

# Índice de contenido

1. Introducción.....	1
1.1. Motivación .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Estructura de la tesis.....	3
2. Estado del arte.....	5
2.1. Criterios de semejanza.....	5
2.1.1. Escalado lineal .....	6
2.1.2. Escalado volumétrico.....	6
2.1.3. Escalado de Ishii .....	7
2.1.4. Escalado másico.....	7
2.2. Metodologías de análisis del escalado.....	8
2.2.1. Three-Level Scaling.....	8
2.2.2. H2TS.....	11
2.2.3. FSA - Fractional Scaling Analysis.....	11
2.2.4. DSS – Dynamical System Scaling.....	12
2.2.5. Métodos de cuantificación de incertidumbre .....	13
2.2.6. Otros métodos de análisis .....	13
2.3. Instalaciones experimentales.....	16
2.4. Test <i>counterpart</i> .....	19
2.4.1. Counterpart SBLOCA en LOBI, SPES, BETHSY y LSTF.....	20
2.4.2. Counterpart SBLOCA en LSTF y PKL .....	21
2.4.3. Counterparts en IIST para consolidar instalaciones RHRP.....	22
2.4.4. Counterparts en BWR.....	22
2.4.5. Counterpart en ATLAS y LSTF.....	23

3. Instalaciones experimentales.....	25
3.1.  Instalación experimental ATLAS.....	25
3.1.1.  Sistema primario de ATLAS.....	28
3.1.2.  Sistema secundario de ATLAS .....	32
3.1.3.  Sistemas de seguridad de ATLAS.....	33
3.2.  Instalación experimental LSTF.....	34
3.2.1.  Sistema primario de LSTF .....	36
3.2.2.  Sistema secundario de LSTF .....	40
3.2.3.  Sistemas de seguridad de LSTF .....	40
3.3.  Comparación de instalaciones .....	41
4. Códigos termohidráulicos y modelos .....	45
4.1.  Códigos <i>Best Estimate</i> .....	45
4.2.  Código TRACE5 .....	49
4.2.1.  Características principales del código .....	49
4.2.2.  Modelos especiales.....	51
4.3.  Modelos de las instalaciones .....	54
4.3.1.  Modelos de vasija.....	60
4.3.2.  Efecto de las pérdidas de calor .....	61
5. Análisis aplicado al escalado.....	67
5.1.  Escalado de condiciones para test <i>counterpart</i> LSTF/ATLAS.....	67
5.2.  Descripción de experimentos.....	73
5.2.1.  1% SBLOCA Rama fría.....	73
5.2.2.  13% IBLOCA Rama fría.....	75
5.2.3.  1% SBLOCA Upper head .....	77
5.3.  Análisis de escalado y distorsión.....	79
5.4.  Técnica PIRT .....	81

6. Simulación y análisis de experimentos .....	83
6.1. 1% SBLOCA.....	83
6.2. 13% IBLOCA.....	89
6.2.1. Global system scaling análisis .....	92
6.3. 1% SBLOCA <i>Upper head</i> .....	107
6.3.1. Blind Phase .....	109
6.3.2. Open Phase.....	114
7. Diseño de experimentos .....	127
7.1. Experimento <i>Station Blackout</i> – Test A1.1 .....	127
7.2. Condiciones para el test <i>counterpart</i> en LSTF .....	129
7.3. Simulación del test <i>counterpart</i> – Escenario SBO .....	131
7.4. Análisis de similaridad .....	139
7.5. Análisis PIRT .....	146
7.6. Adecuación del test <i>counterpart</i> .....	149
8. Conclusiones .....	153
8.1. Conclusiones generales .....	153
8.2. Líneas de trabajo futuras .....	157
8.3. Publicaciones.....	158
Referencias.....	161



## Índice de Figuras

Figura 1: Metodología 3-level scaling (Ishii et al., 1998).....	10
Figura 2: Identificación de distorsiones en la metodología DSS (Bestion et al., 2017). .....	12
Figura 3: <i>Scaling Roadmap</i> (D’Auria y Galassi, 2010). .....	15
Figura 4: Esquema de la instalación ATLAS (KAERI, 2018). .....	27
Figura 5: Vasija de la instalación ATLAS (KAERI, 2018). .....	28
Figura 6: Esquema de la instalación LSTF (Rosa-V Group, 2003). .....	36
Figura 7: Vasija de la instalación LSTF (Rosa-V Group, 2003).....	38
Figura 8: Márgenes de seguridad (USNRC, 2017). .....	46
Figura 9: Nodalización de la instalación ATLAS. ....	58
Figura 10: Nodalización de la instalación LSTF.....	59
Figura 11: Correlación HTC-Pérdidas de calor en el modelo de ATLAS.....	63
Figura 12: Relación HTC-Densidad para distintas potencias.....	65
Figura 13: Correlación Potencia neta-Caudal en el modelo de ATLAS. ....	66
Figura 14: Metodología de diseño de test <i>counterpart</i> .....	72
Figura 15: Esquemas de unidad de rotura para 1% SBLOCA. ....	75
Figura 16: Test 1% SBLOCA rama fría – Inventario descargado.....	84
Figura 17: Test 1% SBLOCA rama fría – Presión en sistema primario. ....	85
Figura 18: Esquema de sellos de lazo (m) a) ATLAS b) LSTF. ....	86
Figura 19: Test 1% SBLOCA rama fría – Nivel de líquido en sellos de lazo (A). ....	87
Figura 20: Test 1% SBLOCA rama fría – PCT. ....	88
Figura 21: Test 1% SBLOCA rama fría – Caudal acumuladores. ....	88
Figura 22: Test 13% IBLOCA rama fría – Inventario descargado. ....	90
Figura 23: Test 13% IBLOCA rama fría – Presión sistema primario. ....	90
Figura 24: Test 13%IBLOCA rama fría – PCT. ....	91
Figura 25: Fases de escenario IBLOCA.....	94
Figura 26: Sensibilidad rotura – Descarga de inventario. ....	111
Figura 27: Sensibilidad rotura – Presión en sistema primario.....	111
Figura 28: Sensibilidad modelado CET y PCT.....	112
Figura 29: Sensibilidad CCFL Kutateladze – Nivel de líquido en sellos.....	113
Figura 30: Sensibilidad CCFL Wallis – Nivel de líquido en sellos. ....	114
Figura 31: T1 Vs pérdida de refrigerante en t=1000 s. ....	116
Figura 32: Nivel de líquido en el núcleo vs. T1.....	116
Figura 33: CET máxima vs. PCT.....	117
Figura 34: PCT vs. tiempo de remojado (T3-T2).....	117

Figura 35: T3 Vs T1 .....	118
Figura 36: Conclusiones benchmark – Nivel de líquido en núcleo vs. T1. ....	119
Figura 37: Conclusiones benchmark – T1 vs T3.....	120
Figura 38: Conclusiones benchmark – T3 vs. T1.....	120
Figura 39: Conclusiones benchmark – CET en instante de PCT máx vs. T1 .....	121
Figura 40: Test 1% SBLOCA <i>upper head</i> – Presión sistema primario. ....	122
Figura 41: Test 1% SBLOCA <i>upper head</i> – Presión sistema secundario.....	123
Figura 42: Test 1% SBLOCA <i>upper head</i> – Inventario descargado a través de la rotura. ....	123
Figura 43: Test 1% SBLOCA <i>upper head</i> – Nivel de líquido en la vasija. ....	125
Figura 44: Test 1% SBLOCA <i>upper head</i> – CET.....	125
Figura 45: Test 1% SBLOCA <i>upper head</i> – PCT. ....	126
Figura 46: Test <i>counterpart</i> A1.1 – Nivel de líquido en GV.....	133
Figura 47: Test <i>counterpart</i> A1.1 – Presión en sistema primario.....	134
Figura 48: Test <i>counterpart</i> A1.1 – caudal en ramas calientes a) sin PRZ b) con PRZ. ...	135
Figura 49: Test <i>counterpart</i> A1.1 – nivel de líquido en presionador.....	136
Figura 50: Test <i>counterpart</i> A1.1 – Nivel de líquido en vasija. ....	137
Figura 51: Test <i>counterpart</i> A1.1 – Inventario descargado a través de POSRV. ....	138
Figura 52: Test <i>counterpart</i> A1.1 – Peak cladding temperature (PCT).....	139
Figura 53: Etapas de circulación natural en el test <i>counterpart</i> .....	140
Figura 54: Post-test <i>counterpart</i> A1.1 – caudal en rama caliente.....	151
Figura 55: Post-test <i>counterpart</i> A1.1 – Peak cladding temperature (PCT).....	152

## Índice de Tablas

Tabla 1: Comparación de parámetros de escalado. ....	8
Tabla 2: Integral test facilities. ....	18
Tabla 3: Proporciones de escala de la instalación ATLAS (KAERI, 2018). ....	27
Tabla 4: Características de las bombas en APR1400 y ATLAS (KAERI 2018). ....	32
Tabla 5: Proporciones de escala de la instalación LSTF (Rosa-V Group, 2003). ....	35
Tabla 6: Características de la vasija. ....	41
Tabla 7: Características del presionador. ....	42
Tabla 8: Características de los conductos del sistema primario. ....	42
Tabla 9: Características de los generadores de vapor. ....	43
Tabla 10: Coeficientes de descarga implementados en los modelos de TRACE5. ....	57
Tabla 11: Correlaciones Potencia-Caudal. ....	64
Tabla 12: Ratios de escalado en test <i>counterpart</i> LSTF/ATLAS. ....	71
Tabla 13: Eventos y señales 1% SBLOCA rama fría. ....	74
Tabla 14: Eventos y señales 13% IBLOCA rama fría. ....	77
Tabla 15: Experimentos SBLOCA en <i>upper head</i> de LSTF. ....	78
Tabla 16: Eventos y señales 1% SBLOCA <i>upper head</i> . ....	79
Tabla 17: Resumen de análisis para fase de purga. ....	97
Tabla 18: Resumen de análisis para fase de circulación natural. ....	99
Tabla 19: Resumen de análisis para fase de descarga de alta calidad. ....	102
Tabla 20: Resumen de análisis para fase de rellenado. ....	105
Tabla 21: Grupos participantes en el benchmark para Test B5.1. ....	108
Tabla 22: Casos de análisis de sensibilidad en fase ciega. ....	110
Tabla 23: Eventos y señales en el Test A1.1. ....	129
Tabla 24: Parámetros de escalado test <i>counterpart</i> SBO. ....	130
Tabla 25: Condiciones iniciales en test <i>counterpart</i> SBO. ....	132
Tabla 26: Cronología eventos test <i>counterpart</i> SBO. ....	132
Tabla 27: Resumen de resultados de escalado. CN – etapa I. ....	143
Tabla 28: Resumen de resultados d escalado. CN – etapa II. ....	145
Tabla 29: PIRT de escenario SBO para el análisis de la circulación natural. ....	148
Tabla 30: Comparación de ratios de potencia y tiempo empleando modelos híbridos. ....	150

