



José COBIAN es Ingeniero Industrial, Master of Science and Doctor of Philosophy en Ingeniería Nuclear (Northwestern University, USA). Actualmente ocupa el puesto de Jefe de la Sección de Seguridad Nuclear de Westinghouse Sistemas Energéticos España.



Antonio ALDEANUEVA es Licenciado en Ciencias Físicas, Diplomado en Ingeniería Nuclear (JEN), y MBA (E. O. I.). Actualmente ocupa el puesto de Director Comercial de Westinghouse Sistemas Energéticos España.

Ernst H. WEISS es Mechanical Engineering Master of Science. Actualmente ocupa el puesto de Manager, Nuclear Plant Applications and Programs, Nuclear and Advanced Technology Division, Pittsburgh.

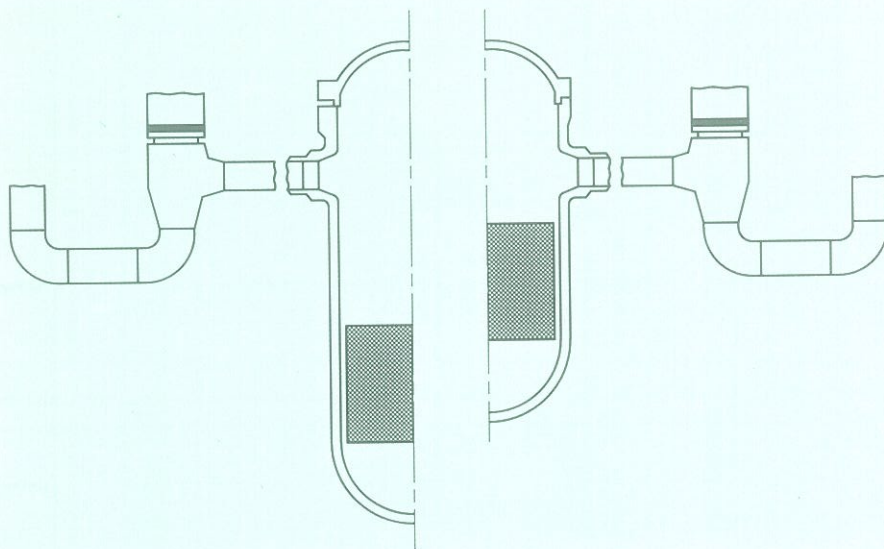
# DISEÑOS AVANZADOS DE CENTRALES NUCLEARES

J. COBIAN - A. ALDEANUEVA - E. H. WEISS

## INTRODUCCION

En la década de los setenta, se pensaba que el siguiente paso en la explotación comercial de la energía nuclear sería la implantación de las centrales de reactores rápidos, entre las cuales parecía tener preponderancia el tipo refrigerado por sodio. Los sucesos de Three Mile Island primero, y Chernobyl después, infligieron un duro correctivo al nivel de aceptación de la energía nuclear en los diferentes países, ralentizando los programas de los reactores rápidos. Esto ha ocasionado que en la mayor parte de los países líderes en esta tecnología, después del suceso de Three Mile Island, hayan vuelto su mirada a los reactores térmicos, ya probados, como base por vía de evolución para el desarrollo de las próximas generaciones de centrales nucleares. Dentro de esta tendencia, Westinghouse emprendió a principios de la década actual, una revisión sistemática de los últimos diseños PWR realizados, conducente a la identificación de las líneas generales que deberían seguirse y de las áreas específicas en las que había que profundizar para racionalizar, simplificar y mejorar el diseño. Debe tenerse en cuenta que los últimos diseños PWR habían sido desarrolla-

dos en un clima regulador en el que seguían apareciendo normas y criterios de licenciamiento después de haberse congelado el diseño básico. Al no poderse modificar el diseño para cumplir con los nuevos requisitos, se requería acudir a la incorporación de sistemas nuevos. Por ello, una reevaluación global a posteriori de estos diseños debería redundar en una racionalización y simplificación. Esta revisión sistemática se ha beneficiado de la enorme experiencia adquirida en el diseño y operación de las numerosas centrales de tecnología Westinghouse existentes en el mundo, experiencia adquirida en multiplicidad de circunstancias, y para multiplicidad de condiciones. Existe experiencia de funcionamiento en emplazamientos de agua dulce y salada, en áreas de gran sismicidad, en lugares de condiciones atmosféricas extremas, en lugares con conexiones a redes de transporte eléctrico complejas sujetas a cambios bruscos de carga, frecuencia y voltaje, en países y con compañías eléctricas de muy distintos niveles tecnológicos, etc. En la reevaluación se ha tenido en cuenta el estado de desarrollo de las tecnologías subsidiarias. Los sistemas digitales de control pueden reemplazar con ventaja a los analógicos, la fibra



Sección de la vasija del APWR

óptica a los cables, y el Inconel 690 ofrece propiedades excelentes como material para los tubos del generador de vapor.

El resultado de esta revisión sistemática ha sido la identificación de un gran número de cambios potenciales, los cuales han sido analizados y jerarquizados de acuerdo al grado de mejora que pueden introducir en el diseño. La consideración de estas mejoras en el desarrollo de un nuevo modelo de central, utilizando como base los diseños actuales, es la filosofía de desarrollo de la primera generación de diseños de Reactores Avanzados (APWR). Una segunda generación de Reactores Avanzados, los Reactores Pasivos (AP), todavía en fase conceptual, contempla además la utilización de principios fundamentales de seguridad pasiva.

## EL APWR

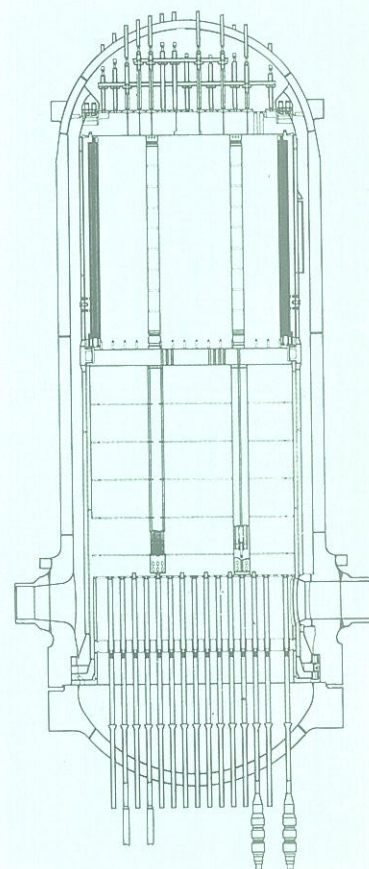
El APWR 1300, modelo de central avanzada de reactor de agua a presión de 1.300 megawatts eléctricos nominales,

ha sido desarrollada por Westinghouse y Mitsubishi bajo el patrocinio de un grupo de compañías eléctricas japonesas para satisfacer las necesidades de energía eléctrica del mercado japonés. El diseño preliminar, con modificaciones menores, está siendo licenciado en los Estados Unidos, bajo el nombre de SP 90. El proceso de licenciamiento está prácticamente acabado, y se espera una aprobación preliminar de diseño (PDA) de la NRC dentro del primer trimestre de 1989. El APWR 1300, actualmente a nivel de diseño preliminar, y el APWR 1000, actualmente a nivel de diseño conceptual, están pensados para satisfacer diferentes escalas de mercado en la década de los noventa y años posteriores. En la tabla I se recogen los principales parámetros del APWR 1300. Tomando como punto de partida la reevaluación de diseño mencionada y el banco de mejoras potenciales identificado, los reactores avanzados persiguen unos ambiciosos objetivos de diseño, entre los que se encuentran por un lado los económicos, como son la mejora de la disponibilidad de la cen-

tral, reducción de la inversión y reducción del costo del ciclo de combustible, y por otro los de seguridad, como son la reducción del riesgo de operación de la central, y la reducción de la dosis ocupacional. También se persiguen en el desarrollo de los diseños APWR objetivos de flexibilidad operacional, tales como la posibilidad de un fácil seguimiento de carga y el aumento de la automatización. Las evaluaciones realizadas en el diseño preliminar del APWR 1300, permiten constatar la consecución de los valores cuantitativos establecidos para los objetivos de diseño descritos. Aunque todavía no se han establecido explícitamente unos objetivos cuantitativos para el APWR 1000, existe una base suficiente para anticipar que estarán en línea con los del APWR 1300.

La disminución del nivel de riesgo del APWR, se ha conseguido mediante la utilización de técnicas de evaluación probabilística de riesgos que han permitido identificar en una etapa temprana del proceso, cuál es la contribución de cada equipo y sistema al nivel de riesgo de la central. De esta forma se han podido tomar a tiempo en el diseño, decisiones encaminadas a la reducción de los riesgos más importantes, y

Sección del reactor del APWR



TI

### Parámetros del APWR-1300

|                                            |         |
|--------------------------------------------|---------|
| Potencia Eléctrica (MWe)                   | 1.350   |
| Potencia Térmica (MWt)                     | 3.823   |
| Conjunto Combustible                       | 19 x 19 |
| Diámetro Interior vasija (m)               | 5       |
| Altura Total vasija (m)                    | 16      |
| Número de lazos                            | 4       |
| Presión de Operación (kg/cm <sup>2</sup> ) | 157     |
| Caudal de refrigerante (m <sup>3</sup> /h) | 88.000  |
| Presión de vapor (ata)                     | 70      |

la eliminación de equipos y sistemas que contribuyen sólo marginalmente a la seguridad. Los niveles de riesgo probados mediante análisis en el APWR 1300, y estimados para el APWR 1000, sitúan a las frecuencias de fusión del núcleo y de emisión severa en los valores aproximativos de 3E(-6) y 3(-7) para sucesos internos, y de 1E(-5) y 1E(-6), para todo tipo de sucesos, respectivamente.

En el APWR se ha considerado solamente la utilización de equipos y componentes ampliamente probados, cuyas únicas modificaciones han sido el aumento de medidas críticas de los componentes principales al objeto de conseguir mayores márgenes de seguridad, y una flexibilidad operativa mayor. Se ha ampliado de tamaño el núcleo y la vasija del reactor para permitir la operación a densidades de potencia más bajas, aumentándose así los márgenes de seguridad y operación, y mejorando la flexibilidad de la gestión de la presión del combustible. Un mayor presionador proporciona un mayor margen de la presión del primario frente a transitorios de pérdida del sumidero de calor. Se ha aumentado la superficie de transferencia de calor de los generadores de vapor con respecto a la de los diseños actuales mejorando no solamente los márgenes de seguridad, sino aumentando su operatividad. Se ha mejorado el diseño y materiales de estos equipos en la medida que el estado de la tecnología y la experiencia lo han permitido al objeto de facilitar la operación y el mantenimiento.

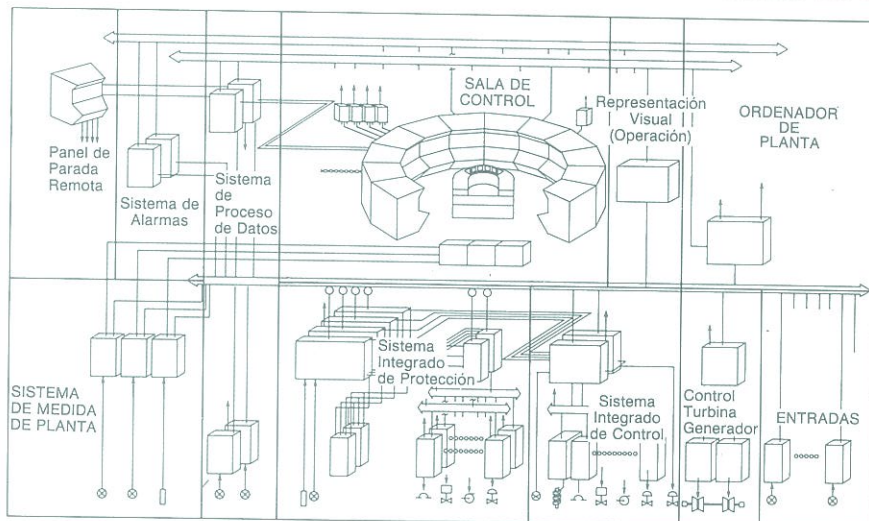
La aplicación del concepto de "separación" ha conducido a una mejora del nivel de seguridad y a la vez a una simplificación del diseño. Se ha llevado a cabo la separación física entre trenes de seguridad redundantes, así como entre equipos y sistemas de seguridad de los que no lo son, eliminándose de esta forma las numerosas interacciones potenciales de los diseños actuales. Los sistemas de seguridad cumplen exclusivamente funciones de seguridad permaneciendo inactivos en operación normal. Existen dos conjuntos de sistemas de seguridad para proporcionar agua de alimentación de emergencia, los cuales son completamente independientes. Se han reducido considerablemente las interconexiones entre sistemas de seguridad.

Se han simplificado los sistemas de ventilación. Existen unidades de ventilación dedicadas, en los espacios donde se encuentran los sistemas de seguridad. El equipo de ventilación dedicado a la operación normal no realiza funciones de seguridad.

La incorporación de sistemas de control digitales avanzados ha redundado en una reducción importante del riesgo de funcionamiento incorrecto, al permi-

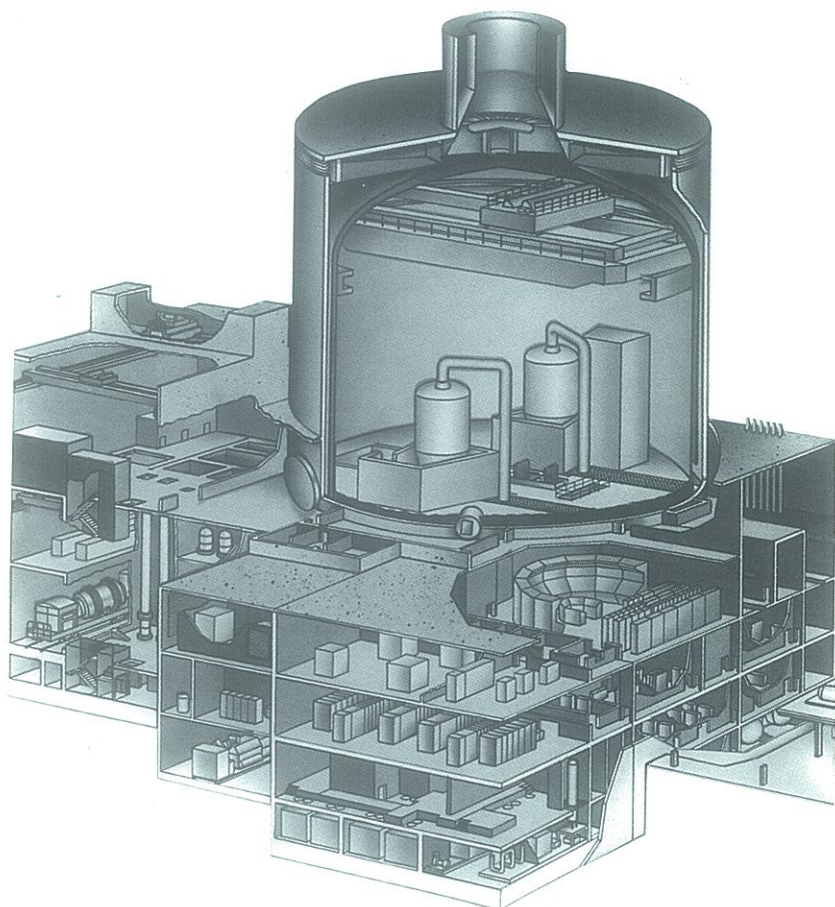
tir la comprobación automática y periódica sin interferencia con la operación de la central. Estos sistemas, además, proporcionan datos por orden de prioridad al operador y aseguran el aislamiento de las señales, eliminando el ruido, y disminuyendo así el riesgo de errores.

Se ha reducido considerablemente los niveles de radiación estimados al limitarse, por un lado, el escape de neutrones, y por otro, al eliminarse casi por completo la utilización de las aleaciones de cobalto. El volumen de líquido radiactivo procesado, se ve considerablemente reducido al sustituir los ab-



Arquitectura de I & C del APWR

Sección de la central AP-600.



sorbentes químicos por barras grises en las operaciones de seguimiento de carga.

## VENTAJAS ECONOMICAS

Seguidamente se describen aquellas características de diseño introducidas en el desarrollo del APWR, que contribuyen significativamente a la consecución de un kilowatio hora más barato. Un importante factor del abaratamiento del kilowatio hora proviene de la reducción del número de componentes, así como de las cantidades de materiales utilizados y de la consiguiente disminución del tamaño de los edificios que los alojan. Así, por ejemplo, la utilización de sistemas digitales avanzados de control, permite disminuir el número de recintos de distribución de cables.

También contribuye significativamente a reducir la cantidad de materiales, la utilización de sistemas más compactos de seguridad por eliminación de muchas de las interconexiones existentes en los diseños actuales. La optimización del diseño ha permitido, en muchos casos, la utilización de los componentes de tamaños más pequeños, el acortamiento de muchos tramos de tuberías y soportes, y en algunos casos la eliminación de sistemas. El abaratamiento de los costos, en estos casos, proviene no sólo de la reducción de la cantidad de materiales utilizada, sino también de la asociada con la construcción.

Se prevé también en el APWR una reducción de costos en las áreas de operación y mantenimiento de la central. Los factores que más influyen en ella

son la reducción del número de equipos, la disminución de los niveles de radiación, la menor producción de residuos, la utilización de los sistemas digitales de control, la disminución del número de recargas, la mejora de accesos a los equipos, etc.

Otra fuente de mejora económica del APWR es el ciclo de combustible. La más baja densidad de potencia del núcleo permite una mayor flexibilidad en la gestión de combustible al poderse utilizar combustible parcialmente gastado en la periferia del núcleo. También se obtiene una mejora en el rendimiento del ciclo por la utilización de reflectores de neutrones de acero inoxidable.

Otro factor que contribuye a una mejora del rendimiento económico del APWR con relación a los diseños actuales, es el aumento de la vida de diseño de las estructuras y componentes principales. Esta mayor duración de la vida de diseño, se ha conseguido en el caso de la vasija del reactor que es el componente crítico, mediante la reducción de los niveles de radiación, y la eliminación de soldaduras en la región central.

Indirectamente, muchas de las características mencionadas redundan en una reducción de costo mediante el efecto que tienen en la mejora de la disponibilidad de la central.

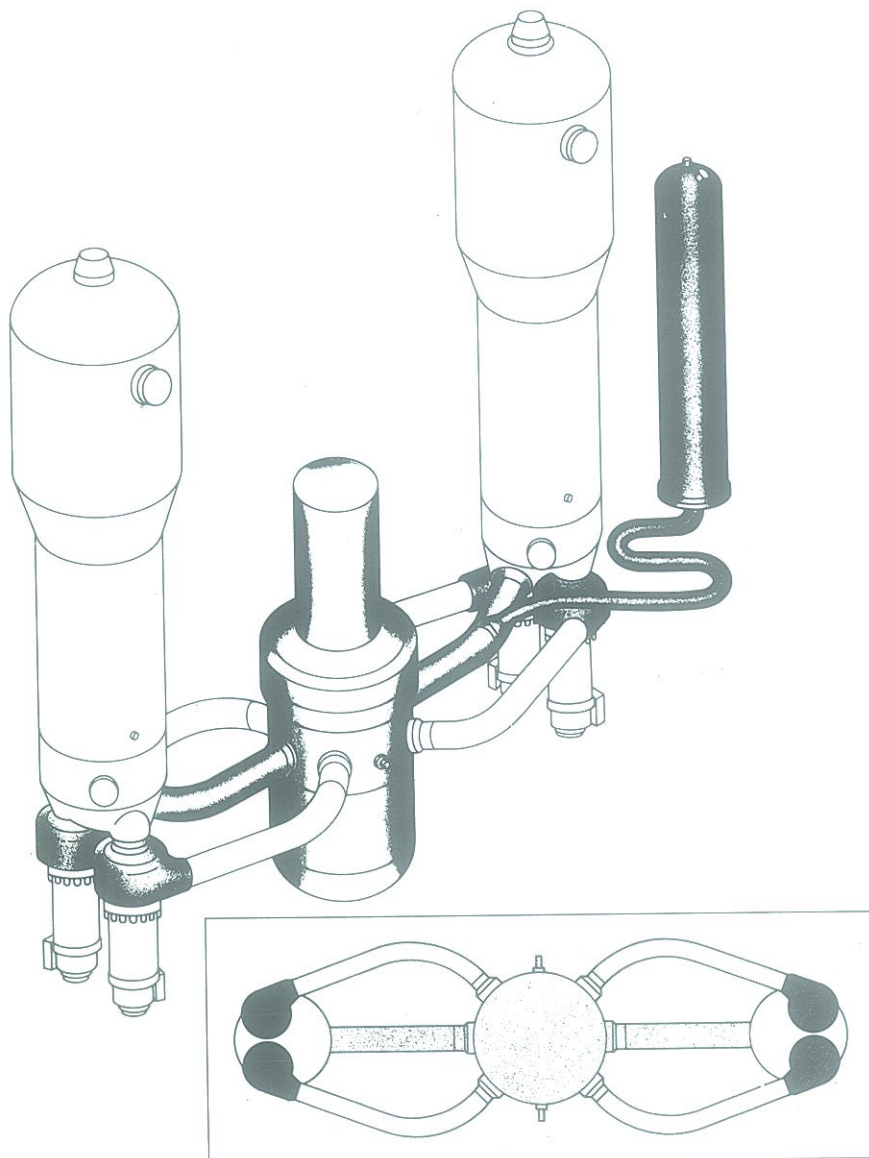
## EL REACTOR PASIVO

Actualmente, Westinghouse ha iniciado también estudios conceptuales de un nuevo diseño de central nuclear, el reactor pasivo AP/600. El objetivo primordial es el desarrollar un nuevo diseño de reactor térmico dotado de sistemas de seguridad, cuyo funcionamiento esté respaldado en principios fundamentales de seguridad pasiva.

El resultado de estos estudios es el concepto de reactor pasivo AP/600, de 600 Megawatts eléctricos y de dos lazos, que retiene y utiliza los componentes ya probados del APWR, y que utiliza sistemas de seguridad que reaccionan ante las situaciones anormales sin necesidad de la acción del operador. El AP/600 podría responder por sí mismo ante cualquier accidente durante un período de dos días. Esto permitiría a los operadores evacuar la central durante la fase aguda de los accidentes.

El AP/600 es un concepto sencillo que incorpora en su diseño conceptos de seguridad pasiva que dependen de procesos naturales tales como la gravedad, la convección y la evaporación, eliminándose así la dependencia que tienen las centrales actuales de la energización de diesels, bombas y otros equipos. Se trata de un tipo de central

Perspectiva y Vista del sistema primario de la central AP-600-



## T II

### Parámetros del AP-600

|                                      |               |
|--------------------------------------|---------------|
| N.º de Generadores de Vapor (GV)     | 2             |
| Modelo de los GV                     | F-1000        |
| Area del GV (m <sup>2</sup> /unidad) | 5.100         |
| Potencia GV (MWt/unidad)             | 909           |
| Caudal Primario (m <sup>3</sup> /hr) | 42.000        |
| Caudal de Vapor (kg/hora por GV)     | 0.86 x 10 (6) |
| Potencia Eléctrica Neta, MWe         | 600           |

sencillo de operar y mantener.

El grado de la simplificación del diseño es tan grande respecto a las centrales de la generación actual, que permite la eliminación del 60 % de las válvulas, del 50 % de los cambiadores de calor, el 35 % de los conductos del sistema de calefacción y ventilación, del 60 % del volumen de edificios sísmicos, y del 80 % del volumen del sistema de control.

Las principales características de diseño se encuentran reflejadas en la tabla II.

El aumento de los costos de inversión resultante de la disminución del tamaño de central se ven compensados por la disminución de capital y de los costos de generación del AP/600 en relación con el APWR, compensándose así

la economía de escala de las grandes unidades.

Debido a su pequeño tamaño y a la simplicidad de su diseño, se estima que el AP/600, podría construirse y ponerse en operación en menos de cuatro años, reduciéndose así los gastos de costos indirectos y de intereses durante la construcción.

Las características de seguridad pasiva del AP/600 hacen prever que se puedan reducir o eliminar las zonas de exclusión y los planes de emergencia, ya que las consecuencias de los accidentes previsibles se estima que sean bajas.

El concepto ha tenido buena acogida en los Estados Unidos, y actualmente el Departamento de Energía y el EPRI lo apoyan económicamente.

El ritmo de desarrollo del AP/600 está vinculado a la evolución de las prioridades energéticas en los Estados Unidos y del grado de preparación de su industria. De cualquier forma, no es previsible que exista un diseño final licenciado hasta la segunda parte de la década de los noventa.

## CONCLUSION

El futuro previsible de aquí a fin de siglo, se encuentra con dos tipos de centrales avanzadas que permitirán satisfacer la demanda de energía eléctrica. Los reactores APWR, cuyos diseños son una realidad en su tamaño 1300, y un proyecto que se presenta con gran viabilidad en su tamaño 1000. Ambos están llamados a jugar un papel importante en la década de los noventa. Con grandes visos de realidad se presenta el segundo tipo, el AP/600, que probablemente sea extrapolado a la dimensión de 900 Mwe, cuyo concepto está encontrando una gran aceptación en todos los estamentos, y cuya aparición en el mercado se espera para la segunda parte de la década de los noventa. Más allá del año 2000, es muy difícil augurar pronósticos, que de cualquier forma tendrían bastante de especulativos.

# Hymatom

## Equipos para inspección televisual en aplicaciones nucleares.

### Gama de productos:

- Conjunto submarino TOMA
- Cámaras subacuáticas resistentes a la radiación
- Proyector
- Torretas giratorias de posicionamiento de cámaras
- Carros portadores
- Desarrollo de equipos para aplicaciones específicas

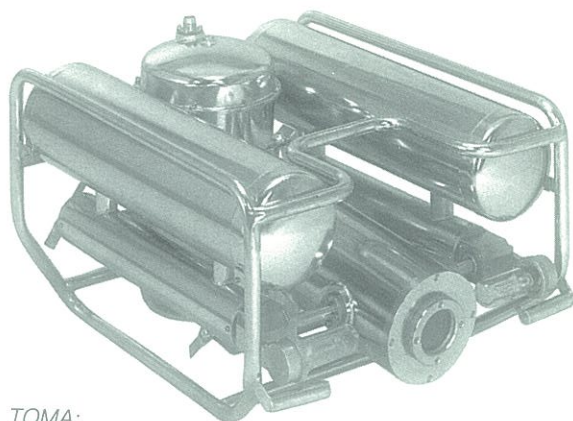
### Referencias

CEA, COGEMA, EDF, CEN, ALSTHOM, SGN, CN DOEL, PREUSSEN ELEKTRA (RFA), CN ALMARAZ

PRESENTADO POR:



**TECNISISTEM**  
CONTROLES Y SISTEMAS, S. A.



TOMA:  
SUBMARINO AUTONOMO PARA INSPECCIONES  
EN MEDIO HOSTIL

### Características:

- Maniobrabilidad total
- Cámara a color con zoom resistente a la radiación
- Iluminación propia
- Fácilmente descontaminable
- Dimensiones: 610 x 550 x 420 mm

Avda. de América, 35 - 1.º - 2 - 28002 MADRID  
Tels. 519 19 34/35 - Télex 45136 - Fax 415 75 45