

lectivo, en una pugna tesonera por darse a conocer, por elevar su nivel mediante el aprovechamiento decidido y eficaz de sus extraordinarias posibilidades. Aquí se trata ya de una proyección hacia el exterior, y no sólo de puertas adentro. El Colegio Universitario entendió que debía colaborar de algún modo en esta hermosa y urgente tarea. Y nacieron los premios Cáceres; al de novela corta, fallado ya en su primera edición, se presentaron ciento once originales, cifra asombrosa, dadas las medias habituales que ofrecen en nuestro país estos certámenes; al de reportajes y artículos periodísticos, que se fallará en el mes de abril, concurren muchos más trabajos. Y muy en breve se harán públicas las bases del Premio Cáceres de pintura, que no será ciertamente el último Premio Cáceres que se difunda por todas las regiones españolas. Todo ello por entender que un Colegio Universitario no sólo debe proporcionar enseñanzas dentro de las aulas, sino también crear un ambiente, sensibilizar a un amplio sector de población y apoyar en la medida de sus posibilidades, todas aquellas iniciativas de

la sociedad circundante que aspiren a lograr objetivos justos y beneficios para la comunidad. Si el Colegio Universitario de Cáceres ha conseguido reflejar en sus meses de funcionamiento este designio, es algo que no sabemos y que probablemente tardaremos en saber. Si los logros no responden a los deseos, acháquese a incapacidad, pero nunca a falta de entusiasmo o de entrega. "*Ai posteri l'ardua sentenza*".

Al volver la vista atrás, hasta octubre de 1971, los responsables del Colegio Universitario nos sentimos a la vez sorprendidos y apenados. Nos sorprende todo cuanto hemos logrado hacer y nos apena no haber podido hacer aún más. Lo único seguro es que continuaremos trabajando con el mismo irrenunciable fervor, gracias a los apoyos de los cacereños. Lo cierto es que la sociedad que ha creado a pulso este Colegio no merece menos, sino mucho más. Y por ella seguiremos en la brecha.

RICARDO SENABRE



Vista general del Colegio Universitario (Foto Bravo H. - Cáceres)

# CENTRAL NUCLEAR DE ALMARAZ

Actualmente está en construcción una central nuclear en Cáceres, cerca del pueblo de Almaraz, a la altura del kilómetro 200 de la carretera nacional N-V. Probablemente, el conductor que circule por dicho lugar, se habrá extrañado de la actividad que allí se desarrolla. Es nuestra intención, ahora que el viajero dispone de un momento de tranquilidad para leer esta revista, ampliarle un poco sus conocimientos sobre este tipo de centrales y en particular sobre la Central Nuclear de Almaraz, ya que en el futuro formará parte sustancial de la fisonomía de nuestra provincia.

## Qué es una central eléctrica

Nadie pone en duda la necesidad de la energía eléctrica. Mejor dicho, nadie se acuerda de ella, porque todos estamos acostumbrados a que esté allí y a hacer uso de ella, sólo con pulsar un botón. Todo resulta rápido e inmediato; pero para que sea posible es preciso, en primer lugar, producir la electricidad.

La energía eléctrica proviene de otra forma de energía. La electricidad no es una energía primaria, como lo es el calor producido al quemar el carbón, el fuel-oil, etc. Una central eléctrica es una planta industrial en donde se transforma una energía primaria en energía eléctrica. Como consecuencia de ello hay diversos tipos de centrales eléctricas, dependiendo del tipo de energía primaria utilizada. Así tenemos: la central hidráulica, la central térmica de fuel-oil, la central térmica de carbón, etc. En nuestro caso la energía primaria es la energía térmica de origen nuclear.

## Por qué una central nuclear

Varias razones han motivado la selección de una central eléctrica de tipo nuclear. Entre ellas destacamos las siguientes:

- Diversificación de las fuentes de energía primaria.

En estos días es frecuente leer en los periódicos muchas noticias sobre la crisis de las fuentes de energía, en especial, el petróleo. Todos los países están tomando sus medidas para tener cubiertas sus necesidades energéticas, lo cual

es garantía de su autonomía y desarrollo económico. Esta crisis de energía puede afectar también en cierta medida, al sector eléctrico, como veremos a continuación.

La producción actual de energía eléctrica en España proviene en un 53 % de la energía hidráulica, en un 40 % de la energía térmica clásica (carbón 57 %, fuel-oil 40 %, varios 13 %) y en un 7 % de la energía térmica nuclear. En el futuro la contribución de la energía hidráulica disminuirá, porque prácticamente se ha alcanzado la capacidad máxima de aprovechamiento de los recursos hidráulicos. A medio plazo la energía térmica clásica jugará un papel fundamental; pero a largo plazo el futuro será de la energía nuclear.

Es indudable que la energía hidroeléctrica supone una gran independencia energética frente a terceros. Gran parte del combustible de carbón es de procedencia nacional, mientras que todo el fuel-oil proviene del extranjero.

El uranio es la fuente de energía primaria en una central nuclear. España tiene ciertas cantidades de uranio, pero son insuficientes para atender la demanda. Este uranio, para poderse emplear como combustible nuclear, tiene que ser elaborado mediante un proceso altamente especializado. El proceso de elaboración se realiza en el extranjero, fundamentalmente en Estados Unidos y Europa. España está dando los primeros pasos para intervenir en este proceso.

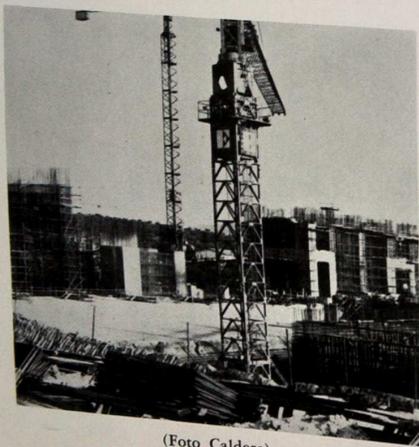
De todo lo expuesto hasta ahora se deduce que, una de las razones para la selección de la energía nuclear estriba en aumentar la diversidad de fuentes de energía primaria. Con esta medida se evita llegar a una situación de monopolio que, en algunas circunstancias, puede llegar a ser especialmente peligrosa, como sucede con el caso del petróleo y los países árabes. No sólo por el monopolio en sí, sino porque dichos países disponen del petróleo como única fuente de ingresos y no tienen intereses económicos en el desarrollo de la tecnología asociada al uso de dicho combustible. Esta circunstancia no se produce en el campo de la energía nuclear, ya que los países europeos y americanos desarrollan la industria nuclear con el fin primordial de beneficiarse ellos mismos.

### — Factibilidad técnica.

Las centrales nucleares han dejado hace mucho tiempo de ser un sueño y se han convertido en realidad. Este auge ha sido debido fundamentalmente al gran desarrollo de los reactores de agua ligera, que han demostrado sus ventajas frente a otros tipos de reactores tales como los de grafito-gas o de agua pesada.

Central Nuclear de Almaraz constará de dos reactores de agua ligera a presión. Aunque la factibilidad técnica de estos reactores se demostró en la década que comienza con el año 1950, no fue hasta 1960 cuando las primeras centrales de tamaño verdaderamente comercial empezaron a producir energía eléctrica y desde aquel momento la tecnología y experiencia de los reactores de agua ligera ha avanzado continuamente. En 1968 entró en operación la primera central nuclear española, José Cabrera (153 MWe), que es del mismo tipo que las futuras unidades de Almaraz. Hoy día la potencia de las mayores unidades oscila entre los 800-1100 MWe. Central Nuclear de Almaraz constará de dos unidades gemelas de 930 MWe. Esta rápida escalada del tamaño de las centrales sobre un período de tiempo relativamente corto ha estado acompañada del desarrollo de técnicas analíticas muy sofisticadas, sistemas de seguridad, instrumentación, control y otros sistemas auxiliares. Estos avances han exigido un profundo desarrollo de la tecnología de vasijas a presión, bombas, edificios de contención y control de las radiaciones.

Actualmente hay instaladas en el mundo libre un número de centrales nucleares que totalizan una potencia de 50.000 MWe, que representa el



(Foto Caldera)

doble de la potencia total instalada en España. En el año 1980 habrá una potencia total instalada en el mundo libre de 270.000 MWe y en el año 2000 esta cifra será de 2.660 GWe. Para el año 2000 se predice que el 60 % de la energía eléctrica nacional será de origen nuclear.

### — Rentabilidad económica.

Para que un proyecto sea abordable es necesario, no sólo que técnicamente sea factible, sino que también económicamente sea rentable. Dentro del campo nuclear hay varios ejemplos de esta situación. Los reactores de agua ligera, que forman parte de un grupo mayor llamado reactores térmicos, son técnicamente posibles y económicamente rentables. Por eso estamos asistiendo al gran auge de los reactores térmicos. Otro nuevo grupo de reactores, denominado reactores rápidos, son técnicamente factibles, pero aún no son económicamente rentables. Estos reactores jugarán un papel fundamental a partir del año 1985. Por último, existe un tercer tipo de reactores que en la actualidad ni son técnicamente factibles, ni económicamente rentables, pero que lo serán a partir del año 2000. Este tercer grupo lo constituyen los reactores de fusión.

Una forma de medir la rentabilidad económica de una nueva central eléctrica es comparar el coste total del producto, en este caso el kWh, con el coste del producto de las centrales actualmente en explotación. En este sentido la central Nuclear de Almaraz es económicamente rentable, al ser competitiva con las centrales térmicas clásicas (carbón, fuel-oil).

El coste total del producto comprende el coste de primera instalación (equipos, edificios, ingeniería, etc.), el coste del combustible y el coste de operación y mantenimiento.

El coste de primera instalación en una central nuclear es un 40 % más alto que dicho coste en una central de fuel-oil de tamaño semejante. Sin embargo esto viene compensado fundamentalmente porque el coste del combustible nuclear es mucho más bajo que el del combustible clásico y se espera que disminuya en el futuro a medida que el mercado nuclear adquiera mayor escala y mayor competencia, mientras que el precio de los combustibles fósiles está aumentando continuamente. Por último, los costes de explotación de una central nuclear son del orden de un 10 % más bajos que los correspondientes a una central térmica clásica.

El coste de primera inversión en la Central Nuclear de Almaraz será del orden de 30.000 millones de pesetas y el coste del primer núcleo de las dos unidades será del orden de 3.400 millones de pesetas. Los costes de explotación serán del orden de 167 millones de pesetas al año.

### Por qué en Almaraz

Dos razones fundamentales han motivado la selección de Almaraz como emplazamiento de la futura central nuclear. En primer lugar la disponibilidad de agua de refrigeración; en segundo su situación respecto al mercado de las tres empresas propietarias.

La refrigeración de la central nuclear es necesaria porque el rendimiento del proceso de transformación de la energía primaria (energía térmica de origen nuclear) en energía eléctrica es aproximadamente de un 33 %; por lo tanto por cada kWh eléctrico producido es preciso evacuar al exterior dos kWh térmicos. Esto exige aproximadamente disponer de un caudal de 48 m<sup>3</sup>/s por cada 1.000 MWe, lo cual equivale a que el volumen de una habitación de 3 m × 4 m × 4 m atraviese una de las paredes en un segundo. Este caudal sólo se puede encontrar en España en muy contados ríos, tales como el río Tajo, y aun así en su curso medio o cerca de la desembocadura. En Almaraz se construirá un embalse sobre el Arroyo Arrocampo, levantándose la presa en la desembocadura de dicho arroyo en el río Tajo. La refrigeración de la Central se hará en circuito cerrado, aprovechando la evaporación que se produzca en el embalse Arrocampo. Durante los meses de verano será preciso completar la acción del embalse mediante el bombeo de agua desde el río Tajo.

La futura central se construye para abastecer la demanda del mercado integrado de las tres Empresas propietarias: Compañía Sevillana de Electricidad, S.A., Hidroeléctrica Española, S.A. y Unión Eléctrica, S.A. y de manera especial la demanda de los dos grandes centros de consumo: Madrid y Sevilla. Esta central trabajará en base; esto es, el mayor número posible de horas funcionará a plena potencia. Es normal en este tipo de centrales trabajar en base, al contrario que las centrales hidráulicas, como la central de Alcántara, que trabajan en punta, esto es, funcionan en las horas de máxima demanda de energía eléctrica u horas punta.

El emplazamiento de Almaraz es casi el emplazamiento óptimo para una central nuclear;

el terreno reúne buenas condiciones para la construcción de los edificios, la sismicidad es baja y la zona está poco poblada.

### Descripción de la Central

La Central Nuclear de Almaraz se puede dividir en dos grandes partes: el Sistema Nuclear



(Foto Caldera)

de Suministro de Vapor (SNSV); y el resto de la planta. El SNSV consta de la vasija del reactor, el núcleo y los componentes internos, el circuito primario de refrigeración, los sistemas de seguridad, la instrumentación y control del SNSV y los sistemas nucleares auxiliares. El resto de la planta incluye el circuito secundario de refrigeración, el grupo turbina-generator y el resto de todos los equipos y estructuras necesarios para hacer completa y operable la Central.

### Sistema Nuclear de Suministro de Vapor

#### — El Núcleo del Reactor.

El núcleo del reactor constará de una serie de elementos combustibles agrupados en una red cuadrada con la forma más aproximada posible a un cilindro circular. Todos los elementos combustibles serán mecánica y geoméricamente idénticos, ello simplifica las operaciones de carga y descarga y abarata los costes de fabricación del combustible. Cada elemento combustible estará formado por una red cuadrada de 17 × 17 barras de combustible. El material combustible será

dióxido de uranio sinterizado, enriquecido en el isótopo U-235 y envainado en tubos de Zircaloy-4.

— Control de la Reactividad.

Además del control inherente, propio de estos reactores, debido al coeficiente negativo de potencia se dispondrá de otros medios de control tales como las barras de control, barras de veneno quemable y venenos químicos solubles.

— Sistema de Refrigeración del Núcleo.

El calor generado en el núcleo será transferido desde el circuito primario de refrigeración al circuito secundario a través de los generadores de vapor. El refrigerante primario se circulará por medio de tres bombas en circuitos paralelos a la vasija del reactor. El agua entrará a la vasija a través de la tobera de entrada por encima del núcleo, fluirá hacia abajo entre la envolvente del núcleo y la pared interna de la vasija, y subirá a través de los elementos combustibles.

Los generadores de vapor constarán de tubos verticales en U, invertidos, por los que circulará el agua del circuito primario. El agua del circuito secundario circulará por la envolvente de los generadores de vapor y se transformará en vapor saturado.

— Sistemas de Refrigeración de Emergencia del Núcleo.

Se dispondrá de dos sistemas de refrigeración de emergencia del núcleo, para impedir que se dañe en el supuesto improbable de la rotura de la envolvente del circuito primario de refrigeración. Un sistema de inyección, a alta presión y pequeña capacidad, suministrará refrigerante al núcleo para protegerle contra las pequeñas roturas. Para las grandes roturas se dispondrá de un sistema de gran capacidad y baja presión que suministrará la refrigeración suplementaria necesaria.

— Sistema de Purificación del Refrigerante.

Habrán un sistema de purificación y control de volumen proyectado para disminuir las impurezas en el circuito del reactor y mantener el volumen adecuado de agua. Una pequeña parte del caudal del reactor será enfriada, filtrada y desmineralizada usando columnas de cambio iónico y aditivos químicos para mantener el adecuado pH, el contenido de hidrógeno y la

conductividad necesarias para hacer mínima la corrosión. Este sistema contendrá depósitos de regulación y bombas de carga que alternativamente podrán servir como bombas de inyección de seguridad a alta presión.

*Resto de la Planta*

— Turbina-Generador.

Cada unidad dispondrá de una turbina de doble flujo, con un cuerpo de alta presión y dos de baja. Después de la expansión en el cuerpo de alta presión de la turbina, el vapor será recalentado usando vapor vivo y vapor de extracción en combinación con los separadores de humedad. El calentamiento del agua de alimentación se realizará mediante dos trenes paralelos de seis calentadores utilizando vapor de extracción.

— Agua de Refrigeración.

Habrán tres sistemas independientes de refrigeración de cada unidad. El sistema de agua de circulación que evacuará el calor del condensador de la turbina al embalse del Arroyo Arrocampo. Un sistema de refrigeración en circuito cerrado que se empleará para extraer el calor de los circuitos radiactivos, sirviendo así de barrera intermedia con el exterior y manteniendo la calidad del agua en el supuesto de fugas en los cambiadores de calor. Finalmente un sistema de agua para los servicios esenciales que se utilizará para la refrigeración de los componentes no radiactivos y evacuar el calor del circuito cerrado de refrigeración de componentes radiactivos.

— Sistema de Recarga.

El recambio de combustible se realizará generalmente una vez al año durante el periodo de demanda de carga reducida. Se cambiará con combustible fresco un tercio del núcleo y algunos elementos combustibles se redistribuirán de forma adecuada para obtener una buena distribución de la potencia radial.

Debido a la alta radiactividad del combustible irradiado, todas las actividades de recambio de combustible se harán bajo el agua. Las operaciones se realizarán usando herramientas de control remoto. Las paradas para recambio de combustible durarán aproximadamente un mes, mientras tanto se realizará el mantenimiento de la turbina-generador y el resto de la Central.

— Edificio de Contención.

El edificio de contención es la última de una serie de barreras que impiden el posible escape de la radiactividad desde la central nuclear al medio ambiente. Los criterios de proyecto exigen que la estructura sea capaz de resistir la presión y la temperatura que resulten de un accidente de pérdida de refrigerante, más los efectos sísmicos.

— Sistema de Tratamiento de Desechos Radiactivos.

Las fuentes primarias de desechos radiactivos son los productos de corrosión activados, los productos de fisión (incluido el tritio) que escapan de los elementos combustibles con defectos y el tritio resultante de las interacciones neutrónicas con el boro disuelto en el refrigerante como absorbente soluble de neutrones.

La central dispondrá del más moderno sistema de tratamiento de desechos gaseosos radiactivos, que hará necesaria la descarga periódica de productos gaseosos al medio ambiente. Esto se llevará a cabo mediante la retención y separación de los gases radiactivos del hidrógeno y gases no radiactivos que se efectuará mediante un recombinador de hidrógeno. Almacenando

los gases radiactivos en los depósitos de decaimiento de gases.

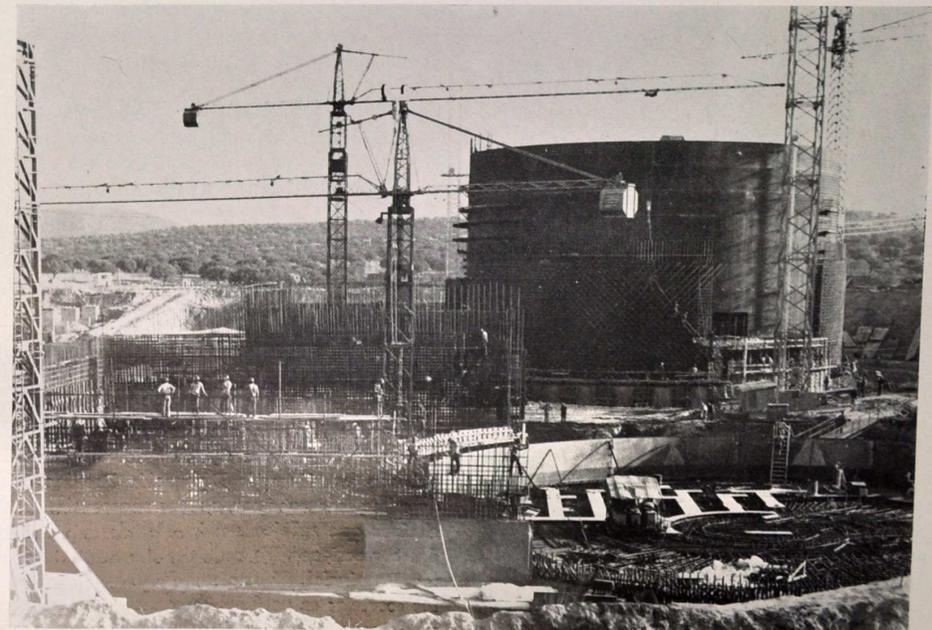
El sistema de tratamiento de desechos líquidos será también el más moderno en su género, y se descargarán sólo desechos de muy baja actividad tales como los procedentes de las lavanderías, duchas calientes, etc. Esto se lleva a cabo mediante la segregación de los efluentes de alta y baja actividad. Los efluentes de alta actividad se reciclarán mediante un proceso de evaporación. Los efluentes de baja actividad, después de ser tratados adecuadamente en desmineralizadores y filtros, se evacuarán de forma controlada al exterior.

*Sistemas Auxiliares*

La Central dispondrá también de una serie de sistemas auxiliares tales como de ventilación, tratamiento de agua, aire acondicionado, protección contra incendios, etc.

Por último, y como resumen, se puede decir que la Central dispondrá de todos los sistemas, componentes y equipos que hagan de ella una de las centrales nucleares más modernas y seguras de su tiempo.

RAIMUNDO GRADILLAS REGODON



(Foto Caldera)