



José E. GUTIÉRREZ ELSO es Ingeniero de Caminos por la ETSICCP de Madrid. Inició su actividad profesional como Ingeniero de Análisis de Tuberías de la Central Nuclear de Trillo en Empresarios Agrupados S.A.. En Marzo de 1985 se incorpora al Departamento de Ingeniería del Producto de ENUSA como Ingeniero de Diseño Mecánico, donde, entre otros proyectos, colaboró con GE en el desarrollo del Combustible GE9 en San José (California). Desde Enero de 1990 es el Jefe del Grupo de Soporte Informático, que es la organización de Ingeniería responsable del mantenimiento del sistema de códigos de diseño y del desarrollo de nuevos programas.

SAPORO. SOFTWARE DE APOYO A LA OPERACIÓN DE LAS CENTRALES NUCLEARES DE AGUA A PRESIÓN

J. E. GUTIÉRREZ

INTRODUCCIÓN

El Informe de Diseño Nuclear (IDN) que ENUSA suministra cada ciclo a las Centrales Nucleares, para las que realiza trabajos de Ingeniería del Núcleo, es el documento básico para el apoyo a la operación del Reactor. Por un lado predice el comportamiento de los principales parámetros que gobiernan la operación del ciclo en funcionamiento y, por otro, permite tomar decisiones al operador ante determinadas situaciones. Este documento ha ido evolucionando a lo largo del tiempo, tanto en lo que se refiere a su contenido como a su formato. El primero ha seguido los cambios producidos en las estrategias de recarga y operación, y en las metodologías y herramientas de diseño; habiendo incorporado, además, toda la experiencia anterior acumulada. Los cambios de formato han sido debidos, fundamentalmente, a la evolución de las técnicas de edición de textos, área en la se dio un salto importante con la aparición de los Ordenadores Personales (PC) y los Procesadores de Texto, y a la necesidad de los explotadores de las Centrales de facilitar su utilización. Así, se ha ido pasando del documento en papel, con textos y figuras, a la inclusión de tablas asociadas a cada una de éstas, y finalmente a suministrar estas tablas en un disco magnético para poder ser tratadas en un PC, por una Hoja de Cálculo.

Es importante tener en cuenta que, a diferencia de otros, el IDN es un documento eminentemente práctico y de uso muy frecuente, donde lo básico son las tablas y figuras que contiene, quedando el texto como una guía. A estas tablas y figuras hay que acudir

continuamente para obtener de ellas, en la mayoría de los casos por interpolación, los parámetros que caracterizan el comportamiento del Reactor, en función de otros datos obtenidos de la instrumentación de la Planta o por medios indirectos.

Hace un par de años, y en línea con los cambios del IDN mencionados anteriormente, nos planteamos en ENUSA la necesidad de dar un salto importante en cuanto a la manera de suministrar la información resultante del Diseño Nuclear y la forma de usarla. Para conseguirlo decidimos hacer uso de las posibilidades que nos ofrecen las tecnologías de la información para realizar ese cambio.

En definitiva, se trataba de desarrollar una herramienta cómoda, sencilla y rápida para trabajar de forma eficiente con toda la información contenida en el IDN. Eso, y algo más, es hoy SAPORO. Decimos que es algo más porque no se trata de sustituir un soporte físico, papel, por otro electrónico, sino que SAPORO sobrepasa el ámbito del IDN al incorporar funciones que van más allá de la simple interpolación, y que responden directamente a las necesidades de sus usuarios. En esto se refleja la vocación de futuro del programa, pues nuestra intención es aumentar poco a poco sus capacidades, hasta cubrir todas las necesidades de operación y seguimiento del Reactor relacionadas con la información resultante del Diseño Nuclear.

Estamos convencidos de que SAPORO es un paso importante y novedoso dentro del ámbito de los productos suministrados por las Ingenierías del Combustible, alguna de las cuales ha dado algunos pasos en esta línea, pero

ninguna ha llegado a proporcionar un producto de bajo coste y prestaciones tan interesantes para el usuario.

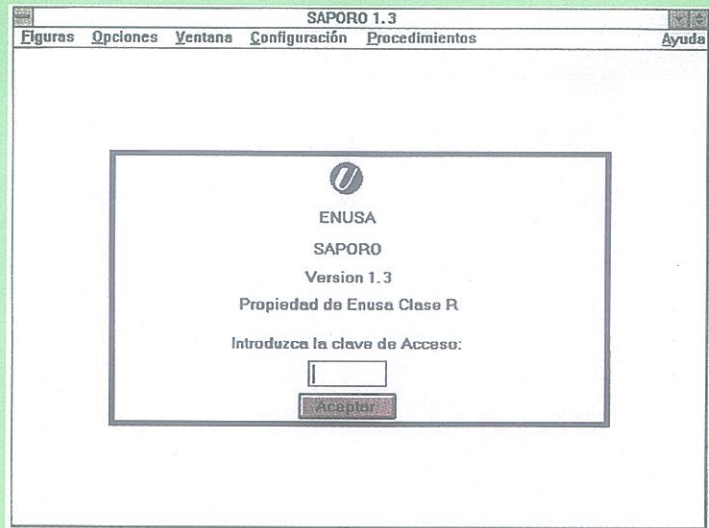
¿ QUÉ ES Y QUÉ QUEREMOS QUE SEA SAPORO ?

En esencia, SAPORO es un programa para PC, desarrollado sobre Windows, que gestiona un conjunto de ficheros de datos que contienen la información incorporada en el IDN, y que permite realizar con ellos todas las operaciones que más adelante se detallarán. Pero lo más novedoso es que el programa lleva incorporados los algoritmos y polinomios que gobiernan las distintas curvas del IDN. Si esto no fuese así, estaríamos, realmente, ante una Hoja de Cálculo más o menos sofisticada. Pero el hecho de contar no sólo con los valores finales de un cálculo, sino también con el algoritmo, nos permite obtener en cada caso el valor exacto de un parámetro, no siendo éste el resultado de una interpolación. Gracias a ello, también podemos generar nuevas curvas dentro de una misma figura, o recalcular los valores de una tabla para distintos intervalos.

La primera versión de SAPORO, la 1.0, fue desarrollada durante el segundo semestre de 1992 y presentada en la Reunión de Clientes de ENUSA de Enero de 1993. Esta versión está instalada en la Central Nuclear de Vandellós II desde Junio de 1993. En ella se incluyeron las funciones básicas necesarias para reproducir las operaciones que se realizan manualmente con las figuras y tablas del libro de Curvas de Ingeniería del Reactor.

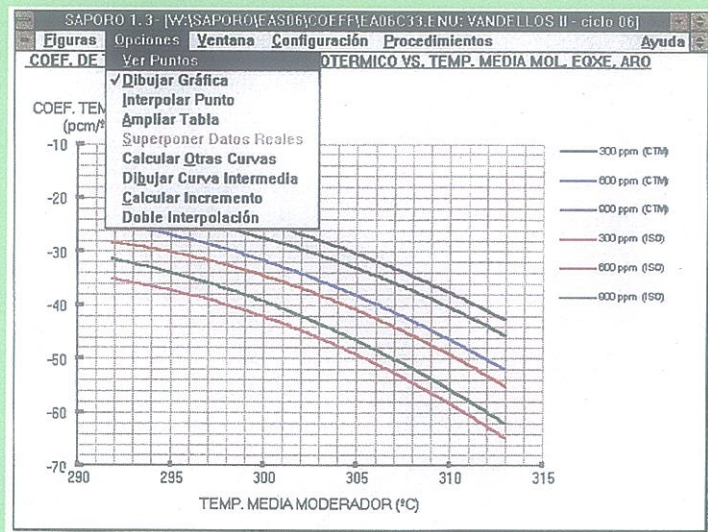
Pero no hemos querido quedarnos solamente ahí, sino que nuestra idea es hacer una herramienta lo más útil posible, que cubra todas las actividades relacionadas con el uso del Informe de Diseño Nuclear en las Centrales. En esta línea se van a incorporar a SAPORO los cálculos de aquellos Procedimientos de Operación que están basados directamente en datos del IDN, como son : el cálculo del margen de parada o el balance de reactividad del Núcleo. De esta forma SAPORO se convertirá en muy poco tiempo en una herramienta de valor añadido en las actividades de operación y seguimiento de nuestros reactores nucleares.

En estos momentos estamos a punto de liberar la versión 1.3 del programa (véase la Figura I), que incluye ya el cálculo de esos procedimientos. Al mismo tiempo que concluimos esta versión estamos pensando ya en dar un salto importante en las capacidades de SAPORO, como es la incorporación de los principales programas de seguimiento del Reactor : control de reactividad, análisis de las Trazas de los detectores intranucleares y cálculo de isotopía. Además tenemos previsto dotar al programa de diversas herramientas de comparación y análisis de resultados,



F I Pantalla de presentación del programa

F II Menú de opciones de SAPORO.



que permitan una rápida y eficaz toma de decisiones. Finalmente incorporaremos la posibilidad de editar informes de resultados, similares al actual Informe Resumen del Ciclo que suministra ENUSA.

FUNCIONES DEL PROGRAMA

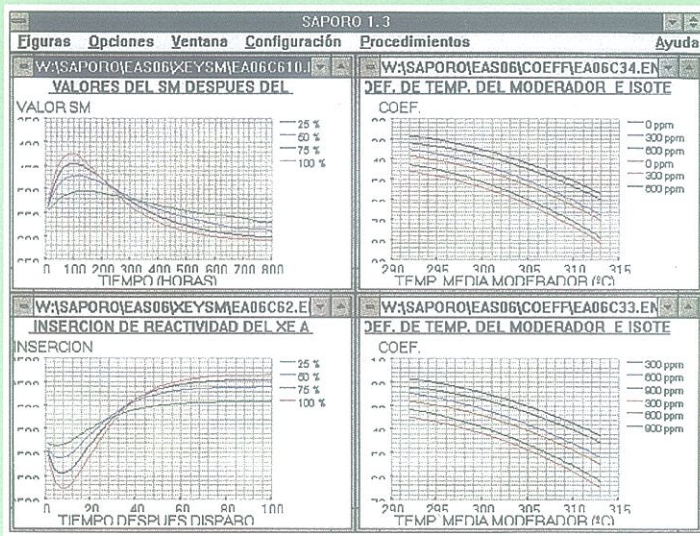
Las funciones principales que actualmente están incorporadas en la versión 1.3 son las que se indican más abajo. En la Figura II se puede ver desplegado el Menú de Opciones del programa, desde el que éstas se seleccionan.

- **Seleccionar y trabajar con una o más figuras** al mismo tiempo, pertenecientes al mismo o a distinto ciclo (véase la Figura III).

- **Ver en pantalla las tablas de datos** de la o las figuras seleccionadas.

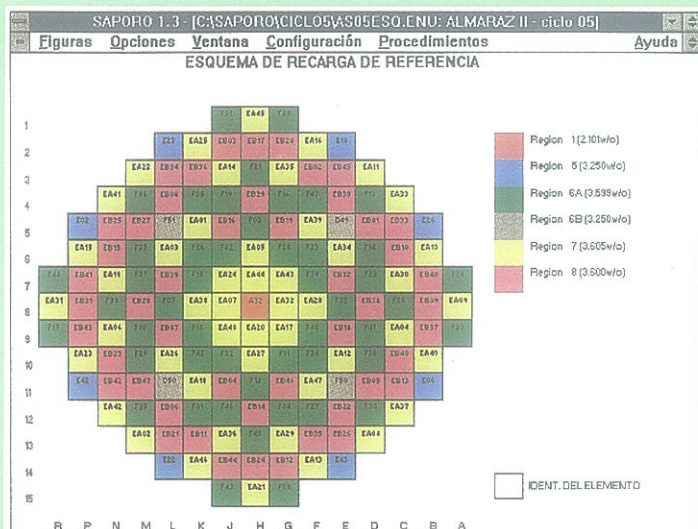
- **Visualizar en el monitor la gráfica** de cualquiera de las figuras con las que se está trabajando (véase la Figura IV). En el caso de que se hubiera calculado alguna otra curva, ésta también aparecería dibujada.

- **Imprimir cualquiera de las figuras y tablas de datos** haciendo uso de las capacidades de impresión de Windows. Siempre se imprimirá aquello que esté



F III Ejemplo de trabajo con cuatro figuras al tiempo.

F IV Visualización en pantalla del esquema de carga.



en pantalla, por lo tanto también una tabla ampliada o una figura en la que se hayan calculado nuevas curvas.

• **Imprimir las figuras con formato y numeración del Libro de Curvas de Ingeniería del Reactor.** Con el fin de agilizar las tareas de actualización del Libro de Curvas de Ingeniería del Reactor para el nuevo ciclo, se pueden obtener directamente de SAPORO las figuras con el formato y el número correspondiente a cada Central.

• **Interpolador valores** en una de las curvas de una figura. Recordamos que, aunque mantenemos por afinidad la palabra interpolador, el programa utili-

za en este caso la ecuación de la curva con los coeficientes calculados en el diseño y los valores dados por el usuario.

• **Ampliar las tablas de datos** para obtener valores a intervalos diferentes de los suministrados por defecto por ENUSA (véase la Figura V).

• **Superponer sobre la curva de valores predichos por el diseño otras** procedentes de medidas reales o de cálculos alternativos. Se pueden superponer tantas curvas como se desee, e imprimir la figura resultante.

• **Calcular nuevas curvas en una figura** para distintos parámetros de

los calculados por defecto por ENUSA (p.e. ENUSA calcula algunas curvas para el 25 %, el 50 %, el 75 % y el 100 % de potencia, y el usuario podrá calcularlas a la potencia que desee).

• **Dibujar cualquier curva intermedia** entre las suministradas o calculadas. La idea es poder ver en pantalla, o imprimir, una sola de las curvas de la figura.

• **Cálculo de incremento.** Mediante esta opción se puede obtener el incremento, o decremento, de ordenadas dados dos valores de abscisas en una misma figura. Esto evita la operación de interpolar dos veces y restar los resultados.

• **Doble interpolación.** Muchas de las figuras que se suministran en el IDN están calculadas a los tres pasos de quemado típicos : BOL (principio de ciclo), MOL (mitad de ciclo) y EOL (final de ciclo); sin embargo, es muy normal que lo que se desee sea un valor a un paso de quemado intermedio entre dos de aquellos (véase la Figura VI). Para hallarlo habría que hacer tres interpolaciones, lo que es, primero engorroso, y segundo poco preciso. Esta opción calcula, utilizando las dos ecuaciones e interpolando los resultados, el valor al quemado deseado sin más que darle éste y el valor de abscisas. Evidentemente el valor final es más exacto.

• **Cálculo del Margen de Parada.** A partir de los datos suministrados por el usuario y de la información almacenada en los ficheros, SAPORO realiza los cálculos del procedimiento, muestra en pantalla el resultado final y permite al usuario imprimir el impreso requerido para firma.

• **Cálculo del Balance de Reactividad del Núcleo.** De la misma forma que para el otro procedimiento, SAPORO realiza los cálculos necesarios para cumplimentar este requisito de la Central.

Además de todas estas funciones el programa incorpora algunas otras, comunes a muchos programas de este estilo, que lo hacen amigable y que completan las anteriores :

- **Configurar impresoras** desde dentro del programa, sin necesidad de acceder al Panel de Control de Windows. La configuración puede hacerse para cada una de las figuras o bien de forma genérica para todas.

- **Salir al DOS** sin abandonar la sesión abierta.

- **Imprimir los resultados de un cálculo** tras ser mostrados al usuario en una ventana; ésto se hace sin más que pulsar un botón.

- **Mostrar el título de una figura** antes de seleccionarla, moviendo el cursor sobre los nombres de los ficheros en la ventana de selección.

- **Cerrar una o todas las figuras** que hayan sido previamente seleccionadas hasta ese momento en la sesión de trabajo.

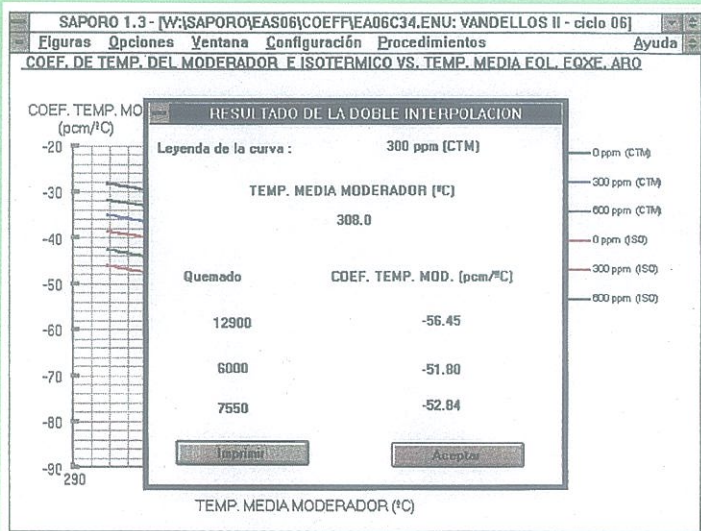
SAPORO 1.3 - [W:\SAPORO\OJC105\F05C311.ENU: ASCO II - ciclo 05]

Figuras Opciones Ventana Configuración Procedimientos Ayuda

DEFECTO TEMP. MODERADOR (ARO) VS. TEMP. MEDIA EOL. CZP-HZP

TEMP. MEDIA MOD.	0 ppm	300 ppm	600 ppm	412 ppm
30.0	4035	2766	1709	2347
45.0	3996	2752	1719	2342
60.0	3944	2731	1729	2332
75.0	3877	2703	1738	2318
90.0	3795	2668	1746	2300
105.0	3699	2624	1750	2274
120.0	3587	2570	1747	2240
135.0	3457	2504	1736	2186
150.0	3308	2423	1712	2137
165.0	3132	2323	1672	2062
180.0	2929	2201	1612	1964
195.0	2694	2050	1527	1841
210.0	2422	1867	1412	1686
225.0	2106	1645	1262	1493
240.0	1741	1377	1070	1256
255.0	1320	1057	831	968
270.0	834	676	537	622
285.0	275	226	181	209

F V Calcular otras curvas y ampliar una tabla.



F VI Ejemplo de doble interpolación.

F VII Ejemplo de mapa de quemados.

SAPORO 1.3 - [W:\SAPORO\OJC105\F05C311.ENU: - ciclo 10]

Figuras Opciones Ventana Configuración Procedimientos Ayuda

POT. Y QUEMADO POR ELEM. COMBUST. 150 MWd/BU, HFP, EqXe, Bancos D y C

Insertados

	D	L1	J	L1	J	K1	H	J
0	0.722	0.024	0.820	0.249	0.332	1.047	0.484	0.279
	0.778	0.199	0.767	0.132	0.159	0.233	0.799	0.463
	24802	4992	26733	11234	35161	20740	38154	34481
9	L1	J	L1	K1	K1	L1	H	H
	0.024	0.807	0.197	0.157	0.199	0.480	1.105	0.291
	1.064	0.868	0.236	0.287	0.297	0.329	1.544	0.574
	8292	38233	18183	20822	22322	9522	179	4540
10	J	L1	J	L1	K1	J	H	H
	0.820	0.024	0.820	0.249	0.332	1.047	0.484	0.279
	0.778	0.199	0.767	0.132	0.159	0.233	0.799	0.463
	24802	4992	26733	11234	35161	20740	38154	34481
11	L1	K1	L1	H	K1	H	D	D
	0.024	0.807	0.197	0.157	0.199	0.480	1.105	0.291
	1.064	0.868	0.236	0.287	0.297	0.329	1.544	0.574
	8292	38233	18183	20822	22322	9522	179	4540
12	K1	L1	K1	L1	K1	L1	H	H
	0.820	0.024	0.820	0.249	0.332	1.047	0.484	0.279
	0.778	0.199	0.767	0.132	0.159	0.233	0.799	0.463
	24802	4992	26733	11234	35161	20740	38154	34481
13	K1	K2	J	H1	L2	L2	L2	L2
	0.820	0.024	0.820	0.249	0.332	1.047	0.484	0.279
	0.778	0.199	0.767	0.132	0.159	0.233	0.799	0.463
	24802	4992	26733	11234	35161	20740	38154	34481
14	H	H1	H1	H1	H1	H1	H1	H1
	0.820	0.024	0.820	0.249	0.332	1.047	0.484	0.279
	0.778	0.199	0.767	0.132	0.159	0.233	0.799	0.463
	24802	4992	26733	11234	35161	20740	38154	34481
15	J	J	J	J	J	J	J	J
	0.820	0.024	0.820	0.249	0.332	1.047	0.484	0.279
	0.778	0.199	0.767	0.132	0.159	0.233	0.799	0.463
	24802	4992	26733	11234	35161	20740	38154	34481

H G F E D C B A

REGION
POTENCIA/MEDIA
FACILITACION
DISTRIBUCION DEL ELEMENTO

- Gestionar las ventanas de trabajo de tal forma que se puedan ver varias figuras al mismo tiempo, bien en mosaico o bien en cascada (véase la Figura III).

- Cambiar los colores de las curvas dependiendo del tipo de impresora, en color, que se tenga.

- Zoom para ver los detalles de aquellas figuras que llevan mucha información, como es el caso de los mapas de quemados o el Esquema de Carga (véanse las Figuras IV y VII).

- Palabra de paso para proteger el uso del programa, y de esta manera controlar el acceso a la información del IDN, si se desea.

- Instalar el programa en cualquier red de PC. Lo que permite que distintas personas trabajen al mismo tiempo y desde distintos sitios sobre las mismas figuras.

ENTORNO DE DESARROLLO

SAPORO ha sido desarrollado sobre Windows, en concreto la versión 3.1, y en lenguaje C. Se eligió este entorno con el objetivo de hacer un programa sencillo de uso, amigable y mantenible. En estos momentos creemos que Windows es el entorno gráfico más potente de los que existen en el mercado para Ordenadores Personales. Además permite añadir sus capacidades a las propias del programa. Algunas de estas posibilidades son : capturar pantallas, exportar a ficheros de diversos tipos, simultanear la ejecución de varios programas al mismo tiempo, intercambiar información entre programas, etc.

Por otro lado, el programa ha sido desarrollado siguiendo la Metodología de Desarrollo de Software de ENUSA y los procedimientos internos aplicables. Esta metodología, que cumple con las principales normas internacionales de Garantía de Calidad, establece una serie de fases por las que tiene que pasar el programa hasta su liberación final, que garantizan que el programa cumple con los requisitos establecidos y que su nivel de calidad es adecuado. En todo caso, y dado que de un producto software nunca se puede decir que es perfecto, cualquier error detectado por un cliente entraría dentro del sistema de Control de Errores previsto, así mismo, por el procedimiento correspondiente.

Esta metodología fue establecida en el año 1990, junto con el Procedimiento Operacional correspondiente, con el objetivo de dotarnos de un marco apropiado para desarrollar las actividades de informática técnica de ENUSA, pues en ese momento se detectó la necesidad de variar el enfoque de aquellas complementando lo que ya se hacía con tres nuevas líneas de actuación : a) automatizar,

pasa a la página 38