

## Índice

Abreviaturas .....	VII
Resumen .....	IX
Abstract .....	X
Capítulo 1 - “Marco de trabajo” .....	1
1.1 Objetivos del Trabajo .....	1
Capítulo 2 - “Reactor CAREM 25”.....	2
2.1 Descripción general de la planta .....	2
2.2 Aspectos de Seguridad Nuclear.....	5
2.3 Descripción de sistemas relevantes dentro de los SS-LPP y SS-LDP.....	6
2.4 Sistemas de Estado Seguro Final (SESF).....	8
2.5 Sistema de Extensión de Estado Seguro .....	8
2.6 Referencias .....	10
Capítulo 3 -“CAREM 480” .....	11
3.1 Descripción general del CAREM 120.....	11
3.2 Seguridad Nuclear .....	13
<b>3.2.1 Comportamiento ante eventos.....</b>	14
3.3 Comentarios .....	14
3.4 Referencias .....	15
Capítulo 4 - “Planteos de Diseño”.....	16
4.1 Costos .....	16
<b>4.1.1 Costos de capital y economía de escala.....</b>	18
4.2 Seguridad.....	21
4.3 Disponibilidad .....	24
4.4 Análisis del reactor AP1000.....	24
<b>4.4.1 Aspectos Económicos .....</b>	24
<b>4.4.2 Aspectos de Seguridad .....</b>	25
<b>4.4.2 Aspectos de Disponibilidad.....</b>	27
4.5 ¿En dónde estamos parados?.....	27
4.6 ¿Hacia dónde vamos?.....	28
<b>4.6.1 Central modular: “CAREM 120”.....</b>	29
<b>4.6.2 Central integrada: “CAREM 480” .....</b>	29
<b>4.6.3 Verificación de la condición de borde económica.....</b>	30
4.7 Referencias .....	30
Capítulo 5 - “Estudio de eventos de tipo LOCA” .....	31

5.1 Introducción .....	31
5.2 Adaptación de los datos del CAREM 25 al CAREM 120 .....	32
5.3 Estimación del inventario mínimo de agua del tanque del SIS .....	33
<b>5.3.1 Aumento de presión de inyección a 2,5 MPa y análisis de cambio de volumen para el SIS (FM = 4 y 3).....</b>	<b>36</b>
<b>5.3.2 Uso del sistema de reducción de presión en el caso de falla del SSECR para pérdidas pequeñas (con Fm = 4) .....</b>	<b>38</b>
5.4 Conclusiones .....	39
5.5 Referencias.....	39
Capítulo 6 - “Sistema de Seguridad de Extracción de Calor Residual del CAREM 25” .....	40
6.1 Descripción general.....	40
6.2 Requerimientos de diseño .....	40
6.3 Descripción del diagrama de procesos del SSECR .....	41
6.4 Relación del SSECR con la Contención.....	42
6.5 Referencias.....	43
Capítulo 7 - “Dimensionamiento del SSECR para el CAREM 120” .....	45
7.1 Reglas de diseño.....	45
7.2 Parámetros de diseño para el SSECR del CAREM 120.....	46
7.3 Estimación de $\Delta Z$ .....	48
7.4 Verificación de cañerías .....	51
7.5 Conclusiones .....	51
7.6 Referencias .....	52
Capítulo 8 - “Contención del CAREM 25”.....	53
8.1 Descripción de la contención del CAREM 25 .....	53
<b>8.1.1 Recintos Secos.....</b>	<b>53</b>
<b>8.1.2 Recintos Húmedos .....</b>	<b>62</b>
<b>8.1.3 Recintos del Sistema de Seguridad del Extracción de Calor Residual (RSSECR) .....</b>	<b>62</b>
8.2 Conclusiones .....	65
8.3 Referencias .....	65
Capítulo 9 - “Arquitecturas para la contención del CAREM 120” .....	66
9.1 Puntos a tener en cuenta .....	66
<b>9.1.1 Generadores de Vapor – Robot de Inspección .....</b>	<b>66</b>
<b>9.1.2 Optimización del RSC.....</b>	<b>67</b>
<b>9.1.3 Volumen de la PS.....</b>	<b>67</b>
<b>9.1.4 Costos de hormigón.....</b>	<b>68</b>
9.2 Contención N° 1 .....	69

9.3 Contención N° 2 .....	75
9.4 Distribución de equipos y aberturas principales.....	83
<b>9.4.1 Contención 1</b> (figuras 9.10, 9.11 y 9.12).....	83
<b>9.4.2 Contención 2</b> (figuras 9.19, 9.20 y 9.21).....	84
9.5 Escaleo de Equipos Críticos.....	85
<b>9.5.1 Sistema de Alimentación de Mecanismos Hidráulicos de la BC (SAMHBCR)</b> .	86
<b>9.5.2 Sistema de Purificación y Control de Volumen (SPCV)</b> .....	87
<b>9.5.3 Sistema de colección de corrientes líquidas y Gaseosas radiactivas</b> .....	88
<b>9.5.4 Sistema de Ventilación de Recintos Secos (HVAC)</b> .....	89
<b>9.5.5 Segundo Sistema de Extinción</b> .....	89
<b>9.5.6 Extensión de estado seguro</b> .....	90
9.6 Verificación de disponibilidad de espacio para la ubicación de equipos .....	91
<b>9.6.1 Contención N° 2</b> .....	91
<b>9.6.2 Contención N° 1</b> .....	96
9.7 Conclusiones .....	98
9.8 Referencia .....	98
Capítulo 10 - “Dimensionamiento de los sistemas de piletas relacionadas con las funciones de seguridad” .....	100
10.1 Fenómeno de evaporación.....	100
10.2 Intercambiadores de calor cilíndricos.....	102
10.3 Contención 1 .....	103
<b>10.3.1 PIAS-PEAS</b> .....	103
<b>10.3.2 PS-PEAI</b> .....	106
10.4 Contención 2 .....	109
<b>10.4.1 PAAR – PEAS</b> .....	109
10.5 Verificación del espesor de la contención.....	112
10.6 Referencias.....	115
Capítulo 11- “ <i>Sistemas con desempeño en la Etapa 2 del Nivel 3 de la DenP</i> ” .....	116
11.1 Estrategia de Control de EIP para el CAREM 120 .....	116
<b>11.1.1 Sistemas de Estado Seguro Final del CAREM 120</b> .....	117
<b>11.1.2 Sistemas de Extensión de Estado Seguro del CAREM 120</b> .....	118
<b>11.1.3 Comparación Respecto al CAREM 25</b> .....	119
11.2 Sistema de Inyección Gravitatorio de Condensado (SIGC) .....	120
11.3 Dimensionamiento del SIGC .....	121
<b>11.3.1 Altura mínima requerida para la inyección (H)</b> .....	122
<b>11.3.2 Número de intercambiadores de tubos condensadores</b> .....	123

<b>11.3.3 Altura de los HX respecto a la PIAS/PARA .....</b>	125
<b>11.3.4 Ubicación dentro de la contención.....</b>	127
<b>11.3.5 Inventario inicial de la pileta del SIGC .....</b>	128
11.4 Resumen de la estrategia de seguridad del Nivel 3 en la DenP, para el CAREM 120..	129
11.5 Conclusiones .....	130
10.6 Referencias .....	130
Capítulo 12 - “Integración Modular” .....	132
12.1 Tendencia actual.....	132
12.2 Distribución de edificios en el predio del CAREM 25 .....	134
12.3 Criterios de Integración .....	136
12.4 Aplicación al caso CAREM 480 .....	137
12.5 Cronograma tentativo de construcción.....	140
12.6 Conclusiones .....	140
12.7 Referencias .....	141
Capítulo 13 - “Estimación de Costos”.....	142
13.1 Cálculo de costos de opciones de contenciones para el CAREM 120 .....	142
<b>13.1.1 Metodología de cálculo.....</b>	142
<b>13.1.2 Cálculo de costos de construcción de contención.....</b>	146
13.2 Equipos internos a la contención.....	148
<b>13.2.1 Escaleo de recipientes de presión .....</b>	148
<b>13.2.2 Costos de equipos internos a la contención del CAREM 120 .....</b>	152
13.3 Estimación de costos de la central CAREM 480 .....	154
13.4 Conclusiones .....	156
13.5 Referencias .....	157
Capítulo 14 - “Conclusiones generales”.....	158
14.1 Trabajos futuros .....	161
Anexo 1 - “Modelo cero dimensional de equilibrio, para la evaluación de EP en un reactor tipo CAREM” .....	162
A1.1 Modelo de Cálculo .....	162
<b>A1.1.1 Modelo cero dimensional de las estructuras .....</b>	165
<b>A1.1.2 Modelado del SSECR .....</b>	165
<b>A1.1.3 Modelo Térmico del Núcleo.....</b>	166
<b>A1.1.4 Modelo cero dimensional de trasferencia de calor a los GV (Generadores de Vapor).....</b>	166
<b>A1.1.5 Modelado del Sistema de Inyección de Seguridad (SIS) .....</b>	167
<b>A1.1.6 Modelado de caudal de pérdida por LOCA .....</b>	168

A1.2 Resolución numérica .....	168
A1.3 Validación del modelo cero dimensional (M0D) .....	170
<b>A1.3.1 Presión .....</b>	<b>171</b>
<b>A1.3.2 Caudal de pérdida por LOCA y caudal de inyección del SIS .....</b>	<b>172</b>
<b>A1.3.3 Nivel de líquido en el primario .....</b>	<b>174</b>
A1.4 Modelo cero Dimensional en Eventos de pérdida de fuente fría.....	176
A1.5 Conclusiones .....	177
A1.6 Referencias .....	177
Anexo 2 - “Potencia de extracción nominal del SSECR” .....	178
A2.1 Respuesta de un reactor integrado ante un LOHS, con actuación del SSECR.....	178
A2.2 Metodología de estimación de la potencia mínima del SSECR .....	181
A2.3 Verificación de la metodología propuesta.....	182
A2.4 Potencia de extracción mínima para el SSECR del CAREM 120.....	184
A2.5 Conclusión.....	186
A2.6 Referencias .....	186
Anexo 3 – “Herramienta para el dimensionamiento del SSECR” .....	187
A3.1 Introducción .....	187
A3.2 Dimensionamiento para el condensador del SSECR.....	188
<b>A3.2.1 Modelo analítico .....</b>	<b>188</b>
<b>A3.2.2 Modelado del condensador en OCTAVE / MATLAB .....</b>	<b>190</b>
<b>A3.2.3 Validación.....</b>	<b>191</b>
A3.3 Modelo de estimación de pérdidas de carga de las líneas del SSECR .....	194
<b>A3.3.1 Altura de la columna de condensado .....</b>	<b>195</b>
<b>A3.3.2 Descripción de la Red hidráulica .....</b>	<b>195</b>
<b>A3.3.3 Modelo analítico de cálculo .....</b>	<b>197</b>
<b>A3.3.4 Validación.....</b>	<b>199</b>
A3.4 Conclusiones .....	199
A3.5 Referencia.....	199
Anexo 4 - “Análisis y metodología de diseño para contenciones de módulos tipo CAREM de potencia comercial”.....	201
A4.1 Introducción .....	201
A4.2 Contención tipo BWR .....	201
<b>A4.2.1 Volumen de agua para la pileta del SSECR.....</b>	<b>201</b>
<b>A4.2.2 Altura del pelo de agua del SSECR .....</b>	<b>203</b>
<b>A4.2.3 Volumen de la Pileta Supresora .....</b>	<b>204</b>

<b>A4.2.4 Evolución temporal del sistema de piletas PIAS-PEAS/PAAR-PEAS (LOHS)</b>	206
A4.2.5 Evolución temporal del sistema PS-PEAI/PAAR-PEAS	211
A4.3 Contención tipo PWR	212
<b>A4.3.1 Descripción del sistema a resolver</b>	212
<b>A4.3.2 Reglas de diseño</b>	213
<b>A4.3.3 Propuesta de sistemas de condensación para la presurización inicial</b>	224
<b>A4.3.4 Condensación de tubos para el sistema HX</b>	229
A4.4 Condensación en presencia de no condensables	232
A4.5 Fenómeno de Evaporación	233
A4.6 Conclusión	235
A4.7 Referencias	235
Anexo 5 - “Planos de contenciones”	236
A5.1 Contención 1	237
A5.2 Contención 2	244