

PROYECTO S.I.R. REACTOR INTEGRAL SEGURO

A. CRUICKSHANK

Animadas sobre todo por el conocimiento de que el Departamento de Energía de los Estados Unidos (USDOE) iba a hacer una petición de propuestas, cuatro empresas firmaron en enero del pasado año, en Londres, un memorándum de entendimiento, con el objeto de procurarse financiación para la proyección, el desarrollo y la concesión de licencias de un concepto avanzado de reactor de agua a presión (PWR) conocido como el "reactor integral seguro" (SIR, Safe Integral Reactor).

Las cuatro entidades asociadas en el proyecto SIR son la United Kingdom Atomic Energy Authority (UKAEA) (1), la empresa constructora de reactores PWR para submarinos Rolls-Royce and Associates (2), la compañía de ingeniería Stone & Webster (3) y la casa proveedora de sistemas de generación de vapor para centrales nucleares Combustion Engineering, de Windsor, Connecticut.

La solicitud de propuestas del USDOE fue hecha pública el 1 de febrero. Se pedían ideas de empresas proveedoras con el fin de desarrollar uno o más diseños para la realización de "centrales de 600 MWe basadas en reactores de agua ligera pasivos y simplificados de concepto avanzado" y se exigía de las empresas contratistas que compartiesen la financiación del trabajo con el USDOE que limitaba su participación al menor valor de los siguientes, cuya obligación estará limitada a US\$50 millones o al 50 % del coste.

Se espera que el programa tarde seis años en llevarse a cabo, empezando en 1990, e incluirá el diseño detallado hasta llegar a la fase de aprobación final y certificación por la NRC (Comisión Reguladora para la Energía Nuclear de los Estados Unidos) para mediados de 1995.

UTILIZACION MAS FACIL

El SIR, que es un PWR integral de construcción modular, de 300 MWe, ha estado en plan de desarrollo desde mediados de 1988. Se ofrecerá una versión de dos reactores para satisfacer el requisito del USDOE de centrales de 600 MWe. Un aspecto interesante es que se construiría una primera unidad en terrenos ya existentes de la UKAEA, en Winfrith, en el sur de Inglaterra. El poder ofrecer un sitio donde empezar, aun siendo en Gran Bretaña, podría aumentar el atractivo del concepto SIR para el USDOE.

Combustion Engineering, Rolls-Royce and Associates y la UKAEA se reunieron en 1988 para comparar ideas sobre la forma en que convenía abordar la energía nuclear en el futuro. Todas ellas convinieron en que había llegado el momento de examinar más a fondo el concepto de plantas más pequeñas para ver si se podía conseguir que superaran la falta de economía de escala.

Con centrales más pequeñas se podrían satisfacer rápidamente las tendencias de crecimiento del consumo y se reduciría al mínimo el riesgo de las inversiones, además de ser menos propensas a retardos en la construcción, puesto que muchas de sus partes podrían entregarse prefabricadas a la obra.

La solución convenida por las tres entidades fue la de un reactor integral de agua ligera (LWR) de 300 MWe. También se mostraron en favor de los generadores de vapor de paso único en lugar de los de recirculación, más corrientes, que a veces tienen problemas de fiabilidad.

Asimismo, se pronunciaron en favor de núcleos de baja densidad de potencia sin uso de venenos solubles, para hacer el reactor más fácil de utilizar y controlar

Andrew CRUICKSHANK se graduó en Química e Historia de la Ciencia en la Universidad de Oxford, realizando posteriormente un doctorado en Política Energética en la Universidad de Sussex. Después de un corto período en la investigación, pasó a trabajar en la revista "Nuclear Engineering International", donde es en la actualidad Director y redactor de publicaciones especiales.

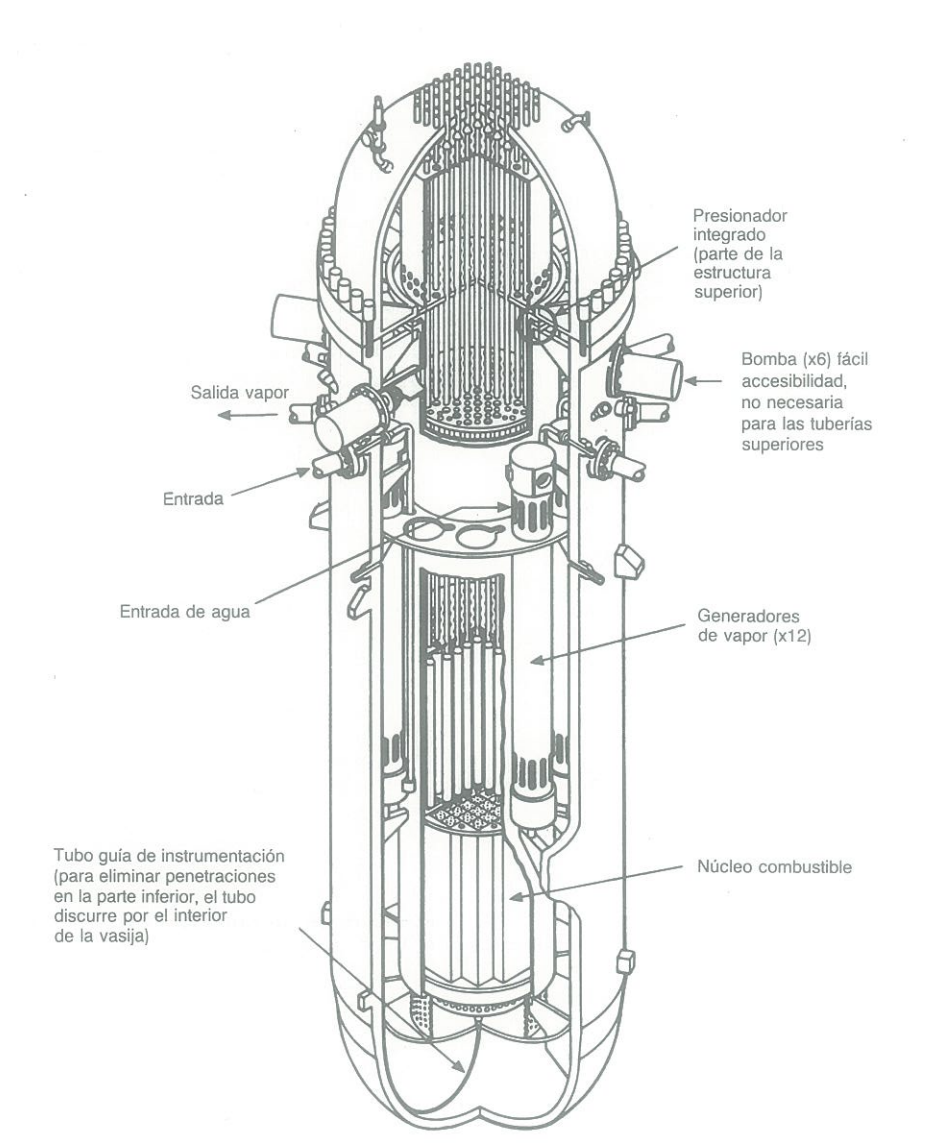
y para reducir los problemas de la química del agua de refrigeración que la adición de ácido bórico (para controlar la reacción en cadena) tiende a introducir. Finalmente, se decidió formar un grupo de estudio junto con Stone & Webster para investigar las posibilidades de las bases de diseño predefinidas. Sus rasgos destacados fueron el diseño integral, los generadores de vapor de paso único y el núcleo de baja densidad de potencia.

EL REACTOR INTEGRAL

En el reactor integral, los componentes principales del circuito primario, los generadores de vapor y las bombas del refrigerante del reactor se sitúan en el interior de una vasija de tamaño adecuado. Aunque esto exige una vasija mucho más grande que la normal (la del SIR 300 MWe es del mismo diámetro que la de un PWR de 1.200 MWe, cuya altura —23 m.— es casi el doble de la convencional —12 m.—), ofrece muchas ventajas sobre la planta con instalaciones dispersas o bucles externos, más corriente.

Entre las ventajas cabe citar que:

- Por no existir tuberías de diámetro grande susceptibles de romperse, no pueden ocurrir accidentes que ocasionen grandes pérdidas de refrigerante por roturas (LOCA) y no hay que prever, en consecuencia, los problemas derivados de una pérdida rápida y masiva de refrigerante.
- Se dispone de un volumen elevado de refrigerante primario, y la planta está diseñada de modo que todas las penetraciones en la vasija del reactor están a una altura considerable por encima del núcleo. Esto da al sistema un largo tiempo de gracia en el caso de uno de los pequeños LOCA, que aun así podrían ocurrir si se rompiera un tubo de pequeño diámetro.
- El calor residual de extinción puede extraerse del núcleo a través de los generadores de vapor por convección natural. Así pues, si se detiene la reacción en cadena en el núcleo, el calor que queda puede extraerse de manera segura mediante procesos pasivos naturales, aun sin ninguna circulación de refrigerante primario.
- Con esta forma de diseño se evitan soldaduras de envergadura en la obra, lo cual reporta ventajas en la mejora de la calidad, el tiempo de construcción y el coste.
- Se ahorran costes por haber menos recipientes grandes, aunque esto se anula en cierto grado por las grandes dimensiones de la vasija del reactor y el mayor número de soldaduras de tubos y calderines de los generadores de vapor.
- Se necesita menos blindaje debido a



F I A diferencia de los reactores de agua ligera normales, todos los componentes del circuito primario del reactor integral seguro (SIR) están ubicados en una sola vasija de presión. El SIR cuenta con un presurizador integral en lo alto del reactor y no tiene tuberías del circuito primario. Las bombas con rotores envainados del circuito primario no tienen prensaestopos en los ejes y los trabajos de mantenimiento o reparación pueden llevarse a cabo desde fuera de la vasija sin tener que quitar el combustible.

la eliminación de fuentes de radiación gamma dentro de las tuberías primarias.

- La vasija del reactor tiene un diámetro grande para poder contener los generadores de vapor. Esto tiene la consecuencia natural de reducir la dosis de neutrones rápidos en el muro del reactor hasta un nivel tan bajo que puede despreciarse el efecto de fragilización.

MENOS RIESGO DE AGRIETAMIENTO

Para poder alcanzar la superficie requerida para intercambio de calor en un volumen tan pequeño, el SIR tiene no menos de 12 generadores de vapor

situados en la región anular entre la estructura de soporte del núcleo y el muro de la vasija del reactor, a una cota por encima del núcleo. Los tubos de los generadores de vapor son rectos, con calderines de tubos achatados y chapa. El agua entra por debajo del generador de vapor y sale vapor por arriba. El agua secundaria circula por los tubos y el agua del circuito primario pasa por encima de ellos dentro del cuerpo del generador de vapor.

Las penetraciones de las tuberías de vapor en la vasija del reactor están situadas en la cota de los calderines. Las toberas de alimentación están algo más bajas, y hay un tubo de alimentación interno que baja hasta los colectores de alimentación.

Los beneficios de esta forma de construcción son, entre otros, los siguientes:

- En el caso de producirse una avería pueden aislarse fácilmente los distintos módulos de los generadores de vapor y la planta puede continuar funcionando a potencia (no necesariamente al 100 %) hasta la llegada del próximo período de mantenimiento previsto.
- Los generadores de paso único producen vapor recalentado, de forma que no se precisan secadores de vapor. Hay también una mejora marginal del rendimiento termodinámico.
- La rotura de una tubería de vapor no constituye un accidente grave con estos generadores de vapor, pues la pequeña cantidad de agua secundaria se evapora rápidamente. En combinación con la gran cantidad de agua primaria, esto significa que la reactividad resultante de carácter transitorio es menor.
- Por diferentes razones, estos generadores de vapor no adolecen de los problemas de fiabilidad vinculados a los generadores tradicionales. Se produce ebullición dentro de los tubos, lo cual necesita un control cuidadoso de la química del agua secundario, pero esto se contrarresta con el hecho de que no hay posibilidad de presencia de acumulaciones químicas de calderas en las placas de tubos, no hay fisuras expuestas a sustancias químicas secundarias que desemboquen en efectos de concentración y los tubos se hallan bajo cargas de compresión, por lo que es improbable que cualesquiera de los defectos eventuales que surgiesen se propagasen en forma de grietas.

NUCLEO DE BAJA DENSIDAD DE POTENCIA

El núcleo de baja densidad de potencia se basa en la tecnología normal de los combustibles y su principal innovación es la eliminación del veneno soluble que se emplea para limitar la reactividad. Las ventajas son:

- La baja densidad de potencia permite al reactor funcionar muy dentro de los límites térmicos.
- La ausencia de veneno soluble aporta varios beneficios, entre otros, un coeficiente de temperatura de reactividad marcadamente negativo en todas las condiciones, reducción de la corrosión tanto dentro del circuito primario como en otras partes cuando se producen pequeñas fugas en el circuito primario, y una química y un sistema de control del volumen enormemente simplificados. Un inconveniente es la necesidad de incorporar elementos de control en más elementos combustibles, pero las empresas participantes han optado, efectivamente, por elementos de control en

todos los elementos combustibles para eliminar el uso de veneno soluble durante el reaprovisionamiento del reactor.

- La baja densidad de potencia conduce, naturalmente, a un ciclo de reaprovisionamiento de 24 meses. En el combustible nuevo se incorporan venenos quemables y se añaden varillas adicionales de veneno en los haces al final del primer ciclo.

Otras características importantes del diseño son:

- Seis bombas de refrigerante del reactor, sin prensaestopas, montadas horizontalmente por encima de los calderines de los generadores de vapor y refrigerante a la temperatura de salida del reactor.
- Un presurizador integral en la cabeza de la vasija, separado del refrigerante primario en circulación por una membrana. El presurizador tiene calefactores eléctricos y produce una suficiente sobrepresión para eliminar la ebullición en el núcleo cuando está en funcionamiento estable y para proteger contra la cavitación de las bombas del refrigerante del reactor.
- El reactor se halla en una cavidad por debajo de la cota del suelo, lo que brinda cierto grado de protección contra peligros de origen externo, tal como caídas de aviones. Permite reducir la exigencia de diseño del perfil del edificio —que es una consideración importante en algunos emplazamientos.
- Los medios de contención consisten en un sistema de subpresión de la presión. En el caso de producirse un LOCA, el refrigerante liberado se enfría rápidamente en agua contenida en un grupo de tanques. Estos se enfrían por circulación natural del aire ambiente. La contención se compone, pues, de la cavidad del reactor, una pequeña estructura en forma de cúpula por encima y los tanques de supresión de la presión y el colector de conexión.
- La extracción del calor residual se logra mediante varios sistemas independientes.

EXTRACCION INDEFINIDA DEL CALOR

El sistema normal que se emplea cuando hay que enfriar la instalación para fines de mantenimiento consiste en que los generadores de vapor, mediante bypass de la turbina, dispersen el calor a través de los condensadores. Puede lograrse esto con convección natural en el lado primario, pero se necesitan bombas de alimentación y otra maquinaria secundaria. Cuando la temperatura y la presión del vapor son demasiado bajas para que este método sea eficaz, se extrae el calor de los generadores de

vapor empleando agua que se hace circular y es enfriada por el sistema del agua de refrigeración de los componentes.

En el caso de funcionamiento en "isla" de la central y de que no haya una alimentación de energía para el funcionamiento de estos sistemas, se extrae el calor residual por medio de una instalación de ebullición y condensación que funciona por convección natural en ciclo cerrado. Esta instalación utiliza corriente continua generada en los acumuladores para accionar las válvulas de iniciación. Los medios de disipación de calor están proyectados para cubrir 72 horas de extracción de calor por evaporación. Como esta piscina está fuera del área de contención, puede llenarse de nuevo para tener un período indefinido de extracción de calor.

Como ya se ha mencionado antes, con este concepto pueden descartarse los LOCA con grandes roturas. Se cuenta con protección inicial contra pequeños LOCA, debido a la gran cantidad de refrigerante primario, la ausencia de tuberías primarias de gran diámetro (no hay ninguna de más de 70 mm.) y al hecho de que la penetración más baja que hay en la vasija del reactor está a 8 m. por encima del núcleo.

Hay un sistema de despresurización de seguridad para limitar los caudales de fuga si el enfriamiento no proporciona la despresurización requerida. Se logra la inyección de emergencia mediante inyectoros que utilizan vapor procedente del presurizador para inyectar agua en el circuito primario desde los tanques de supresión. El enfriamiento del núcleo está garantizado durante, por los menos, 72 horas sin necesidad de ninguna intervención por parte del personal.

MAS FACIL ACEPTACION

Las características inherentes del SIR harán que tenga, sin duda, una aceptación más fácil tanto por parte de las direcciones a cargo de la adjudicación de licencias como del público. Demandarán tiempos de construcción más cortos (30 meses desde verse el primero hormigón hasta la generación de plena potencia), lo que, junto con la apreciable simplificación y el montaje en fábrica de todo el sistema de generación de vapor, contrarresta la ley de la economía de escala, que se opone, generalmente, al reactor pequeño. Además, sus dimensiones pequeñas reducen la cantidad de capital que hay que invertir y lo hacen más aceptable para las pequeñas compañías abastecedoras de electricidad, que no tienen necesidad de aumentar su capacidad de producción en términos del orden de gigavatios.