

***Métodos avanzados en análisis
termohidráulico y
cálculo de incertidumbres***

**Alberto Escrivá (UPV)
Enrique Vela (CSN)
Rafael Mendizábal (CSN)**

**Jornada de I+D del Consejo de Seguridad Nuclear
Sede del CSN, Madrid, 23 de junio de 2019**

0 | Índice

- **Proyecto I +D CSN / UPV**
- **Actividades / subproyectos**

1 | Proyecto I +D CSN-UPV

- **Métodos avanzados en análisis termohidráulico y cálculo de incertidumbres.**
- Proyecto I+D → Acuerdo específico entre el CSN y la Universitat Politècnica de Valencia, de 4 años de duración (**enero 2014 – diciembre 2017**).
- Trabajo de **colaboración** entre:
 - Área de Ingeniería del Núcleo (**INNU**) del CSN
 - Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (**DION**) + Grupo de Termohidráulica e Ingeniería Nuclear (**TIN**) de la UPV

2 | Proyecto I +D CSN-UPV

- Trabajo enfocado en:
 - Simulación de escenarios de accidente con **códigos termohidráulicos de sistema**.
 - Simulación con códigos de dinámica de fluidos computacional (**CFD**).
 - Métodos de **análisis de incertidumbre**.
 - Metodologías **BEPU** (*Best Estimate Plus Uncertainty*).
 - Métodos de **escalado** (desde instalaciones experimentales a pequeña escala a plantas nucleares reales).

3 | Proyecto I + D CSN-UPV

- **4 actividades o subproyectos:**

- **Compatibilidad del análisis BEPU con Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de plantas. → Presentada por R. Mendizábal (CSN-INNU)**
- **Actividades y desarrollos en Seguridad Nuclear con códigos CFD. → Presentada por E. Vela (CSN-INNU)**
- **Estudio BEPU de un *Station Blackout* extendido para CN Cofrentes. → Presentada por A. Escrivá (UPV-TIN)**
- **Metodología de análisis de escala de experimentos en instalaciones termohidráulicas → Presentada por A. Escrivá (UPV-TIN)**

4

Subproyecto: Compatibilidad BEPU-ETFs

- **Las ETFs de planta están íntimamente relacionadas con los análisis deterministas de seguridad.**
 - Las ETFs definen un rango permitido de variables de operación, que es “seguro” de acuerdo con los análisis de seguridad.
 - Los análisis de seguridad tienen que demostrar que el rango definido por ETFs corresponde a operación segura de las planta.
- Los AS deben demostrar que es segura la **operación de planta permitida por ETFs** (y no sólo la operación real).

5

Subproyecto: Compatibilidad BEPU-ETFs

- Dos tipos de análisis de seguridad:
 - **Conservador**, basado en modelos e hipótesis pesimistas. Basta 1 cálculo (o unos pocos). No necesita análisis de incertidumbre
 - **Realista o BEPU**, basado en modelos e hipótesis realistas y con análisis de incertidumbre, que típicamente se modela vía distribuciones de probabilidad (DO), y se propaga mediante un análisis de Monte Carlo (que requiere, al menos decenas de cálculos)
- Análisis de seguridad **tradicionales (conservadores)**: la compatibilidad con ETFs es sencilla de demostrar. Basta con hacer los análisis fijando los parámetros operacionales en sus límites de ETFs.

6

Subproyecto: Compatibilidad BEPU-ETFs

- ¿Y para **análisis BEPU?**:
 - Admitiendo que un parámetro limitado por ETFs se modele mediante una distribución de probabilidad, **¿cómo debe ser esa DP para que el análisis BEPU sea compatible con las ETFs?**
- (Nadie parece haberse hecho esta pregunta en el ámbito regulador).
- **El área INNU elaboró unos criterios probabilistas** que debería cumplir una DP para comprobar la compatibilidad
 - Trabajo presentado al congreso **ASME 2010** (Montreal, 1-5 de agosto de 2010)

BEPU Methodologies and Plant Technical Specifications

R. Mendizábal and F. Pelayo

[+] Author Affiliations

Paper No. FEDSM-ICNMM2010-31289, pp. 1573-1579; 7 pages

doi:10.1115/FEDSM-ICNMM2010-31289

From: **ASME 2010 3rd Joint US-European Fluids Engineering Summer Meeting collocated with 8th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels**
ASME 2010 3rd Joint US-European Fluids Engineering Summer Meeting: Volume 1, Symposia – Parts A, B, and C
Montreal, Quebec, Canada, August 1–5, 2010
Conference Sponsors: Fluids Engineering Division
ISBN: 978-0-7918-4948-4 | eISBN: 978-0-7918-3880-8
Copyright © 2010 by ASME

ABSTRACT

abstract

The Technical Specifications (TS) of a nuclear power plant define the conditions for a safe normal operation. With such an objective, the TS set limits on operational parameters of the plant and give surveillance requirements for the observation of such bounds. The values of TS limits are obtained from the safety analyses of the plant. In fact, the traditional conservative methodologies of deterministic safety analysis (DSA) have been profusely used in this task. Nevertheless, in recent years realistic (also termed BEPU) methodologies have started to replace the conservative ones. This new methodologies use realistic models and assumptions and implement techniques for performing uncertainty analysis of their results. Many of them are statistical, with a probabilistic representation of uncertainty, and based on the random sampling of uncertain inputs and uncertainty propagation to the outputs. In this paper the relation between BEPU safety analyses and TS is analyzed. The authors have a deep regulatory experience in the evaluation and licensing of DSA methodologies. Safety analyses are aimed at showing that the *real* operation of the plant is safe, but they have a stronger goal: to prove that the *allowed* operation of the plant is safe. BEPU methodologies are not fitted for the estimation of TS bounds. They rather are used to prove the coherence of the safety analysis with the preestablished TS. Procedures for proving such coherence, with different degree of strictness, are discussed in the case of Monte Carlo-based methodologies.

Copyright © 2010 by ASME

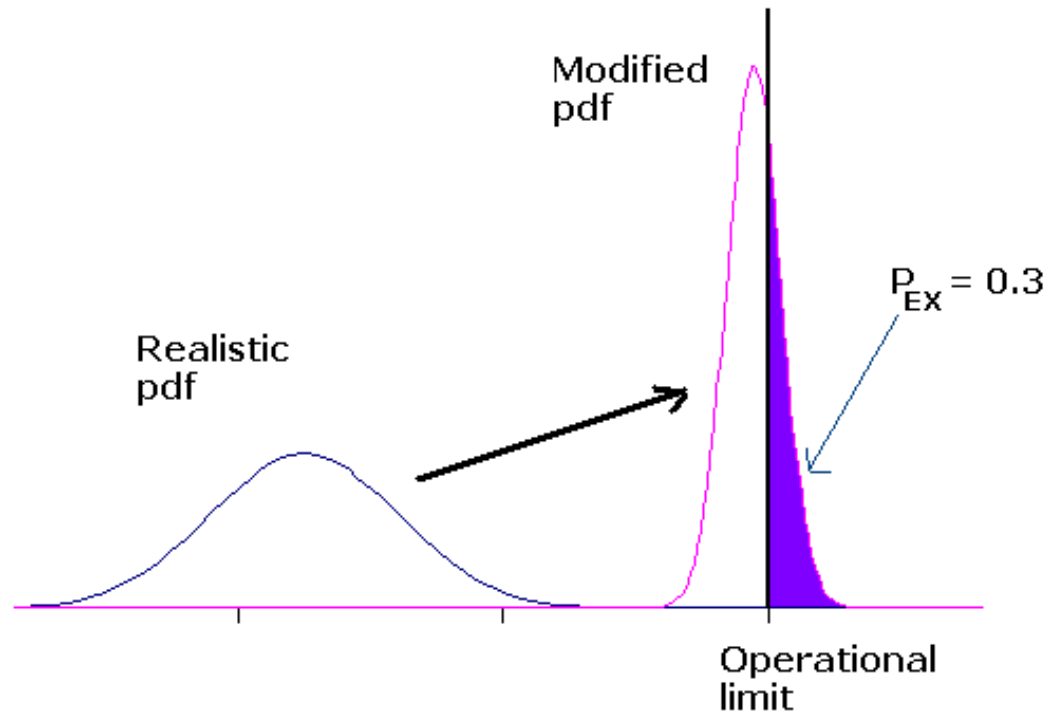
8

Subproyecto: Compatibilidad BEPU-ETFs

- Colaboración CSN-UPV:
 - ¿Cómo construir DP de los parámetros operacionales que implementen los criterios probabilistas que formuló el área INNU? Es decir, DP que exploren adecuadamente los límites de ETFs.
 - ¿Cómo asignar DP que representen a los parámetros operacionales en la operación normal de la planta? Útil para simular con métodos BEPU la operación normal.

9

Subproyecto: Compatibilidad BEPU-ETFs



10

Subproyecto: Compatibilidad BEPU-ETFs

- No siempre la información sobre una variable aleatoria es una muestra aleatoria de valores.
- A veces la información consiste en valores como media, varianza,..., y rango de variación (e.g. límites de ETFs)

Métodos de Máxima Entropía (*MaxEnt*):






- **Principio de Máxima Entropía (MEP)** (E.T. Jaynes, 1957): la DP buscada es la que maximiza la entropía de la información de Shannon y cumple las condiciones sobre media, varianza, rango.
- **Principio de Máxima Entropía relativa (MREP)**, que permite incorporar nueva información a una DP.

12

Subproyecto: Compatibilidad BEPU-ETFs

- **Problemas de maximización con restricciones → cálculo variacional.**
- UPV-TIN ha desarrollado y validado varias **herramientas de software** para llevar a cabo los cálculos.

Use of the Principles of Maximum Entropy and Maximum Relative Entropy for the Determination of Uncertain Parameter Distributions in Engineering Applications

José-Luis Muñoz-Cobo^{1,*} , Rafael Mendizábal² , Arturo Miquel¹ , Cesar Berna¹  and Alberto Escrivá¹ 

¹ Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València, 46022 Valencia, Spain

² Consejo de Seguridad Nuclear, 28040 Madrid, Spain

* Author to whom correspondence should be addressed.

Entropy 2017, 19(9), 486; <https://doi.org/10.3390/e19090486>

Received: 31 July 2017 / Revised: 8 September 2017 / Accepted: 9 September 2017 / Published: 12 September 2017

(This article belongs to the Special Issue [Maximum Entropy and Bayesian Methods](#))

 [Full-Text](#) |  [PDF](#) [8487 KB, uploaded 19 September 2017] |  [Figures](#)

Abstract

The determination of the probability distribution function (PDF) of uncertain input and model parameters in engineering application codes is an issue of importance for uncertainty quantification methods. One of the approaches that can be used for the PDF determination of input and model parameters is the application of methods based on the maximum entropy principle (MEP) and the maximum relative entropy (MREP). These methods determine the PDF that maximizes the information entropy when only partial information about the parameter distribution is known, such as some moments of the distribution and its support. In addition, this paper shows the application of the MREP to update the PDF when the parameter must fulfill some technical specifications (TS) imposed by the regulations. Three computer programs have been developed: GEDIPA, which provides the parameter PDF using empirical distribution function (EDF) methods; UNTHERCO, which performs the Monte Carlo sampling on the parameter distribution; and DCP, which updates the PDF considering the TS and the MREP. Finally, the paper displays several applications and examples for the determination of the PDF applying the MEP and the MREP, and the influence of several factors on the PDF.

[View Full-Text](#)

Keywords: [maximum entropy principle](#); [maximum relative entropy principle](#); [information entropy](#); [updating probability distribution functions](#)

13

Subproyecto: Códigos CFD

Seguimiento de actividades y desarrollos en el uso de códigos CFD. Desarrollo de metodología de evaluación y aplicación de dichos códigos en actividades en Seguridad Nuclear

14

Introducción: Códigos CFD = Computational Fluid Dynamics

- Desde 2008, el CSN sigue las actividades de la NEA con códigos CFD activamente.
- Se ha incluido, a partir de ese momento, una subtarea dedicada al tema en los Acuerdos de colaboración con el Grupo TIN de la UPV.
- Seguimiento actividades NEA-CSNI-WGAMA Grupo de Tarea de CFD.
- Dos frentes abiertos: teórico y experimental:
 - Teórico: produce documentos.
 - Experimental: ejercicios de benchmark ciego sobre experimentos especialmente diseñados
- El grupo se reúne anualmente en la NEA.
- Reuniones bienales internacionales abiertas con presentación de resultados de benchmarks.

15

ACTIVIDADES DEL GRUPO DE TAREA DE CFD: DOCUMENTOS

1. Phase 1 (2003-2005) Phase 2 (2006-2009) & Phase 3 (2010-2012):

Write WG documents on CFD application to NRS:

- *“Best Practice Guidelines for the Use of CFD in Nuclear Reactor Safety Applications”, NEA/CSNI/R(2007)5*
- *“Assessment of CFD for Nuclear Reactor Safety Problems”, NEA/CSNI/R(2007)13*
- *“Extension of CFD Codes to Two-Phase Flow Safety Problems”, NEA/CSNI/R(2010)2*

16

ACTIVIDADES DEL GRUPO DE TAREA DE CFD: DOCUMENTOS

2. CFD-UM short activity (2013-2015)

1. Review of UQ methods
 2. Selection of a benchmark for CFD-UQ
- *“Review of Uncertainty Methods for CFD Applications to Nuclear Reactors TH”, NEA/CSNI/R(2016)4*

17 | **ACTIVIDADES DEL GRUPO DE TAREA DE CFD: DOCUMENTOS**

3. Phase 4: Verification Validation, Uncertainty Quantification and Benchmarking (2015-...)

1. Updating previous CFD TG documents on BPG, Assessment, 2-phase CFD and UQ of CFD
2. Investigation of the database on two-phase flows (bubbly and boiling) with a view to a validation matrix especially one suited to a two-phase flow benchmark
3. develop a two-phase CFD benchmark
4. Produce a new section for the UQM report on calibration of CFD models and methods for determining uncertainty of model parameters in CFD tools
5. Discuss requirements for CFD-grade experiments and produce a reference paper

“Requirements for CFD-Grade Experiments for Nuclear Reactor Thermalhydraulics” DRAFT 5

Resto de actividades en paralelo. Importante: base de datos de experimentos para validación.

18

ACTIVIDADES ACUERDO UPV-CSN 2014-2017

- **Participación en parte teórica:**
 - a) CFD-UM short activity (2013-2015)
 - b) VVUQ&B (2015-...)
- **Participación en los ejercicios de benchmark:**
 - a) PSI PANDA Benchmark (2012-2014)
 - b) PSI GEMIX Benchmark + UQ (2015-2017)
 - c) COLD-LEG MIXING Texas A&M University Facility, TAMU (2017-2019)

19

ACTIVIDADES ACUERDO UPV-CSN 2014-2017

- Participación en parte teórica:

- a) CFD-UM short activity (2013-2015)

- Estudio de métodos existentes para cálculo de incertidumbres con códigos CFD, usando ANSYS-CFX.
 - Desarrollo de programas de cálculo para obtener las incertidumbres, comparando ventajas e inconvenientes de cada método.
 - Selección como mejor alternativa: métodos de **caos polinómico** mediante cuadraturas.
 - UPV: redacción del apartado sobre caos polinómico en *NEA/CSNI/R(2016)4 "Review..."*

20

ACTIVIDADES ACUERDO UPV-CSN 2014-2017

- b) Verification Validation, Uncertainty Quantification and Benchmarking VVUQ&B (2015-...)
- Aportaciones puntuales a *“Requirements for CFD-Grade Experiments for Nuclear Reactor Thermalhydraulics”*.
 - Aportación a la base de datos de instalaciones experimentales con instalaciones y experimentos bifásicos de la UPV.
 - Participación en los Benchmarks con UQ.

21

ACTIVIDADES ACUERDO UPV-CSN 2014-2017

- **Participación en los ejercicios de benchmark:**

- a) **PSI PANDA Benchmark (2012-2014):**

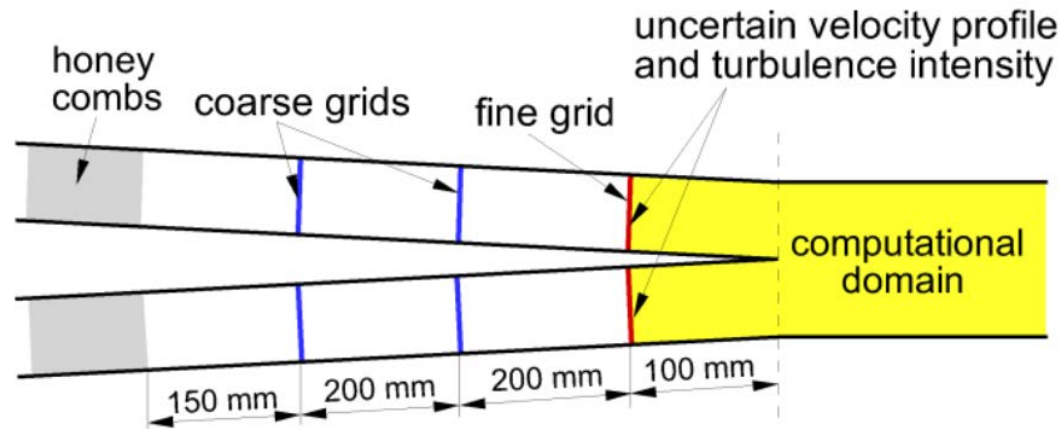
- Ya en marcha al comienzo del Acuerdo 2014-2017.
- Simula la erosión de una capa de hidrógeno estratificada en un volumen que simula la contención.
- Cálculos D. Carlos Peña Monferrer, becario, código ANSYS-CFX.
- Posiciones 10-12 (de 49 participantes) en diversos rankings (variables de mérito).
- *Nuclear Engineering & Design Special Issue Vol.299 1-April-2016*

22

ACTIVIDADES ACUERDO UPV-CSN 2014-2017

b) PSI GEMIX Benchmark + UQ (2015-2017):

- Simula la mezcla de dos fluidos de diferente densidad. Tubería en Y.
- 3 tests abiertos + 1 test ciego.
- Cada participante escoge un método y lo aplica.
- Cálculos D. Arturo Miquel Veyrat, becario, código ANSYS-CFX.
- Posiciones 6 y 8 (de 21 participantes) en las variables de mérito.



23

ACTIVIDADES ACUERDO UPV-CSN 2014-2017

C) CFD Benchmark + UQ: COLD-LEG MIXING Texas A&M University Facility, TAMU (2017-2019)

- Un paso más sobre GEMIX: geometría más compleja y fenómeno transitorio que simula mezcla de fluidos caliente y frío en un downcomer de un PWR.
- Cada participante aplica su método de UQ.
- Cálculos D. Yago Rivera Durán, becario, código ANSYS-CFX.
- Retrasos diversos. Cálculos enviados este mes.
- Resultados no listos para Shanghai 2018. Previsto en verano 2019.

24

INSTALACION TAMO PARA COLD-LEG MIXING BENCHMARK

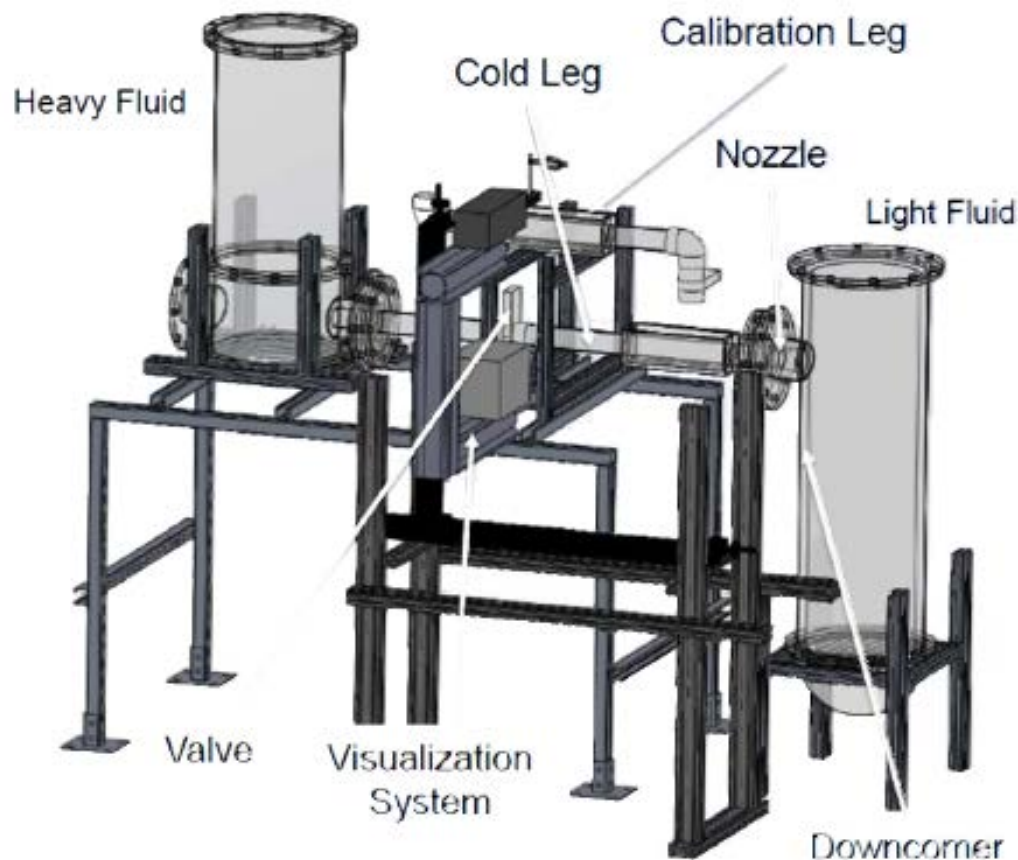


Figura 4. Vista tridimensional de la geometría de la instalación Cold-Leg Mixing.

25

RETORNOS PARA EL CSN

- Retorno básico: conocimientos para evaluar futuras solicitudes.
- Ejemplo de lecciones aprendidas de los benchmarks:

Algunas lecciones aprendidas de GEMIX:

- *The quality of the UQCFD simulations does not depend on the number of required runs. In fact, the top 3 users needed 6, 15 and 836 simulations.*
- *The most important step in the UQCFD analysis is the proper characterization of the input uncertainties. The propagation method and turbulence model appear to have a marginal influence in the present exercise.*
- *A general and robust UQCFD methodology should involve four steps: Uncertainty Identification (characterization of the input uncertainties), Calibration, Extrapolation and Propagation (UNICEP).*
- ...

SUBPROYECTO SBO

Aplicación de la metodología de análisis de incertidumbres desarrollada por el grupo TIN a un transitorio SBO en la C.N. de Cofrentes. Ampliación del escenario de SBO a SBO extendido.

Objetivo Principal:

- **Desarrollo y aplicación de la metodología de análisis BEPU (*"Best Estimate Plus Uncertainties"*) del grupo TIN a transitorios más allá de la base de diseño en CN Cofrentes.**

27

Subproyecto SBO

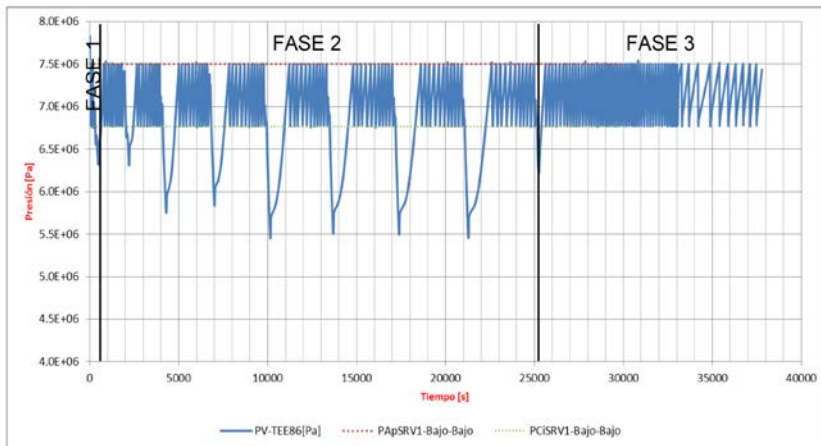
- **Caso:** SBO-Extendido (*Station Black-Out*) → duración más de 4 horas.
- **Escenario** de gran interés tras el accidente de Fukushima.
- Ha permitido poner a **prueba** el modelo y metodología desarrollados.
- De los **resultados** sobre el parámetro crítico de seguridad seleccionado → evaluar las consecuencias del accidente y las posibles opciones que la planta puede adoptar.
- **Modelo** C.N. Cofrentes.
- **Código** TRAC-BF1.

28

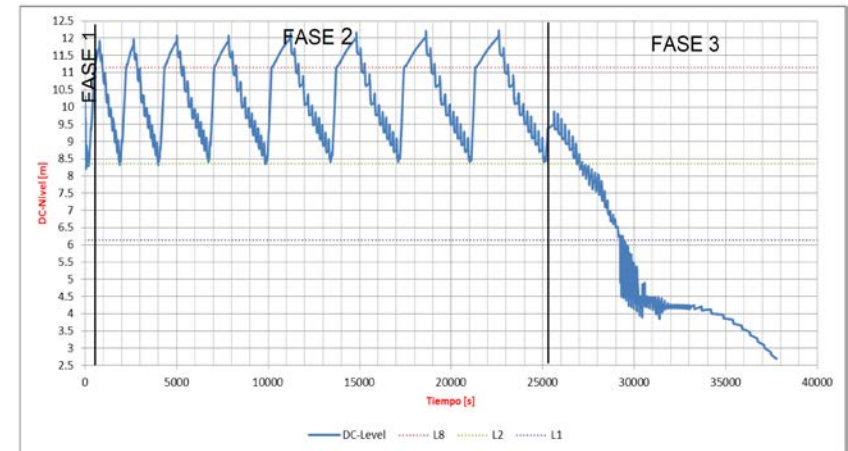
Subproyecto SBO

Principales objetivos alcanzados

- **Obtención de un análisis fenomenológico:** Facilita la valoración de los fenómenos de la tabla PIRT y permite seleccionar los parámetros de seguridad críticos más adecuados (PCT y presión en el pozo húmedo de la contención).



Evolución de la presión en la vasija.

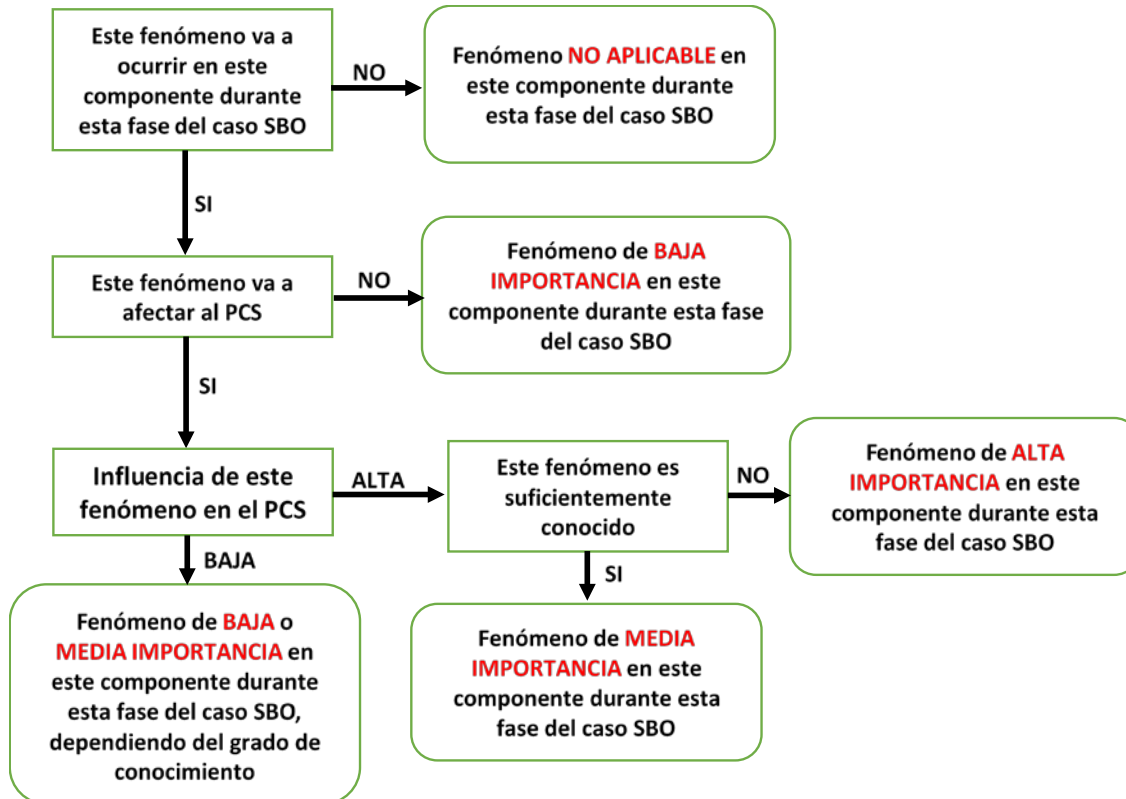


Evolución del nivel en el downcomer.

29 | Subproyecto SBO

Principales objetivos alcanzados

- Desarrollo de una plantilla fenomenológica.



Criterio para cuantificar la importancia de los fenómenos

Principales objetivos alcanzados

- Obtención del **rango de incertidumbre** y el tipo de **distribución de probabilidad** de los modelos y correlaciones.

- Selección de las **variables importantes** (Tabla PIRT) por parte de los expertos del CSN y del GTIN de la UPV.

Nº	Nombre	Parámetro	Distribución	Rango	Observaciones
1	facKy	Coeficiente de transferencia de calor con la pared de Kays	Uniforme (ME)	[0.75, 1.25]	Factor Multiplicador
2	facMc	Coeficiente de transferencia de calor con la pared de McAdams	Uniforme (ME)	[0.85, 1.15]	Factor Multiplicador
3	facDB	Coeficiente de transferencia de calor con la pared de Dittus-Boelter	Uniforme	[0.75, 1.50]	Factor Multiplicador
4	facCh	Coeficiente de transferencia de calor con la pared de Chen	Uniforme (ME)	[0.80, 1.20]	Factor Multiplicador
5	facBr	Coeficiente de transferencia de calor con la pared de Bromley	Uniforme (ME)	[0.75, 1.25]	Factor Multiplicador
6	facLS	Coeficiente de transferencia de calor de Loomis-Shumway	Uniforme (ME)	[0.75, 1.25]	Factor Multiplicador
7	facNu	Coeficiente de transferencia de calor de Nusselt	Uniforme (ME)	[0.75, 1.50]	Factor Multiplicador
8	QPPCHF [facCHF]	Flujo Calorífico Crítico	Uniforme (ME)	[0.60, 1.30]	Factor Multiplicador
9	HLRADI & HVRADI [facCR]	Conducción de calor por radiación	Uniforme (ME)	[0.75, 1.25]	Factor Multiplicador

Principales objetivos alcanzados

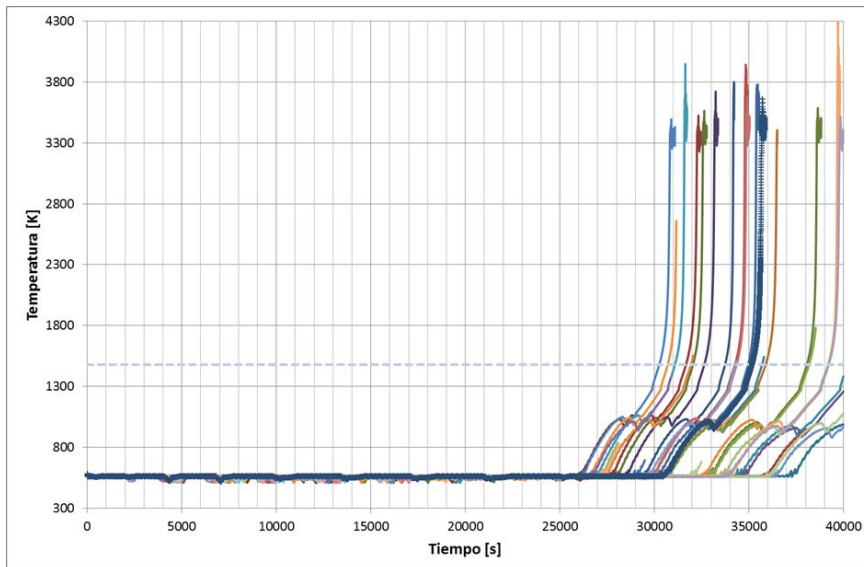
- **Actualizaron y utilizaron programas desarrollados por nosotros (GEDIPA y UNTHERCO), para realizar los análisis de incertidumbres y la obtención de los parámetros de entrada de las variables consideradas (Método de Wilks).**

32

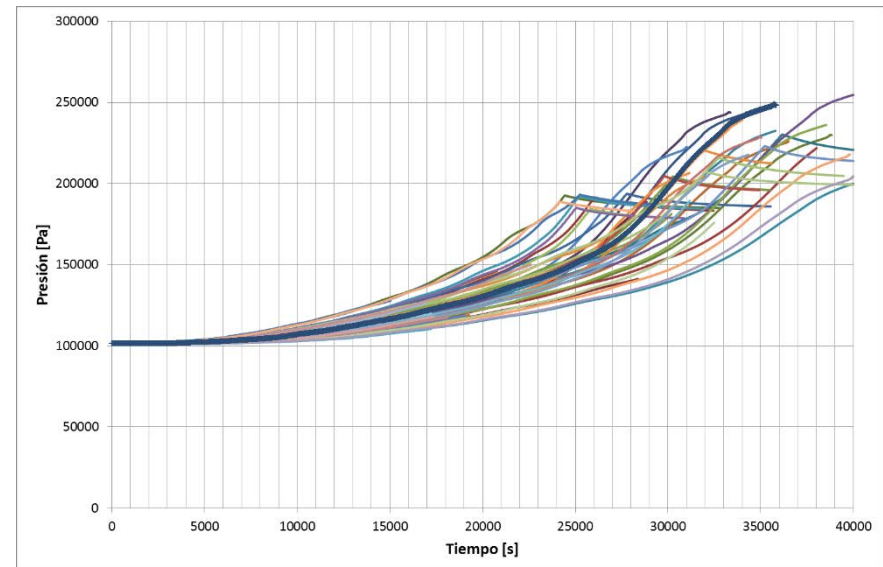
Subproyecto SBO

Principales objetivos alcanzados

- Obtención del **rango de incertidumbre** de los parámetros de seguridad críticos.



Evolución de la temperatura de pico



Evolución de la presión en el pozo húmedo

33

Subproyecto Scaling

SUBPROYECTO SCALING

Desarrollo de una metodología de análisis de escala para experimentos en instalaciones termo-hidráulicas y su aplicación a una planta real.

Objetivo Principal:

- **Desarrollo de una metodología de escalado entre una instalación experimental y una planta comercial.**

34 | Subproyecto Scaling

- **El análisis de escala es un elemento clave en la interpretación de los resultados obtenidos de instalaciones experimentales, y su comparación y extrapolación a plantas comerciales.**
- **Es de gran importancia para establecer el impacto del escalado en la incertidumbre asociada a la capacidad de predecir fenómenos termohidráulicos.**
- **Este análisis permite trasladar la validación realizada en instalaciones experimentales a situaciones reales.**

35 | Subproyecto Scaling

- **Caso:** Rotura de pequeño tamaño (SBLOCA) en la instalación experimental LSTF, experimento ROSA 1.2.
- El mismo transitorio ha sido simulado en la planta de Trillo, ➔ se ha aplicado la metodología de escala a este escenario accidental entre ambas instalaciones.
- **Resultado:** la estimación y las causas de las posibles diferencias entre los resultados obtenidos para cada fase.
- Nos permite determinar las **distorsiones de escala** espacio-temporales entre una instalación experimental y su **impacto** en la simulación en un reactor comercial.

36 | Subproyecto Scaling

- Se ha aplicado la metodología de análisis de escala **H2TS** (*Hierarchical Two Tired approach to Scaling*) entre las instalaciones LSTF y la central nuclear de Trillo.
- Establecimiento de una serie de criterios para relacionar el comportamiento de una instalación a escala con una planta comercial.
- Hay que adimensionalizar las ecuaciones de conservación de masa, momento y energía y, a partir de ellas, obtener los grupos de escala (**monomios pi y grupos de monomios pi**).
- Los dos criterios para estimar la escalabilidad: **cuantificación** de la importancia del fenómeno en cada instalación y la evaluación de la magnitud del cociente de cada término entre ambas instalaciones (**distorsión de escala**).

37 | Subproyecto Scaling

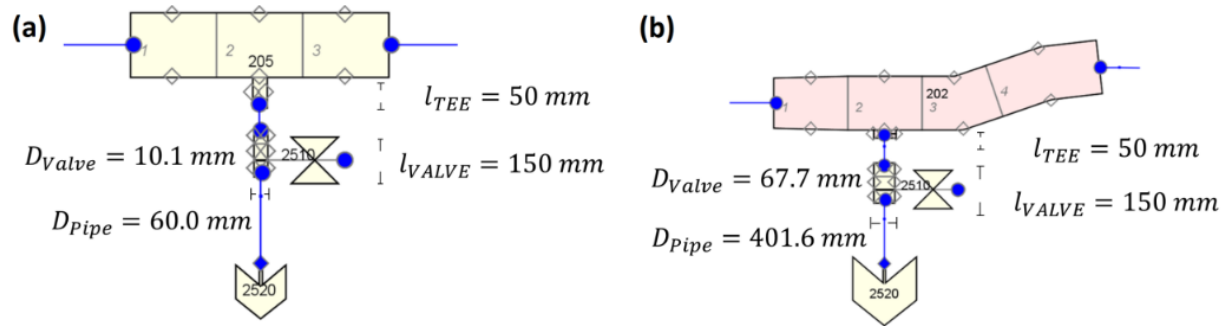
- Caso:** Rotura de pequeño tamaño en la parte inferior de la rama caliente del lazo B de la instalación de pruebas LSTF (rotura 10.1 mm → 1% sección de la rama fría del reactor de referencia, PWR-Westinghouse de 3423 MWt de 4 lazos).

Secuencia de eventos del transitorio

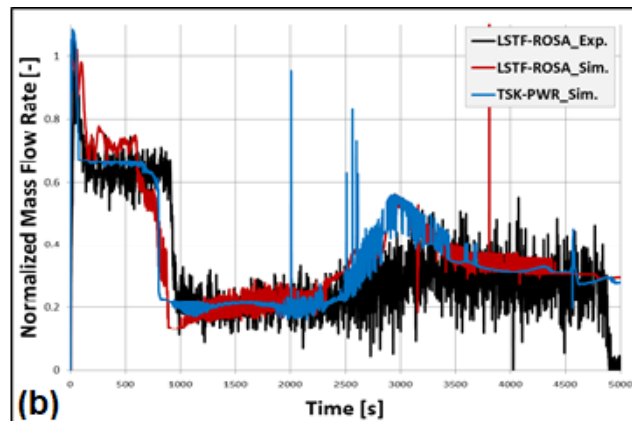
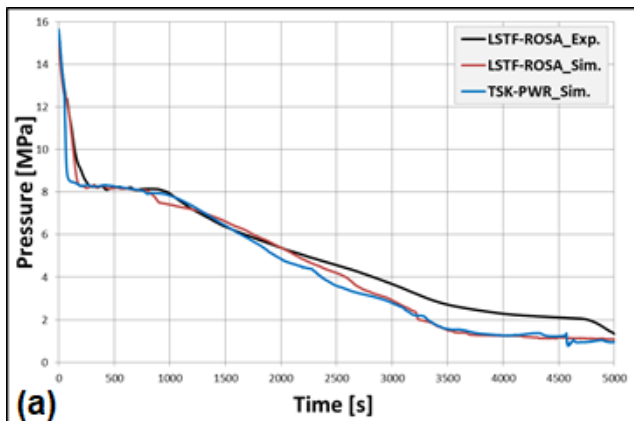
EVENTO	Condición	Tiempo [s]
Rotura Rama Caliente	$D_h = 10.01 \text{ mm. } \approx 1\% \text{ Hot Leg area}$	0
Señal de Scram del Reactor	12.97 MPa	37
Inicio de la curva de decaimiento	Con la señal de scram	37
Inicio de la curva de parada de bombas	Con la señal de scram	37
Finalización de alimentación de agua al secundario	Con la señal de scram	37
Parada de los Calentadores del Presionador	Con la señal de scram	37
Señal de Inyección del Sistema Alta Presión (HPIS)	12.27 MPa	77
Inyección del Sistema Alta Presión (HPIS)	Señal HPIS + 12 s.	89
Inyección de los Acumuladores (AIS)	4.51 MPa	2350
Fin del test	-	5000

38

Subproyecto Scaling



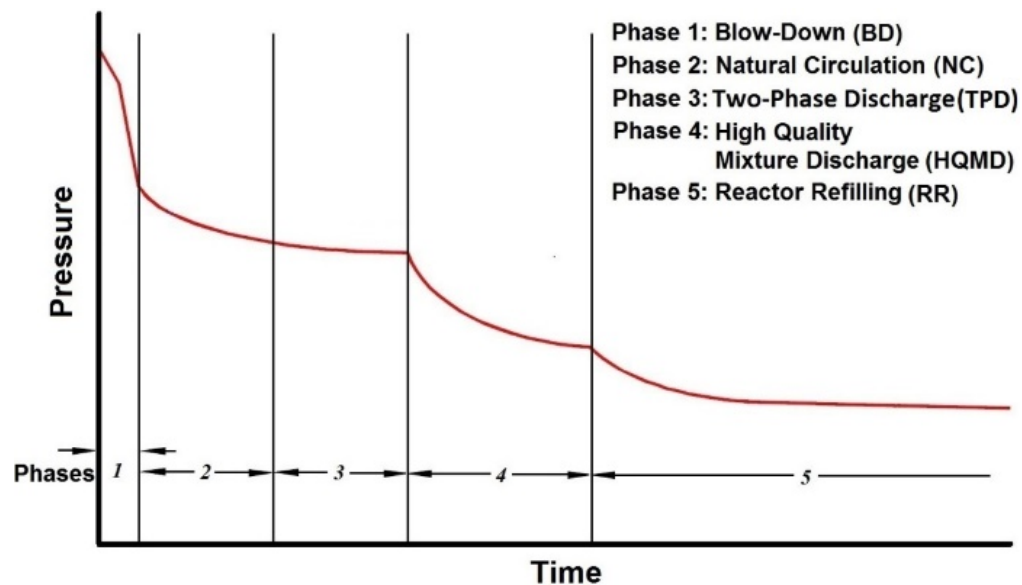
Sección de la rotura en los modelos del código TRACE: (a) LSTF-ROSA; (b) C.N. TRILLO.



Comparación de valores experimentales y simulaciones : (a) Presión en el Circuito Primario; (b) Flujo Másico a través de la Rotura

39 | Subproyecto Scaling

- La primera tarea de cualquier metodología de escalado es dividir el accidente en fases.



Evolución de la presión

40 | Subproyecto Scaling

- Adimensionalización de las ecuaciones de conservación se (frente a un valor de referencia para cada variable en cuestión y en cada fase) y su expresión en términos de los grupos de monomios π → para ser comparados y ordenados por su grado de importancia.
- Cálculo del valor de estos grupos de monomios para ambas instalaciones y su cociente, para obtener la distorsión de escala.
- Los grupos de monomios π en cada ecuación de conservación se normalizan frente al de mayor valor de cada uno de ellos.

41
Subproyecto Scaling
Resumen de los valores de los grupos de monomios π

Fase	Grupos de Monomios π	LSTF-ROSA		TRILLO		$\frac{[\pi]_{x,y,LSTF}}{[\pi]_{x,y,TSK-PV}}$
		$[\pi]_{x,y}$	$\frac{[\pi]_{x,y}}{[\pi]_{x,y,max}}$	$[\pi]_{x,y}$	$\frac{[\pi]_{x,y}}{[\pi]_{x,y,max}}$	
Blow-Down	$[\pi]_{\dot{p},\dot{m}} \Delta h_{out}$	$8.63 \cdot 10^{-2}$	1.0	$7.99 \cdot 10^{-2}$	1.0	1.08
	$[\pi]_{\dot{p},\dot{m}} v$	$8.19 \cdot 10^{-4}$	0.095	$7.71 \cdot 10^{-4}$	$9.70 \cdot 10^{-2}$	1.06
	$[\pi]_{\dot{p},\dot{q}}$	$1.38 \cdot 10^{-2}$	0.160	$2.91 \cdot 10^{-3}$	$3.60 \cdot 10^{-2}$	4.74
	$[\pi]_{L,\dot{m}}$	1.0	0.895	1.0	0.814	1.00
	$[\pi]_{L,\dot{p}}$	1.12	1.0	1.23	1.0	0.91
Circulación Natural	$[\pi]_{\dot{M},\dot{m}}$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.00
	$[\pi]_{\dot{p},\dot{m}} (h_{in} - \mu_m)$	-7.51	0.951	-6.72	0.946	1.12
	$[\pi]_{\dot{p},\dot{m}} (h_{out} - \mu_m)$	7.90	1.0	7.1	1.0	1.11
	$[\pi]_{\dot{p},\dot{q}_{net}}$	-2.58	0.326	-2.20	0.31	1.17
	$[\pi]_{\dot{p},\dot{m}} v_m$	-0.201	$2.54 \cdot 10^{-2}$	-0.194	$2.73 \cdot 10^{-2}$	1.03
	$\Pi_{L/A}$	49.1	$6.75 \cdot 10^{-2}$	50.0	$4.93 \cdot 10^{-2}$	0.98
	Π_{Ri}	727.5	1.0	1014	1.0	0.72
	$\Pi_{F,1\phi}$	12.08	$1.66 \cdot 10^{-3}$	7.83	$7.72 \cdot 10^{-3}$	1.54
$\Pi_{F,2\phi}$	0.52	$7.15 \cdot 10^{-4}$	0.404	$3.98 \cdot 10^{-4}$	1.29	

42

Subproyecto Scaling

Principales objetivos alcanzados

- Después de la aplicación de la fase top-down de la metodología H2TS no se detectaron **distorsiones de escala** en las principales variables que podrían conducir a diferencias significativas en los resultados obtenidos por ambas instalaciones.
- Se ha probado la **escalabilidad** entre estos dos sistemas para el transitorio en estudio: se tiene un comportamiento similar para la planta comercial de TRILLO (reactor de tipo Siemens KWU de tres lazos) y la instalación experimental LSTF (cuyo reactor de referencia es un Westinghouse de cuatro lazos) bajo un escenario SBLOCA (test ROSA 1.2).

43 | **Conclusiones**

SUBPROYECTO ETFs

- **Se ha desarrollado una metodología para asignar distribuciones de probabilidad a parámetros operacionales limitados por ETFs, en dos modalidades**
 - **Representativas de operación normal**
 - **Que exploran límites de ETFs (i.e. adecuadas para análisis BEPU de seguridad)**
- **Basada en principios de Máxima Entropía y Máxima Entropía Relativa.**
- **Se han desarrollado y validado herramientas de software para hacer los cálculos.**

43

Conclusiones

SUBPROYECTO CFDs

- Se han estudiado a fondo los métodos de tratamiento de incertidumbres disponibles para CFDs eligiendo uno en el compromiso entre buenos resultados y tiempo de cálculo.
- Se ha participado en 3 ejercicios de benchmark de la NEA sobre experimentos con fenomenología interesante para SN con buenos resultados.
- Se ha avanzado en el conocimiento de las mejores opciones de modelación para según qué transitorios.

44

Conclusiones

SUBPROYECTO SBO

- Se ha aplicado la metodología de análisis de incertidumbres desarrollada por el grupo TIN a un transitorio SBO Extendido.
- Se ha desarrollado una plantilla fenomenológica y visto el criterio para cuantificar los fenómenos.
- Se ha obtenido la incertidumbre de los parámetros.

SUBPROYECTO SCALING

- Se ha desarrollado de una metodología de escalado entre una instalación experimental y una planta comercial.
- Se ha probado la escalabilidad entre estos dos sistemas para el transitorio en estudio, cuantificando los fenómenos y las distorsiones de escala.

Gracias por su atención !!

aescriva@iqn.upv.es

evb@csn.es

rmsanz@csn.es