

Desde el proyecto de diseño hasta la planta comercial, mediante la construcción del prototipo: la experiencia alemana con el THTR-300

M. Esch y J. Schöning

El 16 de noviembre de 1985, la planta prototipo de 300 MW eléctricos THTR (Thorium High Temperature Reactor) fue acoplada a la red por primera vez. Su exitoso diseño, construcción y licenciamiento representa un hito en el desarrollo de reactores de alta temperatura. Este artículo describe el camino desde el diseño hasta la construcción.

On November 16, 1985 the 300 MW THTR prototype plant (Thorium High Temperature Reactor) fed power into the electricity grid for the first time. The successful design, construction and commissioning represents a milestone in the development of high temperature reactors. This article describes the way from design to construction.



MARKUS ESCH

es estudiante de doctorado en la Universidad de Tecnología de Dresden, en cooperación con Westinghouse Electric Company GMBH. Estudió Ingeniería Nuclear en la Universidad RWTH Aachen, con especialización en reactores de alta temperatura. En el marco de su tesis doctoral, lleva a cabo análisis térmicos-hidráulicos y mecánicos de los generadores de vapor de bobina helicoidal para los HTR.

En general, el concepto alemán de HTR¹ puede dividirse en tres pasos:

1. Se construyó el reactor de pruebas AVR para probar la viabilidad del principio físico y las prestaciones de seguridad inherentes.
2. Se llevó a cabo el desarrollo, diseño, licenciamiento y explotación de la planta prototipo THTR-300 para demostrar la operación segura y fiable de la planta y para confirmar la economía de su operación a potencia, así como su control.
3. Se diseñó el reactor HTR-500 hasta la etapa de fabricación. Es un diseño mejorado del THTR-300.

Para el desarrollo de una línea de reactores, es necesaria una amplia estrategia lógica en la que se tienen en cuenta los aspectos de comercialización y la necesidad de que la planta en serie sea competitiva con las plantas ya existentes.

En el diseño básico de la planta prototipo, se debe tener en cuenta la organización del proyecto (mano de obra, estructura de desglose de trabajos, procedimientos p.ej. para modificaciones, etc.), el conocimiento y las necesidades del mercado, las exigencias reales de los clientes, los conocimientos del estado de la técnica (materiales calificados, códigos verificados, etc.), así como una financiación garantizada. Con estos datos, se puede diseñar un concepto factible en base a la experiencia del reactor de pruebas. El siguiente paso consiste en desarrollar

un programa de I+D cuyo resultado es un concepto prototipo (proyecto de ingeniería, calendario de plazos, estimación de costes, contactos con los proveedores, etc.) con un diseño detallado, incluyendo fabricación y construcción.

LA PLANTA PROTOTIPO THTR-300

La planta prototipo THTR-300 se definió como un diseño básico que abarcara las plantas futuras para todo el rango de potencia y todas las aplicaciones, lo que requirió un concepto de diseño común para los componentes y estructuras del primario, así como una estandarización de componentes, elementos y materiales calificados. Para un diseño así, es necesario un planteamiento analítico y sistemático exhaustivo con un gran esfuerzo de ingeniería y un programa global de I+D. Por último, la planta muestra que la tecnología del HTR está probada. Para las futuras plantas, se deben eliminar todos los riesgos técnicos y comerciales. Una planta prototipo tiene como objetivo proporcionar pruebas de una nueva tecnología al cliente.

Debido a las experiencias acumuladas durante la planificación, montaje y puesta en servicio de la planta prototipo, son necesarias unas modificaciones menores para la fabricación en serie. De esta forma, sólo es necesario realizar el trabajo de ingeniería y licenciamiento una sola vez. Sin embargo, se debe realizar la gestión del proyecto y de las obras de construcción de forma independiente para cada planta comercial.

Además del trabajo de ingeniería, es necesario un amplio programa de I+D, que se debe realizar con anterioridad o en paralelo con el diseño. La investiga-



JOSEF SCHÖNING

es consultor senior de Westinghouse Electric Germany GMBH para los proyectos relacionados con el HTR. Durante su vida profesional, ha sido director de ingeniería de HRB. En este puesto, ha sido el responsable del desarrollo, construcción y puesta en servicio del Reactor de Torio de Alta Temperatura (THTR) alemán.

¹ Concepto HTR de la compañía alemana Hochtemperatur Reaktorbau Gesellschaft mbH (HRB), cuyo nombre actual es Westinghouse Electric Germany GmbH.

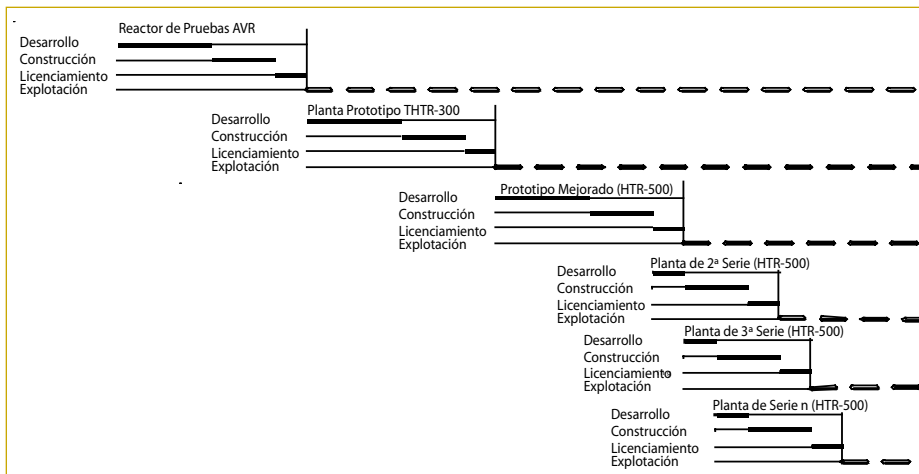


Figura 1. Concepto alemán del HTR de HRB: desde el reactor de pruebas hasta la planta comercial.

ción comienza con los materiales y acaba con las pruebas del prototipo en todas las condiciones de operación y accidente. Para el THTR-300, se ha desarrollado un programa de I+D básico que abarca las siguientes áreas de investigación.

I+D – programa básico

- **Materiales:**
 - Acero para altas temperaturas
 - Materiales cerámicos
 - Hormigón pretensado
 - Aislamiento
- **Propiedades:**
 - Propiedades físicas y químicas
 - Mecánica de la fractura
 - Comportamiento frente a la irradiación
 - Corrosión
 - Permeación de tritio
- **Aspectos de la tecnología de helio:**
 - Fricción

- Resistencia
- Soporte
- Soldadura
- Revestimiento
- Sellado
- **Mecánica del lecho de bolas.**
- **Comportamiento sísmico.**
- **Métodos de fabricación y construcción.**

Una planta prototipo implica un diseño detallado que tiene en cuenta la fabricación y construcción. Tiene que tener una estrategia lógica y una estrate-

gia de marketing. Es imprescindible el conocimiento de todas las necesidades reales del cliente. A continuación se indican otras necesidades:

- Financiación garantizada (I+D – autoridades públicas, planta – autoridades públicas y cliente).
- Es necesario realizar el Programa de I+D antes de la planificación detallada.
- Definición del alcance de responsabilidad del fabricante y del proveedor.

El objetivo consiste en reducir el riesgo técnico y financiero, ya que el riesgo técnico a menudo va acompañado del riesgo financiero. La planta prototipo da prueba de las economías de escala, disponibilidad y control.

EL RIESGO DE UNA PLANTA PROTOTIPO

Normalmente un cliente industrial no querrá invertir en un gran proyecto nuclear, a menos que se minimicen los riesgos tecnológicos y económicos. La experiencia con la planta prototipo THTR-300 ha demostrado que la mayoría de los problemas se han producido debido a datos erróneos en las hojas de especificaciones o a una mala interpretación de dichas especificaciones. Por lo tanto, una condición previa que resulta imprescindible para un diseño exitoso es la definición de especificaciones exactas y completas.

Durante la fase de construcción, fabricación, montaje y puesta en servicio

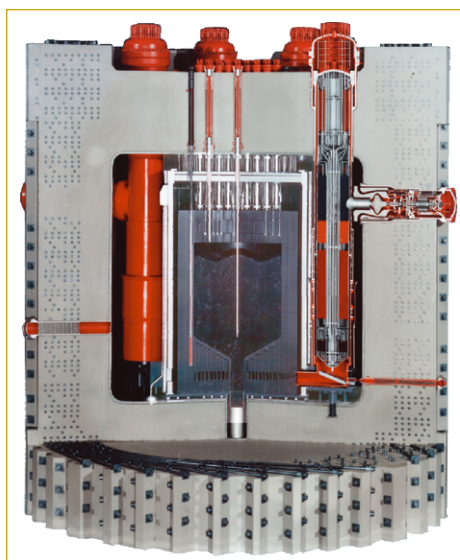


Figura 2. Planta prototipo THTR-300: Reactor de Lecho de Bolas en Vasija de Reactor de Hormigón Pretensado.

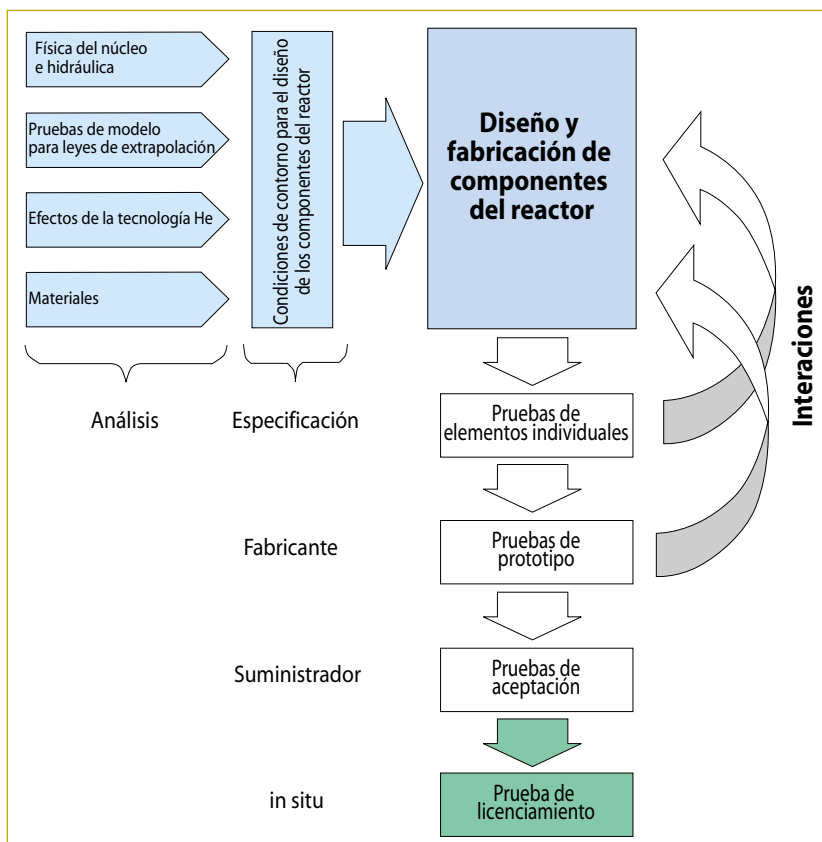


Figura 3. Procedimiento sistemático para el diseño, fabricación y pruebas de los componentes del primario.

	(NSSS) Sistema de Suministro de Vapor Nuclear		(BOP) Balance of Plant
	Componentes Primario	Sistemas Auxiliares y Secundarios	
Especificaciones	Fabricante	Fabricante	Fabricante
Diseño Básico	Fabricante	Fabricante	Fabricante
Diseño Detallado	Fabricante	Proveedor	Proveedor
Fabricación	Proveedor	Proveedor	Proveedor
Montaje	Fabricante/ Proveedor	Fabricante/ Proveedor	Fabricante/ Proveedor
Licenciamiento	Fabricante	Fabricante	Fabricante

Tabla 1. Responsabilidades del fabricante y del proveedor.

de un reactor prototipo, se hacen necesarias unas modificaciones. Éstas constituyen un proceso de iteración pero también suponen una prolongación de plazo, lo que aumenta los costes.

Los proveedores también corren un riesgo, ya que las dificultades de suministro también provocarán una prolongación de la fase de montaje. ¿Qué proveedor debe ser considerado para materiales o componentes concretos? ¿Qué experiencia tiene? ¿Y su disponibilidad? También es importante pensar en la limitación del suministro. Normalmente es mejor elegir los proveedores nacionales si es posible, ya que las leyes internacionales pueden causar problemas en caso de conflictos contractuales.

MEDICIÓN DE RESULTADOS

El desarrollo de la planta prototipo THTR-300 –el diseño, fabricación y construcción con su gran programa integral de pre-funcionamiento e I+D y el largo proceso de licenciamiento y operación a potencia– ha sido un éxito.

Ha sido posible confirmar los datos de diseño de la planta prototipo THTR con los resultados de las pruebas. Se ha alcanzado la producción energética neta garantizada de forma precisa, y el consumo térmico del sistema secundario ha sido mejor que lo garantizado, por lo tanto la eficiencia de la planta ha sido ligeramente superior (40%). Se ha podido demostrar el comportamiento de seguridad inherente de la planta, así

	Unidad	Datos de operación	
		Calculados	Medidos
Potencia térmica del núcleo e internos	MW	761.65	763.5
Velocidad del compresor	r.p.m.	5369	5361
Caudal medio de Helio	kg/s	297	293.9
Caudal medio de agua de alimentación	t/h	914.4	914.1
Caudal medio de recalentamiento	t/h	890.4	856.3
Temperatura de gas caliente (ENTRADA GV)	°C	750	750.5
Temperatura de gas frío (SALIDA GV)	°C	247	245.9
Temperatura del vapor principal	°C	546	544.3
Presión del vapor principal	bar	186	184.9
Temperatura del vapor recalentado	°C	535	532.3
Presión del vapor recalentado	bar	46.3	47.5
Potencia activa de generador	MW	305.9	306

Tabla 2. Comparación de datos de operación calculados y medidos a 100% de potencia.

	Valor contratado	Valor medido
Potencia neta de la planta	295.5 MW	295.6MW
Consumo térmico de la planta secundaria	2145 kcal/kWh	2134 kcal/kWh

Tabla 3. Comparación de datos de operación garantizados y medidos para la potencia neta y el consumo térmico de la planta.

como el nivel muy bajo de exposición a la radiación del personal.

Se han indicado las posibilidades de mejora y de simplificaciones de la planta comercial. Por supuesto, y como es habitual con un prototipo, el THTR ha tenido unos problemas iniciales, que se han resuelto de forma satisfactoria y que se pueden evitar en las futuras plantas.

CONCLUSIONES

La planta prototipo nunca será exactamente igual que la planta comercial. Se permiten modificaciones menores. Es imprescindible facilitar la coordinación entre el cliente y el fabricante, así como incluir los datos de los proveedores para el diseño en la primera etapa de desarrollo. El fabricante de la planta es responsable del diseño del NSSS y de todos los componentes del primario. El esfuerzo principal debe estar centrado en los requisitos indicados a continuación:

Requisitos mayores:

- Estrategia lógica
 - Definición de la planta.
 - Definición de la responsabilidad entre proveedor y fabricante.
 - Obligaciones a largo plazo con el proveedor.
- Cliente existente
- Requisitos reales y concretos
- Concepto factible basado en:
 - Tecnología probada.
 - Componentes estándares.
 - Códigos informáticos validados.
 - Materiales calificados.
 - Normas adecuadas de HTR.
- Financiación garantizada.
- Calendario de plazos realista, incluyendo licenciamiento.
- Plan de costes.
- Organización disciplinada.
- Estimación realista de mano de obra.
- Determinación de la proporción de contenido local.

Requisitos técnicos, organizativos y administrativos:

- Diseño estándar del reactor para todas las aplicaciones.
- Diseño sencillo, seguro y fiable.
- Plan de ingeniería.
- Evaluación crítica de la I+D necesaria.
- Evaluación de riesgos.
- Planificación presupuestaria para el personal.
- Responsabilidades definitivas del calendario de plazos y de costes.
- Disponibilidad y operatividad de la planta al corto plazo.
- Competitividad de la planta en cuanto a los costes de inversión y producción.
- Documentación normalizada.
- Calendario a largo plazo, al menos para la planta posterior.
- Actividades de desarrollo en el futuro independientes del proyecto actual. ■