

La energía nuclear en China: pasado, presente y futuro (2ª parte)

Nuclear energy in China: past, present and future (2nd part)

Gonzalo Jiménez¹ y César Queral²

¹ UPM. ETSI Industriales (España)

² UPM. ETSI Minas y Energía (España)

5. REACTORES MODULARES Y DE GENERACIÓN IV

China ha sido uno de los países que más fuerte ha apostado por los diseños de Generación IV. El primer modelo que puso en marcha fue el reactor rápido experimental refrigerado por sodio de 20 MWe, *China Experimental Fast Reactor* (CEFR), de la tecnología rusa BN-20, construido por OKBM Afrinkantov junto con Hidro-press (Rusia).

Está operado por el *China Institute of Atomic Energy* (CIAE) que lo hizo en 2011. Además de la construcción del reactor, China ha desarrollado la capacidad de fabricar los elementos combustibles para reactores rápidos, bastante diferentes a los de reactores convencionales.

Los elementos combustibles de los reactores rápidos refrigerados por sodio, como el CEFR, son hexagonales, similares geoméricamente a los elementos de los reactores PWR rusos denominados VVER. Estos elementos tienen una camisa individual que los independiza hidráulicamen-

te, de forma similar a la existente en los reactores BWR y algunos PWR de diseño ruso VVER-440. En la parte inferior y superior de dichos elementos combustibles hay regiones donde no se incluye combustible nuclear, y que sirven como blindaje neutrónico (parte superior) y como distribuidor del flujo hidráulico (parte inferior).

El combustible de este reactor en la primera carga fue de óxido de uranio enriquecido al 64% y para posteriores recargas de óxidos mixtos de uranio y plutonio (MOX) con un enriquecimiento cercano al 20%, muy superior en ambos casos al enriquecimiento máximo del 5% de los combustibles PWR/BWR. En general, dentro de los núcleos de reactores rápidos es posible colocar elementos combustibles que tengan como misión primordial producir Pu-239 a partir del U-238, consiguiendo que el ciclo total de operación se pueda llegar a producir más Pu-239 del que se consume. Debido a esa característica, a los reactores rápidos también se les llama reproductores.

Dada la experiencia satisfactoria en la construcción y operación de este reactor experimental, China quiere construir un reactor rápido chino de 600 MWe (CFR600) a partir de 2017, que estuviese en operación en 2023 [21]. En una segunda fase, se construiría un reactor de

1000 MWe, operativo en 2030. También se consideró la posibilidad de construir un reactor BN800 ruso, pero finalmente el proyecto no prosperó.

En el terreno de los reactores modulares de alta temperatura, China ha tomado la delantera a nivel internacional al tener en construcción un reactor demostrador de la tecnología de 200 MWe, el *High-Temperature Gas-Cooled Reactor Pebble-Bed Module* (HTR-PM) [22] (Fig. 1).

El reactor HTR-PM es de lecho de bolas, tecnología desarrollada en Alemania en los '80, reflatada por Suráfrica en los 2000 y abandonada posteriormente hasta que China ha tomado el relevo. En este tipo de reactores, el combustible nuclear consiste en micro-esferas de 0.5-0.7 mm de diámetro, en las que el uranio enriquecido está cubierto por una matriz de grafito. Las micro-esferas se agrupan en esferas con un diámetro de 6 cm que circulan a lo largo de la vasija durante la operación del reactor. Una característica importante de estos reactores es su incapacidad de sufrir un accidente severo por diseño, ya que la disposición de las esferas es suficiente para que el combustible se refrigere por radiación y convección natural en caso de accidente. Esta prevista la posibilidad de construir hasta un total de 18 unidades más en el mismo emplazamiento

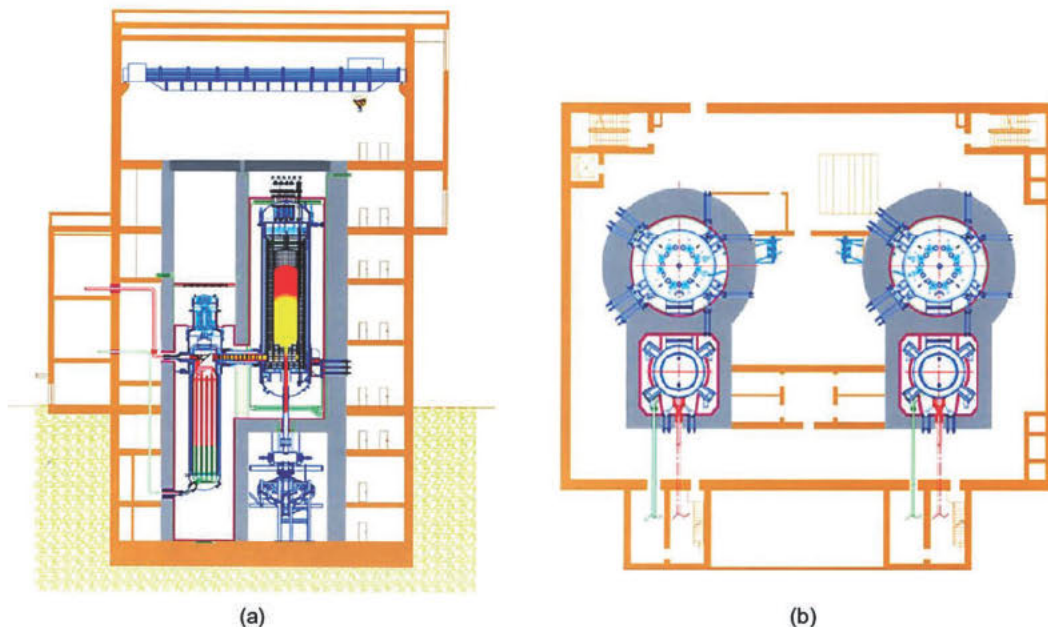


Fig. 1: Reactor demostrador de Generación IV HTR-PM. (a) Vista frontal (b) Vista superior. Fuente [22]

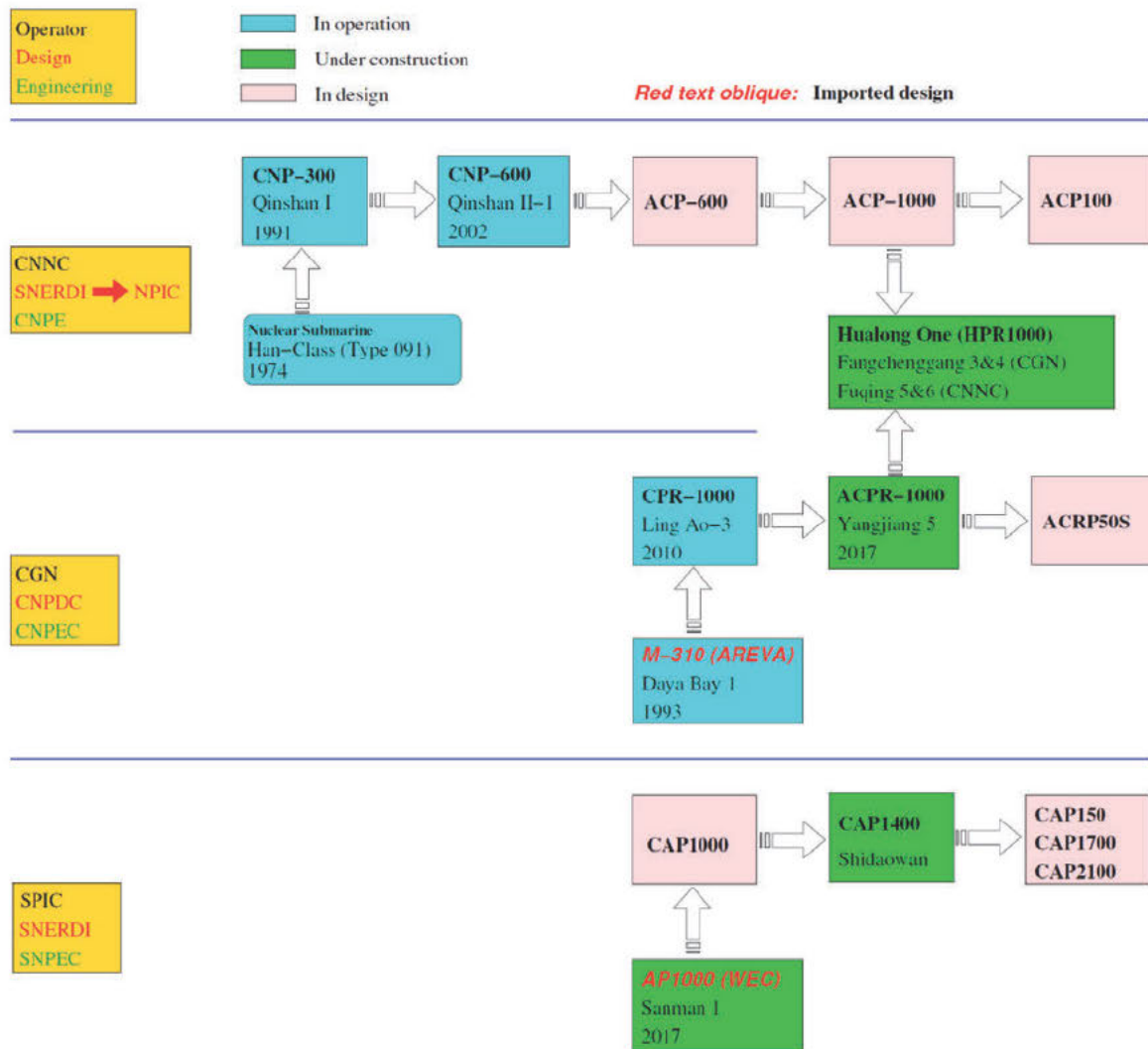


Fig. 2: Evolución de los principales diseños de agua ligera de reactores chinos. Fuente: Elaboración propia

para posteriormente construirlo en otros emplazamientos y venderlo a otros países.

Por otra parte hay tres desarrollos de reactor modular de agua ligera en marcha (Fig. 2).

- CNNC ha desarrollado un reactor modular basado en el diseño ACP600, el diseño ACP100 para su uso para desalinización de agua, cuyo primer proyecto se espera realizar en Putian. Este diseño ya ha pasado la revisión de seguridad de la Agencia Internacional de la Energía Atómica.
- CGN está desarrollando el diseño ACRP50S que corresponde a un pequeño reactor nuclear flotante para su uso en lugares apartados y emplazamientos en el mar, como el caso de las plataformas petrolíferas. Este proyecto ya ha sido aprobado y se espera que su construcción comience en 2017 y que este operativo en 2020.
- SPIC está desarrollando su propio diseño modular, el CAP150, pero

todavía está en una fase inicial de diseño.

Finalmente, con respecto a los modelos de reactor subcrítico guiados por acelerador (ADS), China se ha lanzado al desarrollo de un modelo experimental propio de 10 MWth llamado CLEAR-I (Fig. 3). Siguiendo una estrategia pareja a los reactores de sodio, su plan es construir primero el reactor experimental, luego un demostrador de 100 MWth y finalmente un reactor de escala comercial de 1000 MWth [23].

6. PARTICIPACIÓN DE LA INDUSTRIA NUCLEAR ESPAÑOLA EN LOS PROYECTOS CHINOS

La industria nuclear española muestra un gran interés por su participación en los proyectos chinos, creando en el año 2006 una alianza empresarial para el desarrollo comercial de la industria en China, llamado SNGC (*Spanish Nuclear Group for Cooperation*), al cual pertenecen Tecnatom, Enusa Industrias Avanzadas, Ringo Válvulas y ENSA [24].

La empresa española Tecnatom se ha volcado en la participación en los nuevos reactores de China, estableciendo una filial en China (Tecnatom China) y creando una *joint venture* con CGN, llamada CITEC. Además, en los últimos años Tecnatom ha formado junto con WEC a los operadores de AP1000 chinos y ha participado activamente en los diseños de las salas de control de diversas centrales CPR1000 (Fuqing 1-4, Fangjiashan 1-2), CNP600 (Changjiang 1-2) y ACPR1000 (Yangjiang 5-6), donde las principales tareas realizadas han sido [25]:

- Análisis de la Ingeniería de Factores Humanos de las salas de control (principal, panel de parada remota y auxiliar).
- Especificación y análisis de la interfaz hombre-máquina en lo relacionado con la operación de las centrales.
- Realización de las pantallas de operación que cubren: operación normal y de fallos; operación en emergencias, pantallas de alto nivel

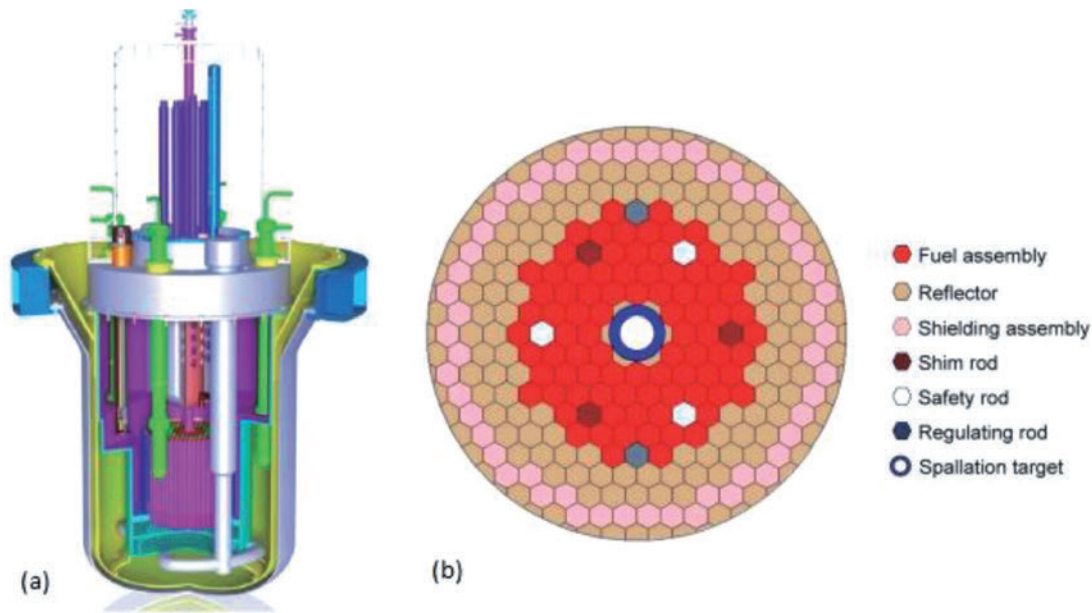


Fig. 3. Reactor de Generación IV CLEAR-I. (a) Vista 3D del reactor (b) Configuración del núcleo en modo crítico. Fuente: [23]

para apoyo a los procedimientos de operación y mantenimiento; pantallas de alto nivel y gran tamaño para el conocimiento del estado de la planta.

- Implementación de las pantallas de operación en el sistema de control distribuido.
- Ingeniería de alarmas (filtrado y computarización).
- Computarización de los procedimientos de operación.
- Diseño de la sala de control.
- Dedicación y cualificación de los instrumentos comprados como clase comercial.
- Cualificación de los paneles de la sala de control y sala de emergencia.
- Fabricación, ensamblaje, pruebas e instalación en el emplazamiento definitivo.

Junto con Enusa, Tecnomat también ha suministrado equipos de inspección de soldaduras para combustible nuevo para la fábrica china de Yibin, en Sichuan, filial de CNNC [26].

Recientemente, en marzo de 2016, Enusa y Tecnomat han firmado un acuerdo con el Suzhou Nuclear Power Research Institute (SNPI), perteneciente a CGN. Bajo este acuerdo, las tres empresas se comprometen a colaborar en el ámbito de los equipos de inspección de combustible [27].

En el caso de Westinghouse Electric Spain, la empresa se ha involucrado muy activamente en los proyectos de construcción de los AP1000 chinos. Concretamente, han participado en la construcción del

edificio de contención y del edificio auxiliar del Sanmen, con casi 100 ingenieros trabajando en sus oficinas de Madrid para el proyecto [28].

Con respecto a ENSA, la empresa española lleva presente en China desde 1995, habiendo suministrado su primer equipo en 1999. Desde entonces ha suministrado siete generadores de vapor para las centrales nucleares de Qinshan, Changjiang y Sanmen II, contenedores y bastidores para almacenamiento de elementos combustibles en las centrales nucleares de Daya Bay y Ling Ao e intercambiadores de calor y tanques de ácido bórico para Taishan [29]. ENSA ha desarrollado durante los últimos años el contenedor ENUN 24P, tras un acuerdo en 2014 con CGNPC Uranium Resources [30].

Finalmente, también cabe destacar que el organismo regulador español (Consejo de Seguridad Nuclear - CSN) ha participado junto con Tecnomat en un proyecto de colaboración con el organismo regulador chino, National Nuclear Safety Administration (NNSA), para la formación de personal de NNSA. Este proyecto tendrá continuidad en una segunda fase, que acaba de ser adjudicada al consorcio internacional en el que participan Tecnomat y el CSN.

PARA SABER MÁS

- GONZALEZ-JIMENEZ, Antonio. NUCLEAR POWER PLANTS: A HISTORICAL VISION - 1ST PART. DYNA, Marzo 2014, vol. 89, no. 2, p.138-143. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5757>
- GONZALEZ-JIMENEZ, Antonio. NUCLEAR POWER PLANTS: A HISTORICAL VISION - 2ND PART. DYNA, Mayo 2014, vol. 89, no. 3, p.267-

271. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5759>

- Zhou Ping. "Nuclear power development in China" IAEA Bulletin, 2/1987.
- Xu Yi-chong et al. "Nuclear Energy Development in Asia. Problems and Prospects" Editorial Palgrave McMillan, 2011.
- World Nuclear Association. "France Nuclear Power" 10/11/2016
- Carmelo Palacios. "The Spanish Nuclear Group for Cooperation: A Story of Success". Nuclear España, septiembre de 2013, pg 21-25.
- Luis Rejas y Víctor Martínez. "Diseño y suministro de salas de control para el programa nuclear de China" Nuclear España, Febrero 2016, pg. 40-45.
- Teresa Alejos. "ENSA y ENUSA logran nuevos acuerdos comerciales en China" Revista SEPI, 27/10/2014, pg. 28-30.

AGRADECIMIENTOS

El grupo investigador de Ciencia y Tecnología de Sistemas Avanzados de Fisión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) desea agradecer el apoyo para el proyecto Prevención y gestión de secuencias de Accidente severo en reactores avanzados y convencionales (PYGAS): ENE2015-67638-R (MINECO/FEDER).

MATERIAL SUPLEMENTARIO

Las referencias completas y tablas 1, 2 y 3 se pueden descargar en: http://www.revistadyna.com/documentos/pdfs/_adic/8247-1.pdf