

EL PROGRAMA NUCLEAR ESPAÑOL EN PERSPECTIVA

PERSPECTIVE ON THE SPANISH NUCLEAR POWER PROGRAM

José Luis HERNANDEZ VARELA



José Luis Hernández Varela es Ingeniero Industrial por la ETSII de Madrid (1956) y Diplomado en Génie Atomique (Saclay). Ingresó en Hidroeléctrica Española en la Sección Nuclear, habiendo desempeñado los puestos de Jefe de Proyecto de la Central Térmica Castellón, Jefe de Departamento de Construcción de Centrales Nucleares y, actualmente, es Subdirector de la Dirección General de Producción y Transporte.

José Luis Hernández Varela is Industrial Engineer by the Industrial Engineering Technical College of Madrid (1956) and a Genie Atomique (Saclay) Diplome. He entered Hidroeléctrica Española, Nuclear Section, having held posts as Project Chief in Castellón thermal power plant, Chief of the Nuclear Power Plant Construction Department, and is nowadays Assistant Manager of the Head Office of Production and Transport.

INTRODUCCION

Con motivo de la celebración en Madrid de la Tercera Conferencia Internacional de Transferencia de Tecnología Nuclear se ha juzgado oportuno incluir en este número especial de la revista «Nuclear España» una descripción del programa nuclear español. En semejante ocasión es importante tratar de adoptar una perspectiva amplia que permita describir cómo ese programa ha encajado en la estructura de nuestro sector eléctrico y cómo han contribuido a su desarrollo la industria y el sector de servicios.

Este planteamiento resulta especialmente pertinente en el momento de celebrarse ICONTT III, puesto que España no era un país con suficientes recursos para desarrollar un tipo original de centrales nucleares, pero sí ha sido capaz de incorporar paulatinamente tecnologías procedentes de otros países hasta lograr un elevado grado de participación nacional en el proyecto, la construcción y en la explotación de nuestras centrales nucleares.

Constituye así el caso español un buen ejemplo de transferencia de tecnología puesto que, sin haber invertido ingentes cantidades de recursos económicos en una industria creada de nueva planta, se ha llegado a incorporar al país una nueva fuente de energía, de la que estaba muy necesitado. Eso se ha logrado poniendo en juego unos recursos nacionales que actualmente no sólo satisfacen las propias necesidades del programa nuclear español, sino que están en condiciones de competir en los mercados internacionales de bienes y servicios para la industria nuclear.

No se llegó a esta forma de desarrollo sin dudas. Hubo durante los años sesenta una clara tendencia hacia la creación de un modelo autárquico de centrales, de las que el ejemplo más sobresaliente fue el Proyecto DON: basado en el empleo de Deuterio como moderador, líquido Orgánico como refrigerante y uranio Natural como combustible. Las virtudes de esta concepción que superficialmente consideradas eran muy atractivas, no lo fueron lo suficiente como para embarcar a la

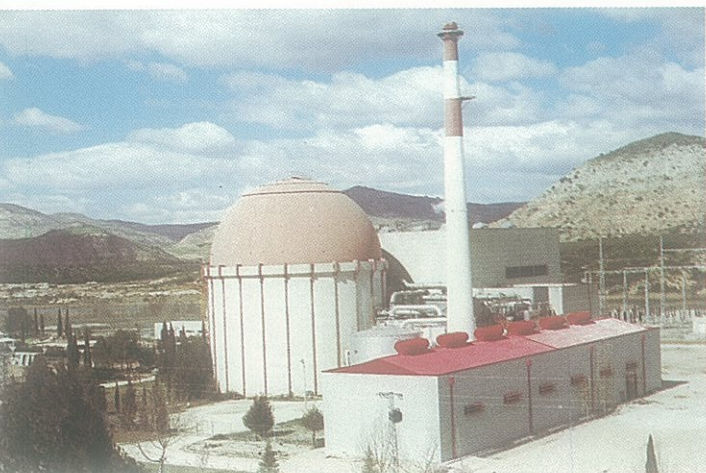
FOREWORD

On the occasion of the celebration in Madrid of the Third International Conference on Nuclear Technology Transfer it has been considered appropriate to include in this special issue of «Nuclear España» a description of the Spanish nuclear power program. In such an occasion it is important to adopt a wide perspective that will enable us to describe how this program has fitted into the structure of our electric sector and how the services sector and the industry have contributed to its development.

This layout is specially relevant at the ICONTT III celebration, for Spain was not a country with resources enough to develop an original type of nuclear power plants, but which has been capable of gradually incorporating other countries' technologies so as to achieve a high degree of local participation in designing, constructing and operating our nuclear power plants.

Thus, the Spanish case is a good example of technology transfer because, without having invested a large amount of economic resources in a newly created industry, it has come to supplying the country with a new power source, of which there was a great necessity. This has been achieved using local resources that nowadays not only satisfy the Spanish nuclear power program's necessities, but are also capable of competing in the international nuclear goods and services markets.

This stage of development was not reached without hesitations. During the sixties, there was a clear tendency in favour of the creation of an autarkical plant model, of which the DON project was the best example: based on the use of Deuterium as moderator, Organic liquid as coolant and Natural uranium as fuel. Though superficially considered very attractive, the virtues of this conception were not enough so as to involve the utilities in such an undertaking. But if the Spanish



Zorita N.P.P.

Santa M.^a de Garoña N.P.P.

industria en tamaño empresa. Pero si los industriales españoles no mostraban suficiente entusiasmo por ese género de empeño de gran envergadura, si que fueron atraídos por las posibilidades de la energía nuclear para compensar el manifiesto déficit de energías primarias en España. Aquí se hace preciso citar la visión y capacidad política del profesor Otero de Navascués que desde el año 1955 venía promoviendo el potencial de la energía nuclear entre los industriales españoles y muy particularmente entre los empresarios del sector eléctrico español

EL SECTOR ELECTRICO ESPAÑOL

El sector eléctrico español está constituido por varias empresas eléctricas de las que la mayoría tienen carácter privado. Hay también empresas eléctricas públicas y algunas tienen carácter mixto.

Los precios que las empresas eléctricas españolas pueden cobrar a sus abonados por la energía suministrada han sido siempre autorizados por el Gobierno de forma uniforme sobre la totalidad del territorio nacional, a pesar de que existen notorias diferencias entre unas regiones y otras en cuanto a los factores económicos que determinan el coste de producción de la energía eléctrica. Igualmente los gobiernos han venido fijando los precios de los combustibles específicamente empleados en la producción de la electricidad.

En el período 1950-1970 el fuerte desarrollo económico español requirió del sector eléctrico un gran esfuerzo de expansión para hacer frente a la creciente industrialización del país. Como puede apreciarse en el gráfico número 1, desde 1955 la

utilities did not show enough excitement about this very important aim, they were attracted by the nuclear power possibilities of leveling the obvious deficit of primary energies in Spain. Here it is essential to name professor Otero de Navascués for his overall view and political capacity in promoting since 1955 the use of nuclear power among the spanish industries and particularly among the electric utilities.

THE SPANISH ELECTRIC SECTOR

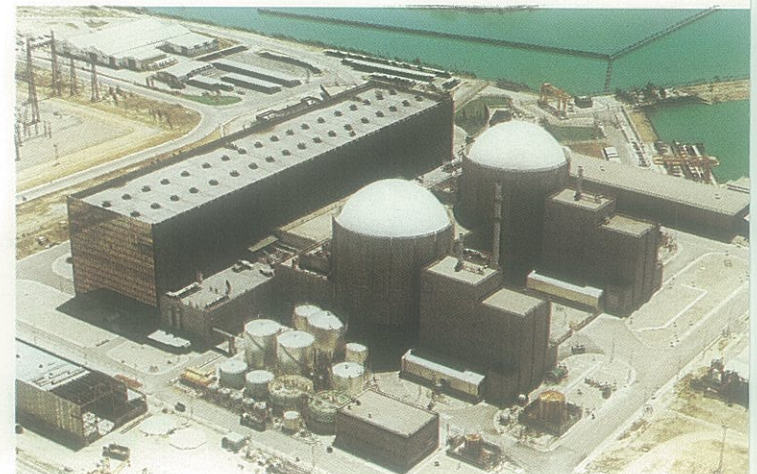
The Spanish electric sector is constituted by several electric utilities, the majority of which are private. There are also public utilities and some are of a joint type.

The fares the Spanish electric utilities may charge for the supply of power have always been authorized by the government in a uniform way for the whole national territory, even though there are notable differences from one region to the other in the economic factors that affect the production cost of electric power. Equally the government has been fixing the prices of electric power production specific fuels.

During the 1950-1970 period, the strong Spanish economic development required a great expansion of the electric sector, so as to meet the increasing industrialization of the country. As can be seen in graphic no. 1, the production has been more



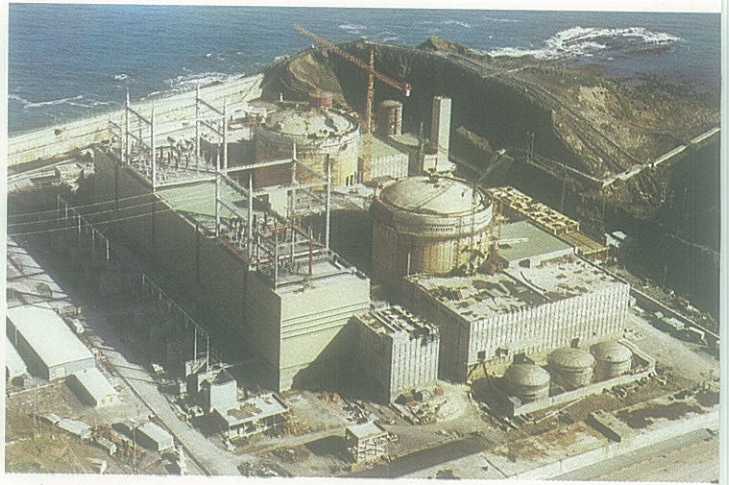
Vandellós I N.P.P.



Almaraz N.P.P.



Ascó N.P.P.



Lemóniz N.P.P.

producción ha crecido más del doble cada diez años. En esa gráfica se aprecia claramente las irregularidades de las producciones hidráulica y térmica de combustibles fósiles que se deben al carácter complementario de la producción eléctrica a partir de los combustibles líquidos con relación a la producción hidroeléctrica muy variable, tanto estacionalmente, como de unos años a otros.

Esta estructura de la producción, basada en un aprovechamiento muy completo del potencial hidráulico del país, requirió en su momento la inmovilización de capitales relativamente importantes, no sólo para crear grandes embalses, sino para complementar sus centrales hidráulicas con otras de fuel-oil capaces de cubrir la demanda en momentos de baja hidráulicidad.

PROGRAMA NUCLEAR ESPAÑOL

También en ese gráfico puede apreciarse la aparición en 1968 de la contribución de la energía nuclear a la producción eléctrica española. La primera generación de centrales nucleares está constituida por las tres centrales de la tabla I.

TI

Primera generación de centrales nucleares españolas

Central	Tipo	Potencia MW	Comienzo Construc.	Explotación
José Cabrera	PWR	160	1965	1968
Santa María de Garoña	BWR	460	1967	1971
Vandellós I	GGR	500	1967	1972



Cofrentes N.P.P.

than doubled every ten years. In this graphic, hydraulic and fossil fuels thermal production irregularities, due to the complementary character of the electric production based on liquid fuels in relation with the very variable —not only from season to season, but also from year to year— hydroelectric production, can be appreciated.

This production structure, based in a thorough exploitation of the country's hydraulic possibilities, required in its time the use of relatively important capitals, not only in order to build big dams, but to complement the hydroelectric power plants with other fuel oil power plants capable of covering the demand during low hydraulicity seasons.

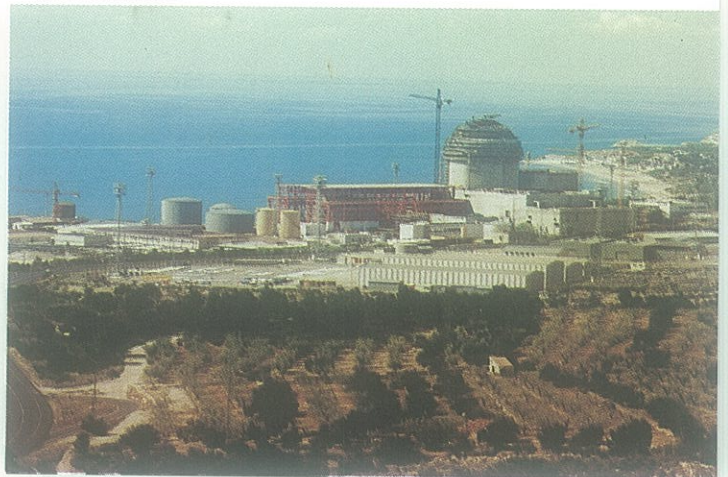
SPANISH NUCLEAR POWER PROGRAM

In graphic no. 1 can also be seen the apparition in 1968 of the nuclear power contribution to the Spanish electricity production. The first generation of nuclear power plants includes the three power plants in table I:

TI

Spanish first generation of nuclear power plants

Power plant	Type	Power MW	Beginning Construc.	Comm. oper.
José Cabrera	PWR	160	1965	1968
Santa María de Garoña	BWR	460	1967	1971
Vandellós I	GGR	500	1967	1972



Vandellós II N.P.P.



Trillo N.P.P.



Valdecaballeros N.P.P.

Dos de las centrales son de agua ligera y uranio enriquecido, mientras que la tercera es de uranio natural refrigerada por anhídrido carbónico y con moderador de grafito.

La experiencia aportada por la sucesiva puesta en marcha de estas tres centrales puso de manifiesto:

- la ausencia de problemas técnicos serios durante la construcción y consiguiente explotación;
- el favorable resultado económico de su producción frente a la costosa combinación de centrales hidráulicas y térmicas que componía el parque español de generación hasta entonces.

Tan pronto como se comprobaron las ventajas mencionadas se promovió la segunda generación de centrales nucleares españolas, compuesta como indica la tabla II.

T II

Segunda generación de centrales nucleares españolas

Central	Tipo	Potencia MW	Contrato	Explotación
Almaraz	PWR	2 x 930	1972	1981-1983
Ascó	PWR	2 x 930	1972	1983-1985
Lemóniz	PWR	2 x 930	1972	—
Cofrentes	BWR	1 x 975	1973	1984

Varios hechos distinguen la segunda generación de la primera:

- Se abandonó la contratación llave en mano.
- La participación nacional superó la cifra del 70 % de la inversión total, extendiéndose desde una creciente participación en el diseño de la Central al suministro de numerosos elementos del BOP (Balance Of the Plant).
- Se adoptaron los tamaños comerciales de grupos generadores considerados compatibles con una estabilidad razonable de la red eléctrica nacional.
- Se produjo una duplicación del tiempo requerido para construir las centrales.
- Se compartieron riesgos entre distintas empresas eléctricas que crearon asociaciones específicas para gestionar los proyectos y la posterior explotación de las centrales.

La decisión de desarrollar esta segunda generación de centrales nucleares en España tuvo una extraordinaria importancia, ya que comprometió el equivalente al 30 % de la potencia instalada en 1972 en el conjunto del sistema eléctrico español y un porcentaje superior de energía.

Sin embargo, la crisis energética de 1973 hizo mucho más atractivo este programa nuclear para un país deficitario de

Two of this power plants use enriched uranium and light water, while the third uses natural uranium refrigerated by a carbon dioxide and graphite moderated reactor.

The experience brought by the successive start-ups of these three nuclear power plants showed:

- the absence of important technical problems during construction and commercial operation;
- the favorable economic outcome of their production compared with the expensive combination of thermal and hydroelectric power plants that made up the Spanish power generation system by then.

As soon as these advantages were observed, the second generation of Spanish nuclear power plants —showed in table II— was promoted.

T II

Spanish second generation of nuclear power plants

Power plant	Type	Power MW	Contract	Comm. oper.
Almaraz	PWR	2 x 930	1972	1981-1983
Ascó	PWR	2 x 930	1972	1983-1985
Lemóniz	PWR	2 x 930	1972	—
Cofrentes	BWR	1 x 975	1973	1984

Some facts distinguish this second generation from the first:

- turnkey arrangements were dropped;
- local participation amounted to more than 70 % of the total investment, ranging from an increasing participation in power plant design to the supply of several B.O.P. (Balance of the Plant) elements;
- commercial size of generating groups considered compatible with reasonable stability of the national electric grid were adopted;
- required plant construction time doubled;
- specific joint ventures were created by the electric utilities to manage the projects and latter commercial operation of power plants.

The decision of developing these second generation of nuclear power plants in Spain had an extraordinary importance, for it amounted up to the 30 % of the previously installed power capacity of the Spanish electric system in 1972 and a greater percentage of energy.

However, the energy crisis in 1973 turn this nuclear power program into a much more attractive one for a country

fuentes primarias de energía en proporción superior a dos a uno. De esta forma se programó lo que podemos llamar la tercera generación de centrales nucleares españolas, que se recoge en la tabla III.

showing a deficit in primary energy sources in a proportion bigger than two to one. So it was programed what we can call the Spanish third generation of nuclear power plants, showed in table III:

T III					T III				
Tercera generación de centrales nucleares españolas					Spanish third generation of nuclear power plants				
Central	Tipo	Potencia MW	Autorización		Power plant	Type	Power MW	Licence	
			Previa	De construcción				Previous	Construction
Sayago	PWR	1 x 1.000	1975	No tiene	Sayago	PWR	1 x 1,000	1975	Not given
Valdecaballeros	BWR	2 x 975	1975	1979	Valdecaballeros	BWR	2 x 975	1975	1979
Trillo	PWR	2 x 1.032	1975	1979-1980	Trillo	PWR	2 x 1,032	1975	1979-1980
Vandellós	PWR	2 x 1.000	1976	1980	Vandellós	PWR	2 x 1,000	1976	1980

Con esta tercera generación se dio un paso suplementario en el proceso de creación de la infraestructura para soportar un programa nuclear de esta amplitud: la creación de dos empresas de carácter nacional, Equipos Nucleares, S. A. (ENSA) y Empresa Nacional del Uranio, S. A. (ENUSA). La primera de ellas destinada a fabricar calderería pesada para los sistemas nucleares de producción de vapor, especialmente vasijas, presionadores, generadores de vapor, etc. ENUSA, por otra parte, está constituida para gestionar conjuntamente los aprovisionamientos de uranio y fabricar elementos combustibles. Ambas empresas tienen firmados acuerdos con diversos fabricantes, que les permiten acceder a las mejoras técnicas que se van incorporando en los nuevos diseños.

With this third generation a supplementary step was taken in the process of creation of an infrastructure capable of supporting a nuclear power program of this amplitude: the creation of two utilities of national character, Equipos Nucleares, S. A. (Nuclear Equipments) and Empresa Nacional del Uranio, S. A. (National Uranium Company). The first one is dedicated to manufacturing heavy components for nuclear steam production systems, specially vessels, pressurizers, steam generators, etc. Enusa, on the other hand, is created to manage both uranium supply and fuel assemblies fabrication. These two utilities have signed agreements with some manufacturers that enable them to share those technological improvements developed in new designs.

T IV														
Evolución del consumo de energía primaria en España														
Evolution of primary energy consumption in Spain														
Año Year	Carbón Coal		Petróleo Oil		Gas Natural Natural Gas		Hidráulica Hydraulic		Nuclear Nuclear		Saldo eléctrico Elec. balance		Total Total	
	Miles tep 103 eto	%	Miles tep 103 eto	%	Miles tep 103 eto	%	Miles tep 103 eto	%	Miles tep 103 eto	%	Miles tep 103 eto	%	Miles tep 103 eto	%
1973 ..	9.855	17,0	39.455	68,1	754	1,3	6.592	11,4	1.461	2,5	- 173	- 0,3	57.944	100
1974 ..	9.169	15,1	42.095	69,6	725	1,2	7.000	11,6	1.613	2,7	- 98	- 0,2	60.504	100
1975 ..	10.332	16,9	42.230	69,3	881	1,4	5.906	9,7	1.685	2,8	- 53	- 0,1	60.981	100
1976 ..	9.584	14,8	47.353	73,1	1.199	1,8	5.026	7,8	1.687	2,6	- 67	- 0,1	64.782	100
1977 ..	10.227	15,1	45.714	67,7	1.109	1,6	9.098	13,5	1.457	2,2	- 81	- 0,1	67.524	100
1978 ..	10.229	14,7	47.389	68,1	1.142	1,6	9.266	13,3	1.708	2,5	- 132	- 0,2	69.602	100
1979 ..	10.628	14,5	49.134	67,3	1.322	1,8	10.601	14,5	1.496	2,1	- 128	- 0,2	73.053	100
1980 ..	13.337	18,3	50.070	68,6	1.637	2,3	6.879	9,4	1.158	1,6	- 119	- 0,2	72.962	100
1981 ..	15.178	21,5	46.439	65,8	1.798	2,6	5.176	7,3	2.137	3,0	- 125	- 0,2	70.603	100
1982 ..	17.253	24,2	44.393	62,2	1.926	2,7	6.117	8,6	1.958	2,7	- 260	- 0,4	71.387	100
1983 ..	17.639	24,4	43.712	60,6	2.011	2,8	6.435	8,9	2.381	3,3	- 9	—	72.169	100
1984 (P)	17.265	23,5	41.389	56,4	1.932	2,6	7.464	10,2	5.155	7,0	199	0,3	73.404	100

(P): Provisional.
eto: Equivalent ton of oil.

En resumen, puede decirse que la primera generación de centrales sirvió para mostrar la viabilidad y conveniencia de utilizar la energía nuclear en España. La segunda generación ha comenzado a reforzar el efecto que desde el año 80 ejerce el carbón en la composición del menú de energías primarias consumidas en España, robándole participación al petróleo, que ha visto disminuir su contribución desde un 68 %, en 1980, a un 56 %, en 1984, según se aprecia en la tabla IV, que refleja la evolución del consumo de energía primaria en España desde 1973. Dicho efecto es todavía incipiente y ha de verse ampliado antes de que concluya la década de los ochenta por la entrada en explotación de dos de las centrales de la tercera generación.

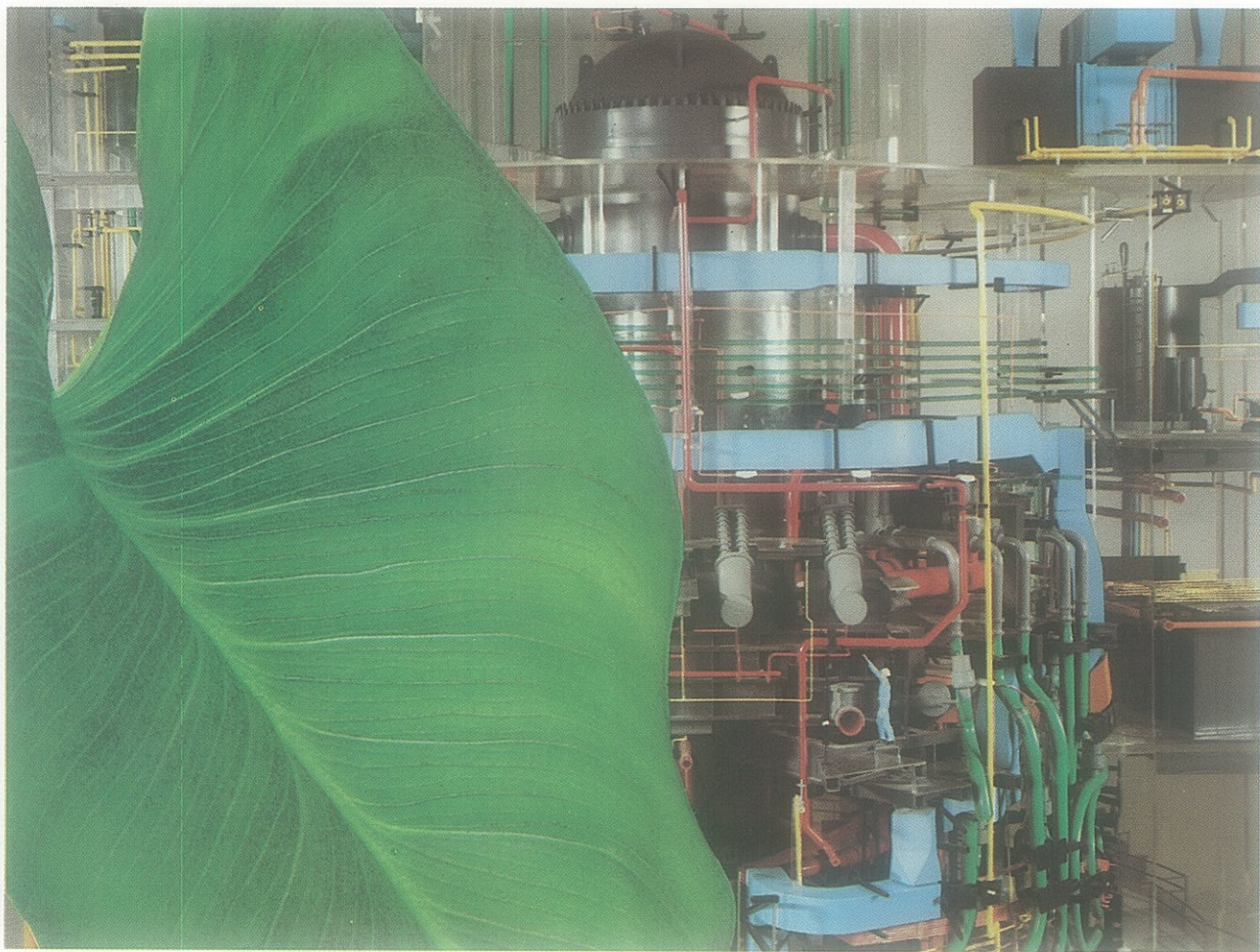
Estos objetivos se han alcanzado simultáneamente al desarrollo de una notoria capacidad en el dominio de la ingeniería y el diseño, así como de todo género de servicios, tales como control y garantía de calidad, construcción, entrenamiento de personal, metalurgia, cálculo digital, análisis de sistemas, cálculo numérico, etc., que el sector eléctrico ha necesitado emplear en estos proyectos y que continúa empleando para mantener al día las centrales en operación.

Summing up, it can be said that the first generation of nuclear power plants served as a means of showing the feasibility and advisability of using nuclear power in Spain. The second generation has begun to reinforce the role coal has played since 1980 in the composition of the menu of primary energies used in Spain, diminishing the contribution of oil from 68 % in 1980 to 56 % in 1984, as seen in table IV, that shows the consumption of primary energies in Spain since 1973. This result is still incipient, and will be increased before the eighties are over by the start-up of two power plants of the third generation.

Those objectives have been achieved simultaneously with the development of a notorious capacity in engineering and design, as well as in any kind of service such as control and quality assurance, construction, personnel training, metallurgy, digital calculation, system analysis, numeric calculation, etc., that the electric sector has needed in these projects and continue using in order to maintain power plant operation up to date.

DATYS

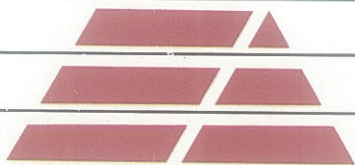
AUTOMATED, INTEGRATED, AND INTERACTIVE
PIPING ANALYSIS, SUPPORT DESIGN AND
MATERIALS MANAGEMENT COMPUTER PACKAGE



EMPRESARIOS AGRUPADOS is a Spanish A/E organization dedicated to the development of nuclear and fossil power plant projects, having a staff of more than 2,500 employees, half of which are university graduates.

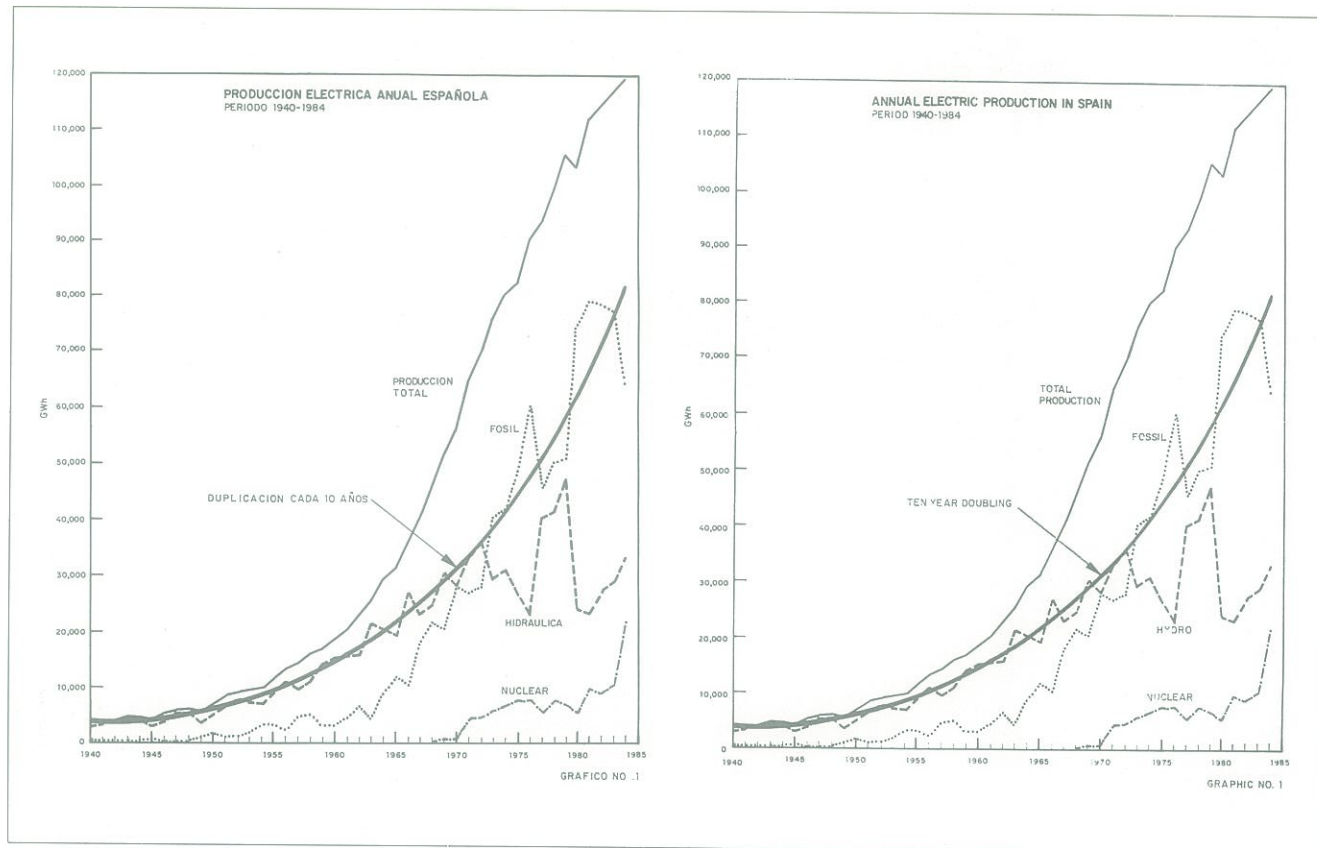
Developed by **EMPRESARIOS AGRUPADOS**, this computer package integrates into a single tool most processes and activities performed during both design, engineering and erection of piping systems and related pipe supports and hangers, including isometric drawing generation, pipe stress analyses, support calculations and design, and overall material management.

Designed mainly as a productivity tool and using sophisticated "state of the art" CAD/CAE techniques, DATYS leads to a dramatic reduction of the overall project cost.



EMPRESARIOS AGRUPADOS, S. A.
(EPTISA - GHESA - TRSA)

Magallanes, 3 - 28015 MADRID - SPAIN - Tel. 445 60 00 - Télex: 46538 EMPR E y 48066 EMPR E



EFFECTOS DEL ESTANCAMIENTO ECONOMICO

España no podía sustraerse a los efectos de la crisis económica que, provocada por las dos crisis energéticas de 1973 y 1979, ha conmovido las estructuras industriales de todo el mundo desde la primera de las dos.

Por razones particulares a este país, la primera crisis de la energía no parecía haber alterado las pautas de consumo energético españolas. Esto se aprecia claramente en la tabla IV, donde se ve cómo el consumo de petróleo siguió una trayectoria creciente de menos de 40 millones de toneladas en 1973 a más de 50 en 1980. A pesar de que la segunda generación de centrales había sido lanzada antes de producirse ese primer encarecimiento brusco de una parte muy sustancial del consumo español de energías primarias, los resultados no se notaron a tiempo para reducir la factura energética. En el año 1980 aún no había entrado en servicio ninguna de las centrales de esa segunda generación. Todas ellas sufrieron retrasos por las mismas razones que han concurrido a retrasar estas obras en el mundo occidental: oposición popular, reducción de la productividad, inflación descontrolada y requisitos de seguridad continuamente más estrictos.

Si el consumo energético crecía a mediados de los setenta, la economía no seguía la misma tendencia: la inflación se disparó al nivel del 15 % anual durante los años setenta y aún los años 81, 82 y 83 fue superior al 12 %. El paro ha sobrepasado, en 1984, el 20 %, y el PIB ha crecido menos del 2 % en 1981 y 1982.

En estas condiciones, el Gobierno propuso un Plan Energético Nacional de 1983, que fue aprobado por el Congreso en 1984. Este Plan prevé que hasta 1992 no se requerirán más de 7.500 MW nucleares en servicio, basándose en una previsión de un incremento medio de la demanda del 3,3 % acumulativo anual. En el caso de que esta cifra sea superada de forma no coyuntural, el Plan Energético Nacional ha recogido una fórmula de revisión automática, según la cual podrá reactivarse alguna de las centrales que actualmente se encuentra en situación de parada y conservación para permitir su reanudación si las circunstancias mencionadas lo requieren. Estas centrales son: Lemóniz 1 y 2, Valdecaballeros 1 y 2 y Trillo 2.

EFFECTS OF THE ECONOMIC STAGNATION

Spain could not evade the effects of the economic crisis that, caused by the two energetic crisis in 1973 and 1979, has shocked industrial structures throughout the world since the first of them.

Due to reasons particular to this country, the first energetic crisis seemed not to change the guidelines of energy consumption in Spain. In table IV can be clearly seen how oil consumption increased from below 40 million tons in 1973 to more than 50 million in 1980. Even though the second generation of nuclear power plants had been launched before this first increase in the price of a very important part of the consumption of primary energies in Spain the results did not come up in time. In 1980, none of these second generation nuclear power plants had yet reached commercial operation. All of them were delayed because of the same reasons that have delayed this type of undertakings in the western world: popular opposition, productivity reduction, uncontrolled inflation and increasingly strict safety requirements.

If energetic consumption was growing in the middle seventies, economy did not: inflation rose up to 15 % per year during this decade and even in 1981, 82 and 83 was higher than 12 %. Unemployment has surpassed in 1984 the 20 % and the Gross National Product has risen less than 2 % in 1981 and 1982.

In these conditions, the Government put forward a National Energetic Plan in 1983, approved by the Congress in 1984. This plan foresees that before 1992 no more than 7500 nuclear MW will be required, this is predicated in a forecast of an accumulative 3,3 % per year medium increase of the demand. In case this figure is surpassed, the National Energetic Plan has an automatic revision formula, according to which some of the nuclear power plants nowadays not in operation will be started-up so as to allow its commercial operation if those said circumstances require it. This power plants are Lemóniz I and II, Valdecaballeros I and II, and Trillo II.