/large motor + 1 cooler. Class-4 Avail	No.	Freq.	Conseq.	Code
S2/VA11	D1D4N	AMD224	D2D4N	MPA13N	H1S2	P71	ME4N	MSL1	MSL3				
										1	6,03E-03	PLN	
										2	1,05E-04	PLN	MPA13N
										3	2,25E-05	PLN	MPA13N-P71
										4	6,84E-07	DIN	MPA13N-P71-ME4N
										5	1,54E-11	FGN	MPA13N-P71-ME4N-MSL3
										6	5,27E-06	DIN	MPA13N-H1S2
										7	1,06E-10	FGN	MPA13N-H1S2-MSL3
										8	1,18E-05	DIN	D2D4N
										9	1,52E-08	FGN	D2D4N-MSL3
										10	4,95E-09	DIN	AMD224
										11	1,02E-13	FGN	AMD224-MSL3
										12	9,12E-06	DIN	D1D4N
										13	5,99E-09	FGN	D1D4N-MSL1

Small LOCA/Class IV available	Auto/Crash-Cool-D & HP/MP ECCS init/oper. Ini./1/4 headloop, for S2 or similar. Class-4 Avail	Auto/Manual ECCS LP-stage initiation after Small LOCA or similar. Class-4 Avail.	LP-ECCS operation for 24 hrs ; Class-4 Avail	Main or Auxiliary FW to 4/4 SGs. Class-4 Avail	OOSAS under Small LOCA and failure of FWS, to establish other heat sinks for both loops. Class-4 Avail	SDCS Initiation/Operation to 2 Loops ; SDCS Pumps only. Class-4 Avail	EWS pumped from take (manual) to 4/4 SGs. PHTS thermo-syphoning. Class-4 Unavail	MLHS after LOCA; Short-term; 1 pump w/large motor + 2 coolers. Class-4 Avail	MLHS after LOCA; Long-term; 1 pump w/large motor + 1 cooler. Class-4 Avail	No.	Freq.	Conseq.	Code
S2IVA12	D1D4N	AMD224	D2D4N	MPA 13N	H1S2	P71	ME4N	MSL1	MSL3	1	2,32E-04	PLN	
										2	4,05E-06	PLN	MPA 13N
										3	8,66E-07	PLN	MPA 13N-P71
										4	2,63E-08	DIN	MPA 13N-P71-ME4N
										5	5,93E-13	FGN	MPA 13N-P71-ME4N-MSL3
										6	2,02E-07	DIN	MPA 13N-H1S2
										7	4,09E-12	FGN	MPA 13N-H1S2-MSL3
										8	4,51E-07	DIN	D2D4N
										9	5,82E-10	FGN	D2D4N-MSL3
										10	1,90E-10	DIN	AMD224
										11	3,93E-15	FGN	AMD224-MSL3
										12	3,50E-07	DIN	D1D4N
										13	2,30E-10	FGN	D1D4N-MSL1

Small LOCA, Class IV unavailable	Auto Crash-Cool-D & HP/MP ECCS initiator. Inj. 1/4 headloop, for S2 or similar. Class-4 Unav	Auto/Manual ECCS LP-stage initiation after Small LOCA or similar. Class-4 Unavail	LP-ECCS operation for 24 hr ; Class-4 Unavail	Auxiliary FW feeding 4/4 SGs, Class-4 Unavail	COASAS under Small LOCA and failure of RWS to establish other heat sinks for both loops. Class-4 Unav	SDCS Initiation, Operation to 2 Loops; SDCS Pumps only; Class-4 Unavailable	EM'S pumped from lake (manual) to 4 SGs. PHTS thermo-synchronizing. Class-4 Unav	MLHS after LOCA; Short-term: 1 pump w/ pony motor + 2 coolers. Class-4 Unav	MLHS after LOCA; Long-term: 1 pump w/ pony motor + 1 cooler. Class-4 Unav	No.	Freq.	Conseq.	Code
S2IVU	D1D3N	AMD223	D2D3N	MA1N	H2S2	P4	ME4N	MSL2	MSL4	1	5,41E-05	PLN	
										2	1,02E-07	PLN	MA1N
										3	2,28E-08	PLN	MA1N-P4
										4	5,85E-10	DIN	MA1N-P4-ME4N
										5	1,03E-11	FGN	MA1N-P4-ME4N-MSL4
										6	5,07E-09	DIN	MA1N-H2S2
										7	9,04E-11	FGN	MA1N-H2S2-MSL4
										8	1,10E-07	DIN	D2D3N
										9	1,89E-07	FGN	D2D3N-MSL4
										10	4,44E-11	DIN	AMD223
										11	7,48E-13	FGN	AMD223-MSL4
										12	8,20E-08	DIN	D1D3N
										13	5,60E-08	FGN	D1D3N-MSL2

3.2. ÁRBOLES DE EVENTOS “S2” en EOPs N° 1 y 2

3.2.1. AE “S2” en el EOP N° 1

Para el Estado Operacional de Planta #1, Arranque y Baja Potencia (Preactor < 60%), aplica el mismo árbol de eventos tipo LOCA “S2” que en el EOP #0 Alta Potencia (>60%). En efecto, no hay prácticamente diferencias de alguna significación y entonces vale el AE de Figura 1.

3.2.2. AE “S2” en el EOP N° 2

Para el Estado Operacional de Planta #2, Parada Caliente, aplica el mismo árbol de eventos tipo LOCA “S2” que en el EOP #0 Alta Potencia (>60%) pero sin las cabeceras: “K” - Reactor Trip (debido a que ya se encuentra el reactor en subcrítico) y “SN1” - Pérdida de Clase IV. También por la eliminación de esta última cabecera desaparece el Sub-Árbol que analizaba la Pérdida de este tipo de suministro eléctrico y consideraba solo Clase III para la potencia CA.

A continuación se presenta, en Figura 2, el Árbol de Eventos “S2” para el Estado Operacional de Planta #2 con las modificaciones anteriormente mencionadas.

FIGURA 2 : LOCA Pequeño en EOP #2

LOCA Pequeño	Trip of current LOCA signal not involving Moderator parameters	Auto shut-off of 4/4 PHT Pumps on low PHTS pressure	Manual Back-up to failed auto shut-off of 4/4 PHT Pumps on low PHTS pressure	After failed auto PHTP1: manual shut-off of 3/4 PHTP pumps	MLHS after LOCA: short-term; 1 pump w/large motor + 2 coolers	Sec	EFP
S2	LOC1A	PHTP1	PHTP0	PHTP3	MSL1	Nº	Estado Final
						1	A11
						2	A12
						3	FG
						4	DI
						5	FG
						6	DI
						7	FG
						8	FG

LOCA Pequeño	Auto crash-cool-down and HPMP ECCS int. operation. Injection 1/4 header Loop for S2 or similar	Auto./Manual ECCS LP-stage initiation after Small LOCA	LP-ECCS operation for 24 hs	Main or Auxiliary FW under LOCA, to 4/4 SGs	ODSAS under Small LOCA and Failure FWS, to establish other heat sinks for both loop	SDCS Initiation/Operation to 2 Loops, under Small LOCA with own pumps only	EWS pumped from lake (manual) to 4/4 SGs. Thermo-syphoning.	MLHS after LOCA: short-term; 1 pump w/large motor + 2 coolers	MLHS after LOCA: long-term; 1 pump w/large motor + 1 cooler	Sec	EFP
A11	D1D4N	AMD224	D2D4N	MPA13N	H1S2	P71	ME4N	MSL1	MSL3	N°	Estado Final
										1	PS
										2	PS
										3	PS
										4	DI
										5	FG
										6	DI
										7	FG
										8	DI
										9	FG
										10	DI
										11	FG
										12	DI
										13	FG

3.3. ÁRBOL DE EVENTOS “S2” en EOP N° 3

Para este Estado Operacional de Planta #3, Parada Fría – SPTC lleno, con/ sin presión, existen dos LOCA tipo S2:

1. LOCA Pequeño (excluido en el SEP (Sistema de Enfriamiento en Parada)).
2. LOCA Pequeño en el SEP.

El primero de los árboles que corresponde al LOCA pequeño (excluido en el SEP) queda igual que el viejo árbol de eventos.

Con respecto al segundo, LOCA Pequeño en el SEP, una nueva hipótesis importante se agregó que es eliminar la cabecera que en el árbol antiguo intenta recuperar el SEP.

A continuación se presentan estos dos Árboles de Eventos “S2” para este Estado Operacional de Planta.

Como se verá la baja temperatura del reactor y SPTC inhibe una actuación automática del SEEN / ECCS : no se tiene señal de LOCA, ni la existente ni la nueva.

FIGURA 3 : LOCA Pequeño (excluido en el SEP (Sistema de Enfriamiento en Parada)) en EOP #3.

LOCA Pequeño	Detección, diagnóstico y estrategia para sumidero de calor a largo plazo	Inyección del SEEN-MP con clase IV	Recirculación del SPTC mediante SEEN-BP con clase IV	Moderador como último sumidero de calor	Moderador como último sumidero de calor como falla del operador	Sec	EFP
E301	H01 301	DM1300	DB1300	MU1300	MU6300	N°	Estado Final
						1	PSF
						2	DI
						3	FG
						4	DI
						5	FG
						6	DI
						7	FG

FIGURA 4 : LOCA Pequeño en el SEP, bajo EOP #3

Pérdida del SEP con LOCA S2	Diagnóstico de pérdida del SEP	Habilitación y operación del SAAA a 2 GV's por lazo, Clase IV disponible	Habilitación y op. SAE, desde Rociado ó lazo a 2 GV's por lazo, CL IV disp.	Inyec. SEEN-MP CLIV disp.	SEEN-BP con Clase IV inicial	Moderador como sumidero calor, CIV disp.	Moderador como sumidero calor CL IV disp. ante falla de operador	Sec	EFP
E3-11B	HD1 311	MB2E00	ME6300	DM3300	DB1300	MU1300	MU6300	Nº	Estado Final
								1	PSF
								2	PSF
								3	PSF
								4	DI
								5	FG
								6	DI
								7	FG
								8	DI
								9	FG

3.4. ÁRBOLES DE EVENTOS “S2” en EOPs N° 4 y 5

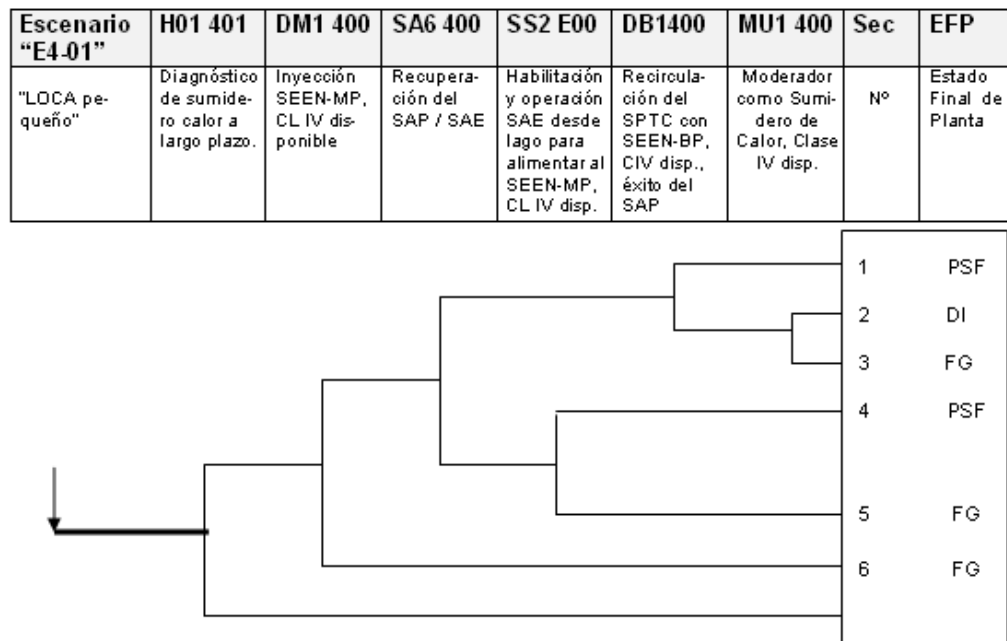
3.4.1. Árbol de Eventos “S2” en EOP N° 4

Para el Estado Operacional de Planta #4, Parada Fría – SPTC lleno, sin presión – SAP Indisponible, los cambios de diseño no son relevantes ya que no hay señal de LOCA por estar el sistema a baja presión y temperatura.

No hay actuaciones o señales de Cambios de Diseño, ni de Nueva señal de LOCA, ni de disparo de las 4 bombas SPTC, ya que se está a baja presión.

Por lo tanto el árbol se mantiene igual al elaborado en el APS-BPP /5/.

FIGURA 5 : LOCA Pequeño EOP #4



3.4.2. Árbol de Eventos “S2” en EOP N° 5

En relación al Estado Operacional de Planta #5, Parada Fría – SPTC drenado, abierto no aplican eventos tipo LOCA S2 por estar el SPTC drenado y abierto.

3.5. ÁRBOL DE EVENTOS “S2” en EOP N° 6

Para el Estado Operacional de Planta #6, Transiciones de temperatura o presión del SPTC, se analiza un evento tipo LOCA S2 con el SEEN (Sistema de Enfriamiento de Emergencia del Núcleo) inicialmente bloqueado / inhabilitado, requiriendo una iniciación manual. En este Árbol se agrega una Cabecera de Apagado Manual de las Bombas del Primario para que no caviten.

A continuación se presenta este Árbol de Eventos “S2” para este Estado Operacional de Planta #6.

FIGURA 6 : LOCA pequeño y equivalentes con SEEN no automático EOP #6

"LOCA pequeño y equivalentes con SEEN no automático"	Corte automático del reactor con SPR#1 ó 2, ó SRR	Detección-diagnóstico y Estrategia Inicial	Manual Trip of 4 PHTS Pumps	Inyección SEEN-AP/ Ab. - MP, Clase IV inicial, circulación asegurada	Detección-diagnóstico y estrategia para Largo Plazo	Recirculación lazo roto SPTC mediante SEEN-BP, luego de éxito de SEEN-AP y MP	Sec	EFP
E6-01	KA7 601	H01 601	BTCH	DN1 P00	H02601	DB1 601	Nº	Estado Final
							1	PS
							2	T1
							3	T2
							4	T1
							5	FG
							6	FG
							7	FG

Transferencia	Habilitación y Operación SAE (lago) enfriando 2 GVs del lazo sano (termosifón)	Moderador como Ultimo Sumidero, Clase IV inicial, sin fallas humanas pre-vias	Sec	EFP
T1	ME5 601	MU1 P00	Nº	Estado Final
			8	PS
			9	DI
			10	FG

Transferencia	Moderador como Ultimo Sumidero, Clase IV inicial, con falla humana previa	Sec	EFP
T2	MU1 P00	N°	Estado Final
		11	DI
		12	FG

3.6. Otros Árboles de Eventos de Interés

En el trabajo se analizó la influencia de los cambios de diseño en otros árboles de interés como ser la Pérdida del SEP (sin rotura) también en un EOP #3.

El árbol correspondiente a la Pérdida del SEP (sin rotura) queda igual que el anterior ya que los cambios de diseño e hipótesis no tienen influencia sobre el mismo.

FIGURA 7: Pérdida del SEP (sin rotura) EOP #3

Pérdida del SEP sin rotura	Diagnóstico de pérdida del SEP	Habilitación y operación del SAAA a 2 GV's por lazo, Clase IV disponible	Habilitación y op. SAE, desde Rociado ó lazo a 2 GV's por lazo, CL IV disp.	Inyec. SEEN-MP CLIV disp.	SEEN-BP con Clase IV inicial	Recup. SEP y operac. a ambos lazos SPTC	Moderador como sumidero calor, CIV disp.	Moderador como sumidero calor CL IV disp. ante falla de operador	Sec	EFP
E3-11A	H01 311	MB2E00	ME6300	DM3300	DB1300	PR2399	MU1300	MU6300	Nº	Estado Final
									1	PSF
									2	PSF
									3	PSF
									4	PSF
									5	DI
									6	FG
									7	DI
									8	FG
									9	DI
									10	FG

CONCLUSIONES

A lo largo del trabajo se analizó como influyen los nuevos Cambios de Diseño del PEV-CNE en los Estados Operacionales de Planta #0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

Para el caso del EOP #0 y el EOP #1 los Cambios de Diseño influyen significativamente agregándose una Cabecera muy importante por Señal de LOCA y las Cabeceras PHTPx para detener las bombas y que las mismas no entren en cavitación. También se agregaron Cabeceras de sistemas que antes eran manuales y ahora pasan a ser automáticos con back-up manual como ser la que inicia el Sistema de Enfriamiento de Emergencia de Baja Presión.

Con respecto al EOP #2 en este caso también los cambios de diseños fueron significativos al igual que en el estado anterior con la diferencia de que se eliminaron las Cabeceras: Reactor Trip (por estar el reactor en subcrítico) y Pérdida de Clase IV (lo que esto hizo también desaparecer el Sub-Árbol de Eventos que analizaba la Pérdida de este suministro eléctrico).

Para el caso del EOP #3, 4 y 5 los cambios de diseño no tienen relevancia significativa ya que no existe una señal LOCA por estar el sistema a baja temperatura y con ello el SEEN bloqueado. Sin embargo se realizó una nueva consideración de analizar un LOCA S2 en el SEP estando la planta en el EOP #3.

Con relación a los cambios de diseño en el EOP #6 si tuvieron importancia agregándose una nueva Cabecera que busca apagar las bombas del SPTC manualmente de manera tal que no caviten.

Es importante notar que se analizaron otros árboles de interés como ser la Pérdida del SEP en el EOP #3, en este caso no hubo cambios significativos.

Finalmente cabe destacar que este trabajo ayudará a la realización del Nuevo Análisis Probabilista de Seguridad de Baja Potencia y Parada ya que dentro del mismo es requisito la incorporación de los árboles de eventos de todos los eventos postulados que son significativos; entre ellos el LOCA Pequeño.

Referencias bibliográficas

Documentos generales y principales

- /1.1/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *“Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessments of Nuclear Power Plants (Level 1)”*. IAEA Safety Series No. 50 – P - 4. (1992).
- /1.2/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *“Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants”*. IAEA Specific Safety Guide Series No. SSG-3. (2010)
- /1.3/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *“Human Reliability Analysis in Probabilistic Safety Assessments for Nuclear Power Plants”*. IAEA Safety Series No. 50 – P – 10 (1995).
- /2/ R. Corcuera. *“Update of Embalse Level-1 High-Power-Operation PSA : Main Document of the Model Package (DP1)”*. NASA. GPEV-CNE-01040-SL-AF-001, Rev. 3 (2012)
- /3/ R. Corcuera, G. Funes, H. Damiani. *“Update of Embalse Level-1 High-Power-Operation PSA : Main Document of the Result Package (DP2)”*. NASA. GPEV-CNE-01040-SL-AF-002, Rev. 3 (2013)
- /4/ R. Corcuera. *“APS–N1–Operación a Alta Potencia – Actualización PEV-CNE (Fase-3) : INFORME FINAL”*. NASA. GPEV- CNE- 01040-SL- AF- 003, Volúmenes 1,2,3. Rev.0 (2013)
- /5/ NASA. *“APS Nivel-1 CNE : Informe Final del APS en Baja Potencia y Parada”*. CNE.APS.IF.213, Rev. 0 (2005)

Documentos Específicos

- Update of Embalse L1-HPO PSA: Modeling Assumptions and Criteria. NA-SA.
- Update of Embalse Level-1High-Power-Operation P.S.A.: End Plant States including Interface Events/Discharges. NA-SA.
- Update of Embalse Level-1High-Power-Operation p.s.a.: System Headings employed in Event Trees. NA-SA.
- Update of Embalse Level-1High-Power-Operation p.s.a.: Summary of Human Actions employed in ETs and FTs. NA-SA.
- R. Corcuera. *“Estados Operativos de Planta (EOPs) de Referencia”*. CNE.APS.IT. 202 (2003).