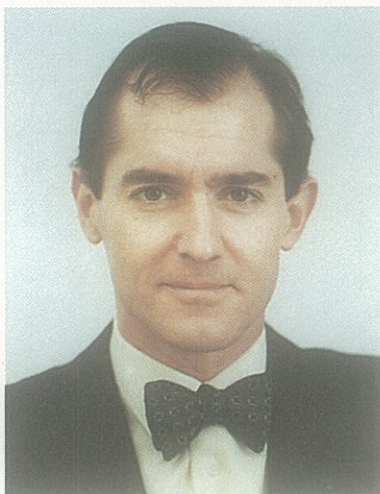


ORDENADORES EN LA INDUSTRIA NUCLEAR

ORDENADORES DE PROCESO EN CENTRALES NUCLEARES

Agustín CAMARERO, Juan ZAERA
y Francisco Javier PASCUAL



Juan ZAERA PEREZ, Ingeniero Industrial. Perteneció a la Unidad de Instrumentación y Control de INITEC, S. A., desde 1974. Ha trabajado en Proyectos de Telecontrol para Oleoductos y Sistemas de Control Distribuido para Plantas Petroquímicas. Desde 1983 está adscrito al Grupo de Instrumentación del Proyecto de la C. N. Vandellós II (Tarragona), en la Ingeniería del Ordenador de Procesos.



Agustín CAMARERO DE PEDRO, Ingeniero de Electrónica por la Universidad de Dayton (Ohio). Trabajó en la Compañía Boeing en sistemas de comunicaciones, posteriormente trabajó en los Estados Unidos en diseño de equipos de control numérico. Después de cinco años como Ingeniero de Diseño de Ordenadores con NC en San Diego (California) pasó a Westinghouse Nuclear Española, donde trabaja desde hace once años como Ingeniero de Sistemas de Ordenador.



Francisco Javier PASCUAL PEREA es Ingeniero Industrial. Ha trabajado en la Unidad de Electricidad de INITEC, S. A., desde 1981 hasta 1983 en los Proyectos de la Central Térmica de Itabo (República Dominicana) y Central Térmica de Narcea (Asturias). Desde 1983 trabaja para la Unidad de Instrumentación y Control de la misma empresa adscrito al Grupo de Instrumentación del Proyecto de la C. N. Vandellós II (Tarragona), en la Ingeniería del Ordenador Proteus.

INTRODUCCION

El presente artículo estudiará de una manera breve la utilización de los ordenadores de proceso en las centrales nucleares, repasando el enfoque que se les ha dado en el pasado y las tendencias actuales. Finalmente, el artículo describe en cierto detalle la aplicación del ordenador en una de las centrales nucleares que se están contruyendo actualmente en España.

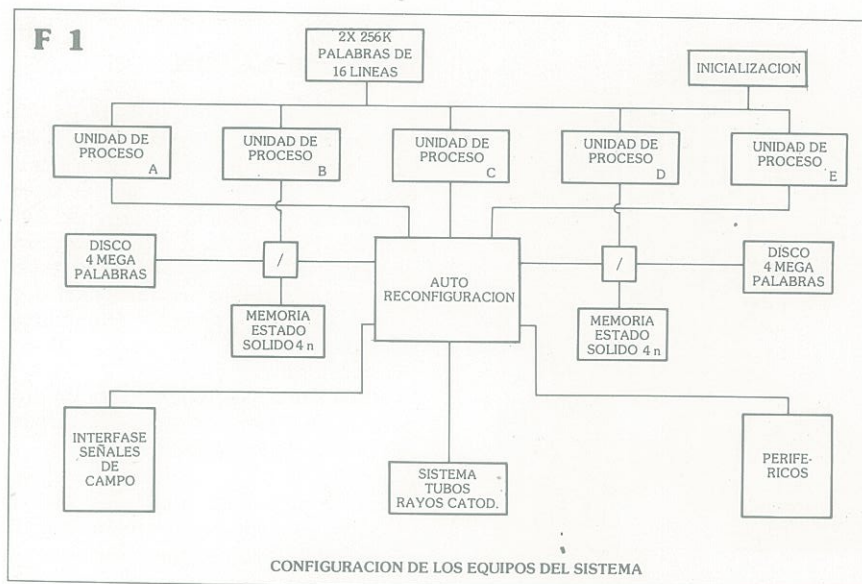
Al hablar de los ordenadores de proceso en centrales nucleares hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Los ordenadores utilizados en las centrales nucleares son máquinas digitales de proceso que funcionan en tiempo real.
- El ordenador no ejecuta ninguna función de control.
- El ordenador no tiene responsabilidad directa sobre las funciones de seguridad.

Los ordenadores utilizados hasta hace pocos años eran máquinas de 16 líneas, de unas 32.000 palabras de memoria, es decir, máquinas de potencia y velocidad media. Normalmente, la electrónica de estas máquinas era de circuitos integrados de lógica transistor-transistor. La programación, debido fundamentalmente a las limitaciones del tamaño de la memoria operativa, estaba configurada en multiplanos, esto quiere decir que los programas se ejecutaban en el mismo espacio de memoria mediante la técnica de pasarlos de disco a memoria en su momento de ejecución y devolverlos a disco una vez ejecutados. Las máquinas funcionaban en tiempo real (los resultados se producen en un tiempo suficientemente corto para que los cálculos se relacionen en tiempo con la medida que los produjo en primer lugar).

Como se ha dicho anteriormente, el ordenador de procesos de una central nuclear no controla el proceso de la misma, en realidad se trata de una herramienta dentro de sala de control para ayudar al operador en sus decisiones. Claramente, la importancia de la presentación de la información por el ordenador es de suma importancia. Sobre este punto, el aspecto ergonómico del sistema, se han dado grandes pasos a partir del incidente de la central de Three Mile Island.

F 1



UTILIZACION DE LOS ORDENADORES EN EL PASADO

En las centrales ya en funcionamiento, es decir, centrales de generaciones anteriores, el uso del ordenador se limitaba a la adquisición de datos, parámetros analógicos y señalización de equipos, presentación de alarmas, cálculos pertinentes a la central y algunas otras funciones más. La presentación de la información, principalmente condiciones de alarma o resultados de programas de cálculo, se efectuaba generalmente en impresoras de baja velocidad y ocasionalmente en tubos de rayos catódicos (TRC).

Sin duda alguna, las mayores desventajas de los sistemas anteriores eran la dificultad de acceso, la falta de presentación ergonómica de los resultados o parámetros de la planta y, en algunos casos, la relativamente baja fiabilidad de los sistemas.

TENDENCIAS ACTUALES

A partir del incidente ocurrido en la Central Nuclear de Three Mile Island en los Estados Unidos, las autoridades licenciatarias de aquel país empezaron a preocuparse seriamente de la tremenda importancia que tiene la comunicación entre el hombre y la máquina. Una de las cosas que claramente mostraron los exhaustivos estudios realizados a partir de aquel incidente es que la instrumentación convencional de sala de control no era realmente suficiente para comunicar al operador de manera rápida y eficaz la situación global de la Central.

Los estudios realizados en el campo de la interfase hombre-máquina han producido unas normas claras sobre las maneras más idóneas de presentar la información de la Central al operador. En la actualidad, prácticamente, todos los fabricantes importantes de este tipo de equipos siguen las normas establecidas a partir de los estudios mencionados. A continuación se detallan algunos de los requisitos más importantes:

- Representación gráfica de los sistemas de la Central.
- Representación de parámetros y sistemas de acuerdo con el modo de operación, por ejemplo, operación a potencia, parada caliente, parada fría, etcétera.
- Acceso a las funciones o gráficos del sistema por medio de estructuras jerárquicas.
- Reglas específicas en cuanto al uso de colores y densidad de información por diagrama.
- Integración de las pantallas de rayos catódicos en la consola de operaciones.
- Alta fiabilidad y disponibilidad de los equipos.

Sin duda alguna, la diferencia más importante en cuanto al uso de las máquinas de la presente generación es su integración en la sala de control como el elemento esencial de información. Esta idea significa un cambio radical en el modo de operar las centrales. Para llevar a cabo este concepto se parte de dos puntos esenciales:

- Llevar al ordenador un número muy elevado de señales que nos permita supervisar eficazmente la Central.

- Presentar la información al operador de forma real, duplicando los sistemas por medio de gráficos y mínimos y mostrando el valor de los parámetros en tiempo real.

A través de estos dos conceptos, el ordenador se convierte en el «centro de información». Ahora, el operador, de un solo vistazo y a la punta de sus dedos, tiene toda la información necesaria para operar la Central con seguridad y eficacia. El uso de colores, parpadeos, video inverso, claves de fácil comprensión, etc., permiten al operador conocer en todo momento el estado real de la Central. En un mismo diagrama de un sistema determinado se puede observar parámetros como caudal, presión, temperatura, nivel, etc., al mismo tiempo que se observa el cambio de estado de válvulas, bombas, etc. Los diagramas funcionales constan de dos partes, una información estática, que permanece siempre igual, representando la configuración del sistema, y una información dinámica, que cambia no solamente en cuanto a valores numéricos, sino también de colores u otros avisos ópticos que identifican cambio de estado de componentes, situaciones de alarma, fallo de sensores y otras posibles condiciones que necesita saber el operador.

La incorporación de estos sistemas informáticos no ha eliminado todavía la instrumentación convencional de sala de control, de manera que ésta aún se puede utilizar como un segundo frente de información. La gran ventaja de estos sistemas se basa en dos consideraciones:

- La comunicación interactiva entre el hombre y la máquina.
- El hecho de que el resultado de las acciones que toma el ordenador se refleje inmediatamente en la pantalla del ordenador, con todos los posibles efectos secundarios, incluyendo la intervención humana del operador, lo que se ha conseguido es una especie de bucle cerrado de control.

Las máquinas de la generación actual incluyen en el diseño del equipo un alto grado de redundancia o de equipos de reserva que minimizan el impacto de fallos de electrónica. La redundancia o la distribución de funciones representan mayor disponibilidad de los equipos, menores tiempos entre fallos, menor tiempo para la reparación y, en general, mayor fiabilidad de los equipos. Un ordenador de proceso moderno para una central nuclear llega a alcanzar una fiabilidad del 99,9 %. Esta cifra tan alta se obtiene esencialmente haciendo equipos

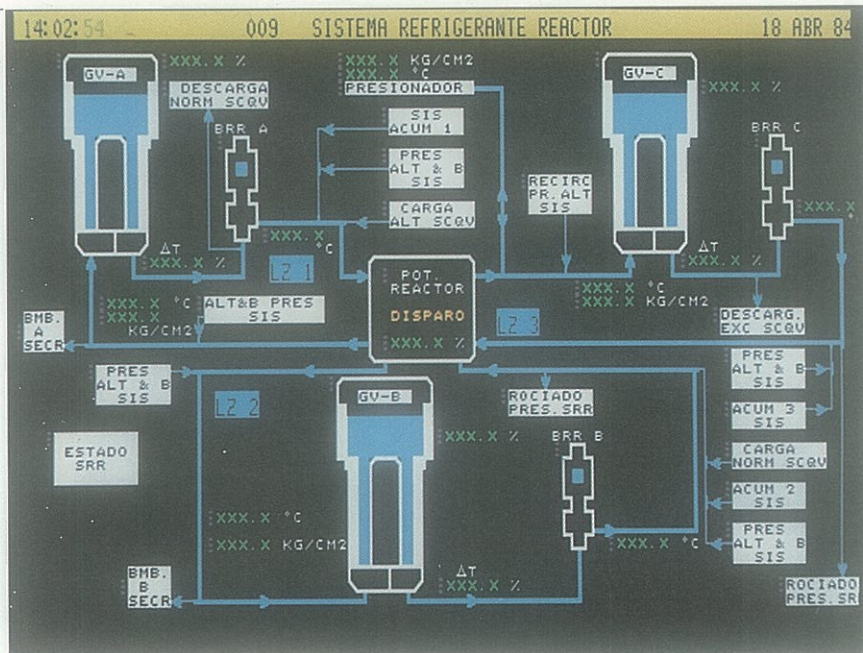
redundantes, de tal forma que si falla una unidad central de proceso, por ejemplo, otra unidad, que previamente estaba en estado de espera o utilizada como procesador fuera de línea, toma el lugar de la unidad averiada sin que el operador note la transferencia de equipos. El grado de redundancia está basado en varios conceptos, la probabilidad de fallo de las distintas partes del ordenador, la importancia dentro del funcionamiento global de la máquina, por ejemplo, el fallo de una impresora tiene menos importancia que el fallo de una unidad operativa de memoria, la importancia relativa de la pérdida de ciertas funciones y, por supuesto, las consideraciones económicas.

En términos prácticos, se trata de llegar a una situación óptima, en la que todas estas consideraciones se hayan valorado equilibradamente, produciendo como resultado final un sistema cuya fiabilidad y disponibilidad son aceptables para los criterios funcionales establecidos previamente, y cuyo costo sea aceptable para el proyecto específico.

El énfasis que se viene dando a la fiabilidad de los ordenadores se debe en gran parte a que progresivamente la legislación nuclear en diversos países asigna al ordenador funciones relacionadas con la seguridad. En general, el ordenador no es responsable por la seguridad de la planta, sin embargo, la información que de él se obtiene puede estar relacionada con la seguridad. Tales son los casos de la utilización de ordenadores para los Centros de Apoyo Técnico recientemente requeridos por las autoridades licenciadoras, las funciones de vigilancia de trenes y sistemas de seguridad que pueden no estar funcionando o temporalmente sacados de servicio debido a pruebas periódicas, etc. En estos casos, el ordenador tiene otra consideración desde el punto de vista de licenciamiento, y mientras que sigue sin ser Equipo Eléctrico Clase IE, y, por tanto, no tiene por qué cumplir con los requisitos de cualificación sísmica y ambiental, sin embargo, sí se exige que la máquina tenga unos ciertos niveles de fiabilidad y de disponibilidad.

Las secciones siguientes describen en cierto detalle el sistema de ordenador más moderno que se está implantando en una central española en construcción.

La realización del sistema se ha llevado a cabo en una estrecha y fructuosa colaboración entre el suministrador del equipo nuclear (fabricante del ordenador) y la Ingeniería que está ejecutando el proyecto.



ELECTRONICA DE UN SISTEMA ACTUAL

RELACION DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA

Memoria compartida

Dos bloques de memoria de ferritas (no volátiles de 256 K palabras (1 palabra = 16 líneas o bits). Los cinco procesadores tienen acceso a esta memoria.

Unidades Centrales de Proceso

Cinco ordenadores de 16 líneas de datos con memoria operativa de 32 K palabras.

Electrónica rápida TTL.

Punto decimal flotante electrónico.

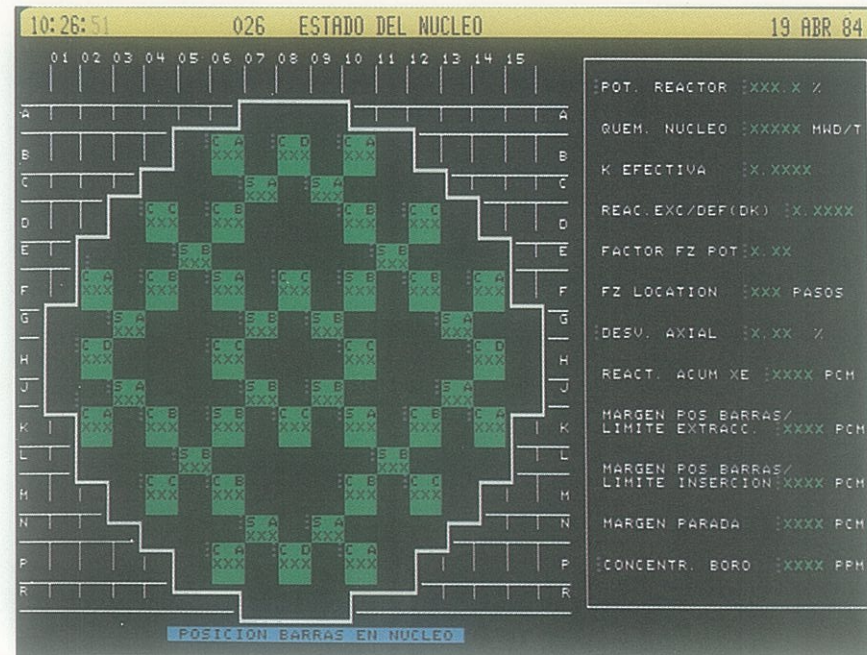
Sus funciones son las siguientes:

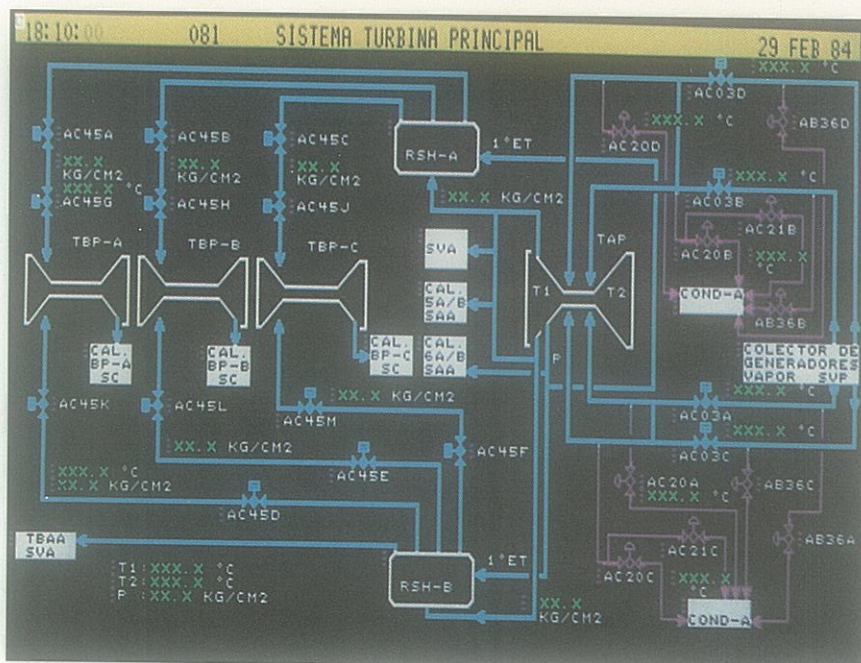
Unidad A

Controla el tráfico de entrada de señales de campo, analógicas, digitales, impulsos y señales de secuencia de sucesos. También controla señales de salida -hacia campo- analógicas y digitales.

Unidad B

Unidad flotante de reserva, puede sustituir a cualquiera de las otras cuatro unidades de proceso.





Unidades C y D

Unidades 1 y 2 de comunicaciones. Estos ordenadores controlan el tráfico de datos de las pantallas de televisión y entre ordenadores.

Unidad E

Esta unidad ejecuta los programas de aplicación y las funciones del Centro de Apoyo Técnico.

Unidad de Autorreconfiguración

Esta unidad permite de forma automática la reconfiguración del sistema en caso de fallo de alguna de las unidades de proceso.

Inicialización

Esta unidad permite el arranque automático de los cinco ordenadores, inicializando los programas correspondientes.

Memoria compartida

Este bloque de memoria no volátil ac-

túa como memoria virtual y facilita grandemente los accesos del ordenador a memoria masiva, ya que la velocidad de lectura-escritura es de varios órdenes de magnitud más rápida que la memoria masiva. Todos los procesadores tienen acceso a la memoria compartida. En caso de fallo en direcciones específicas, la memoria se autorreconfigura, de tal manera que toda la memoria no se pierda.

Memoria de acceso aleatorio

Estas dos memorias de semiconductores de 4 megapalabras cada una, constituyen el almacenamiento masivo del sistema, donde residen los programas.

Discos

Los dos de 20 megapalabras cada uno almacenan el historial de la central permitiendo la recuperación de datos ocurridos en el pasado.

Interfase de campo

Este equipo las procesa las entradas analógicas y los contactos provenientes de la central, digitalizándolos, para uso posterior del ordenador. La unidad contiene los filtros, convertidores analógico-digital, sincronización, etc. el número y tipo de entradas son los siguientes:

Analógicas

Voltios	680
mA	280
Termopares	84
Termorresistencias ..	288
Total	1.332

Digitales

Contactos de exploración periódica	2.400
Contactos de interrupción	442
Impulsos	66
Total	2.908

Salidas

Analógicas-4	Digitales-90
--------------	--------------

Periféricos

- 1 Impresora rápida.
- 4 Teleimpresoras de velocidad media.
- 2 Unidades de cinta magnética.
- 1 Lectora de tarjetas perforadoras.
- 1 Terminal programador.

Terminales de rayos catódicos (incluyendo teclado)

- 1 Unidad alarma primario.
 - 1 Unidad gráficos primario.
 - 1 Unidad alarma secundario.
 - 1 Unidad gráficos secundario.
 - 1 Unidad sistema vigilancia SVEL.
 - 1 Unidad parámetros de seguridad.
 - 1 Unidad móvil.
 - 1 Unidad supervisor.
 - 2 Unidades en Centro de Apoyo Técnico.
- 10

Las diez pantallas de televisión están controladas por tres generadores de gráficos.

Para dar idea de la magnitud del sistema, todo él está contenido en 25 cabinas, que comprenden los ordenadores y los equipos entrada/salida, además hay que añadir las lectoras de cinta y tarjetas, la impresora de línea, pantallas, etc.

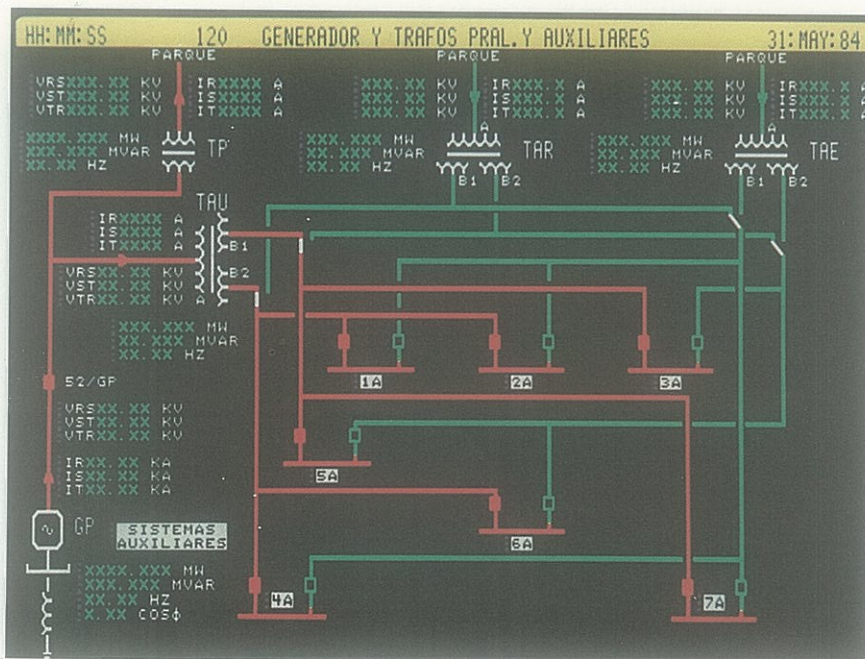
Los equipos están dispuestos en una sala destinada a ordenadores.

El consumo eléctrico del sistema está estimado en unos 45 KVA suministrados por un ondulador de esa potencia, alimentado por 380 VAC y por 125 VDC de un banco de baterías.

PROGRAMACION

PROGRAMAS DE PROCESO Y PROGRAMAS DE APLICACION

La programación del ordenador se puede dividir en dos grandes áreas: aquellos programas relacionados con cualquier tipo de proceso y programas específicos para una central nuclear.



El primer tipo de programas lo llamaremos de PROCESO. La función de estos programas es la adquisición de datos, transformación de la señal analógica en una combinación digital, determinación del rango del sensor, determinación de los puntos de alarma, conversión de unidades del sensor, determinación de los puntos de alarma, conversión de unidades del sensor (voltios, miliamperios, etc.) a unidades de proceso, por ejemplo, unidades de presión, de caudal, de temperatura, etc. Efectuar transformaciones sobre las lecturas de cada señal, por ejemplo, promedio en tiempo, compensaciones, determinación de máximos y mínimos, etc. Evidentemente, todo este tipo de funciones es independiente de la aplicación específica del ordenador, el único requisito es que estos programas funcionen en línea (con entradas reales del proceso) y en tiempo real (los cálculos se realicen en un tiempo cuya magnitud es muy inferior a la variación del parámetro sobre el que se está operando).

Al segundo tipo de programas lo llamaremos de APLICACION, que son los que efectúan cálculos específicos de la central nuclear. Los programas de aplicación se pueden agrupar de acuerdo con su función:

- Programas relacionados con especificaciones técnicas.
- Programas de cálculo.
- Programas de ayuda al operador.

Los programas relacionados con las especificaciones técnicas son el programa de supervisión de posición de barras y el cálculo del delta de flujo neutrónico. El primer programa compara la posición absoluta de los bancos de parada y de control, según se determina el sistema digital de posición de barras con los impulsos de mando de movimiento de barras. El programa calcula la diferencia de pasos entre banco y barra, y barra y barra, y produce alarmas cuando las condiciones de especificaciones técnicas han sido violadas.

El programa de delta de flujo determina el desequilibrio axial en función de la potencia del reactor y averigua si el punto de trabajo del reactor está dentro de la banda autorizada y en caso contrario calcula el tiempo que se ha estado funcionando fuera de la banda. El programa produce las correspondientes alarmas cuando se han excedido los requisitos de las especificaciones técnicas.

Existen varios programas de cálculo que se enumeran a continuación:

Cálculo de medidas redundantes.

Este programa determina el valor más probable de un proceso que se mide con varios sensores. El programa determina la validez de las lecturas (eliminando las que estén fuera del rango del sensor) y compara cada una con el promedio de las que sean válidas. Aquellos valores que sean válidos (dentro del rango) y estén dentro de un valor de error del promedio de todas las lecturas válidas, entran a formar parte del cálculo del promedio de las lecturas, promedio que se considera como el valor «más probable» del proceso.

Cálculo de puntos de consigna.

Este programa calcula varios puntos de consigna y los compara con los puntos de consigna determinados electrónicamente por los circuitos analógicos de proceso. Las desviaciones entre ambos puntos de consigna producen alarmas en el ordenador.

Temporales intranucleares. Los treinta y nueve termopares situados en la parte superior del núcleo son los datos iniciales para calcular la temperatura media del núcleo, la entalpía media de las zonas de combustible alrededor de cada termopar, diferencia de temperatura entre cada termopar y la rama fría. Estos cálculos tienen por misión suministrar las condiciones radiales del núcleo, determinando canales de energía excesiva, etc.

Detectores móviles. Durante la ejecución de un mapa de flujo neutrónico (efectuado mediante el recorrido axial de cinco cámaras pequeñas de fisión) se recogen unos tres mil datos. El programa realiza varios cálculos de integración, normalización de lecturas, etc., de todos los datos. El programa también produce una cinta magnética que contiene los datos de entrada para los códigos tridimensionales de gestión de combustible.

Cálculos de desequilibrios nucleares. Este programa determina el comportamiento del núcleo, basándose en las medidas por cuadrantes del flujo neutrónico en rango de potencia.

Corrección de caudales. Las medidas de agua de alimentación y de vapor suministradas por los Venturi son corregidas tomando en correjidas, tomando en consideración las desviaciones operativas con respecto al diseño a causa de los cambios de densidad de los fluidos y de la expansión del propio tubo de Venturi.

Inhibición automática de alarmas.

Este programa tiene por misión eliminar la producción de alarmas en aquellas situaciones en que debido a la potencia o a condiciones específicas de funcionamiento, la lectura de un parámetro por encima de su punto normal de tarado no ha de considerarse como una alarma funcional válida.

Seguimiento de ácido bórico. El programa determina un equilibrio másico a través del cual se puede determinar la cantidad de ácido bórico y de hidróxido de litio en el refrigerante del reactor presionador y la salida de la bomba de carga. Este seguimiento automático de las condiciones de boración/dilución es muy útil para saber las concentraciones de ácido bórico entre las tomas de muestras para los análisis químicos. El programa, también determina el caudal del circuito primario.

Seguimiento de xenon. Este programa calcula las concentraciones de xenon y de yodo, debido a los cambios de carga. El conocimiento de estas concentraciones es muy necesario para determinar las necesidades de boración y dilución para compensar los elementos absorbentes de neutrones.

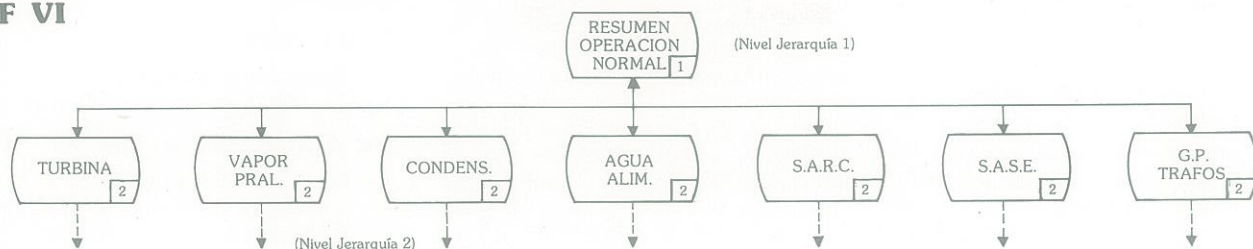
Cálculos de rendimiento de la planta secundaria. El programa determina las condiciones de funcionamiento de las turbinas, recalentadores, trenes de calentadores y el condensador, y los compara con las curvas de diseño de cada equipo previamente cargados en el ordenador. El programa también produce un balance térmico del secundario de la central.

Varios otros programas sirven de ayuda para el operador de la central. Los programas dentro de este grupo son:

Lógica de protección del reactor. El programa compara valores analógicos con los puntos de tarado de los bistables de protección. El propósito de este programa es alertar al operador de cualquier anomalía en los grupos lógicos de protección del reactor (causa de disparo o de inyección de seguridad). Mediante la pronta determinación de estas anomalías, el operador puede en algunos casos evitar el disparo definitivo del reactor.

Secuencia de sucesos. Este programa registra -con una discriminación de cuatro milisegundos- diversos sucesos importantes de la central. La determinación precisa de ciertos sucesos, es una herramienta fundamental en el diagnóstico.

F VI



F VII

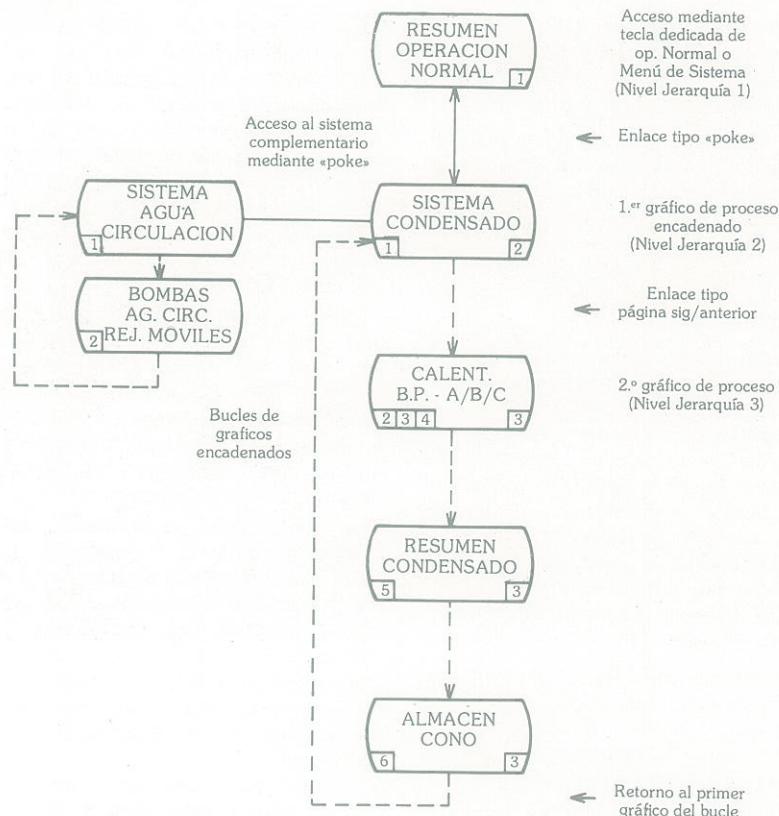


DIAGRAMA DE ACCESOS JERARQUIZADOS

tico de algunas averías y en la prevención de disparos de reactor.

Colección de datos post-disparo. Este programa acumula —a una frecuencia muy alta— lecturas de ciertos parámetros durante un tiempo previo al disparo del reactor y durante otro tiempo una vez ocurrido el disparo. El programa es sumamente importante para determinar las causas reales del disparo del reactor.

INTEGRACION DEL ORDENADOR EN EL PROCESO

CRITERIOS DE SELECCION DE SEÑALES

En principio, se han seleccionado las señales analógicas de proceso (caudales, temperaturas, presiones, niveles, etc.) de los sistemas más importantes, suscepti-

bles de ser implementados en gráficos de proceso, para visualización de las variables y estados más representativos de cada uno. El número de cada tipo de señal se ha descrito anteriormente. Todas las señales indicadas en la Guía Reguladora 1.97 (Vigilancia Post-accidente), se encuentran también recogidas en la Base de Datos, y son utilizadas en los gráficos y Programas Nucleares, así como en el Sistema de Vigilancia de Parámetros de Seguridad (SVPS). Asimismo, tal como se describe en el apartado correspondiente, se ha seleccionado un número considerable de señales digitales para el desarrollo del Sistema de Vigilancia de Estados Inoperables (SVEI) al objeto de cumplir con los requisitos de la Guía 1.47.

Las señales que intervienen en la secuencia de sucesos constituyen un conjunto específico, y poseen unas tarjetas de entrada diferentes a las señales digitales exploradas periódicamente.

Respecto a las alarmas de la central, se ha seguido el criterio general de que los dos sistemas existentes (Sistema convencional de alarmas y Sistema de alarmas del Ordenador) sean permutables. Las alarmas del sistema convencional se repiten, mediante barras activas, al Ordenador, al menos con la información relativa a cada una de las ventanillas de los anunciadores. Sin embargo, salvo en señales muy críticas, no se repiten aquellas alarmas que son susceptibles de ser obtenidas, dentro del Ordenador, a partir de señales analógicas existentes del mismo servicio.

De todas aquellas unidades paquete de servicios auxiliares, que no poseen indicación en el Cuadro de Control Principal, se ha seguido el criterio de llevar al Ordenador una alarma resumen de todas las producidas localmente.

Respecto a las señales de radiación procedentes del Sistema correspondiente, se ha seguido el criterio de introducir en el Ordenador, solamente las que se corresponden con monitores Clase 1E.

Los motores más importantes poseen indicaciones continuas en el Ordenador de cojinetes (termopares) y fases de devanados (termorresistencias), que se han implementado en forma de gráficos tipo tabla o de barras.

Se han llevado al Ordenador los estados de marcha/parada de los componentes más importantes (bombas, ventiladores, unidades de aire acondicionado, etc.), así como los estados abierta/cerrada de válvulas (motorizadas, neumáticas o solenoides) de los servicios más importantes, en particular todas las actuaciones por activación de señales de salvaguardia.

Por fin, se han considerado todas aquellas señales que, sin intervenir en gráficos de proceso o sistema de alarmas, fueran requeridas por los programas de aplicación disponibles.

SISTEMAS VIGILADOS

Se indican a continuación, los sistemas de proceso y auxiliares, que de forma específica se han desarrollado en gráficos de proceso, para su seguimiento por los operadores y como ayuda y complemento a la instrumentación convencional.

Ciclo primario:

- Refrigerante del Reactor.
- Control Químico y de Volumen.

Sistemas de salvaguardias:

- Inyección de Seguridad.
- Evacuación del Calor Residual.
- Aislamiento de la Contención.

- Rociado de la Contención.
- Agua de Alimentación Auxiliar.
- Generadores Diesel de Emergencia.

Instrumentación nuclear:

- Termopares intranucleares.
- Detectores móviles.
- Nivel de Vasija del Reactor.
- Detectores de Flujo.
- Control Barras.

Ciclo secundario:

- Turbina Principal.
- Vapor Principal.
- Extracciones, drenajes y venteos.
- Condensado.
- Agua de Alimentación.
- Agua de Circulación.

Sistemas auxiliares:

- Vapor auxiliar.
- Lubricación del Turbo - alternador y Turbinas auxiliares.

Sistemas de refrigeración:

- Refrigeración de Componentes.
- Servicios Esenciales.
- Servicios No Esenciales.
- Agua desmineralizada.

Sistemas de ventilación.

- Edificios de Control, Combustible y de Contención.

Sistemas eléctricos:

- Generador Principal y Trafos TAE, TAU Y TAR incluyendo barras Clase.

Vigilancia de radiación y tratamiento de desechos:

- Sólidos, líquidos y gaseosos.

La presentación de la información correspondiente a los sistemas mencionados se efectúa mediante 180 gráficas de TRC que se solicitan de acuerdo con los criterios de jerarquía descritos más adelante.

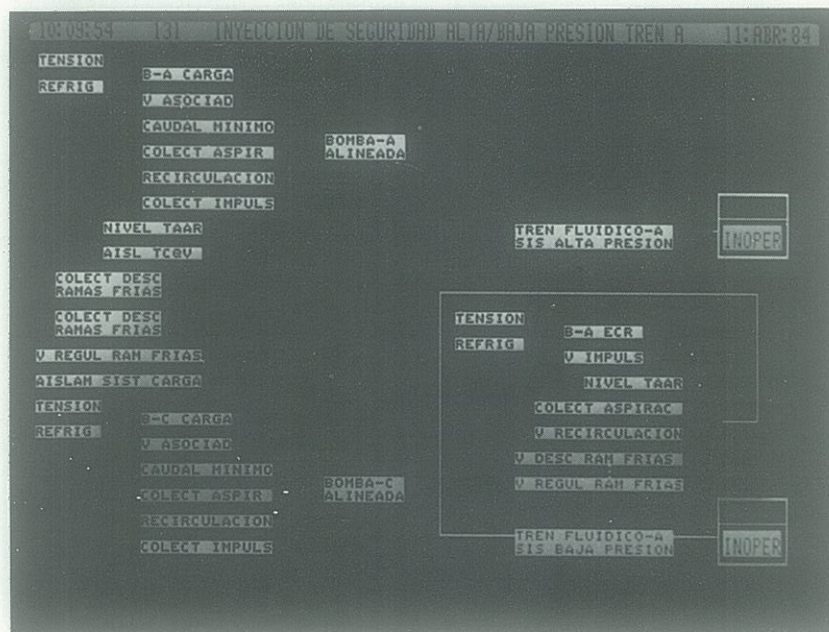
INTERFASE HOMBRE-MAQUINA

IMPLANTACION

El acceso a la información de todo tipo (datos, programas, gráficos, alarmas, etc.) se realiza mediante un conjunto de Pantallas TRC, con sus teclados correspondientes y con el apoyo de cuatro impresoras, situadas en Sala de Control.

En el Pupitre de Control, situado enfrente del Cuadro Principal, se sitúan cuatro Pantallas, que comparten tecla-

F VIII



do dos a dos y constituyen las estaciones de acceso al ordenador de los operadores. El Operador del Reactor dispone de una Pantalla de Datos y otra de Alarmas y el Operador de Turbina dispone de otras dos pantallas similares con su teclado correspondiente. Ambos operadores pueden reconocer alarmas y acceder a toda la información de utilidad para el seguimiento del Proceso. Dado que el tipo de teclado de que disponen no contiene caracteres alfanuméricos ni simbólicos, los operadores no pueden modificar ningún parámetro de la Base de Datos ni realizar otras funciones de programación, cambios en los gráficos, etc.

Existe, además, otras seis pantallas dotadas de teclado completo alfanumérico. Una se sitúa en la Consola del Supervisor, detrás del Pupitre de Control de los operadores. En Sala de Control existen otras dos dedicadas exclusivamente al SVEI y SVPS, y en el Centro de Apoyo Técnico otras dos. Por fin, se dispone de una última instalada sobre una consola móvil y susceptible de ser conectada en diversos puntos de la Sala de Control y Sala de Cabinas de Instrumentación.

Está prevista la instalación de copadoras de pantalla («hard copy») para permitir el registro instantáneo de cualquier imagen.

ACCESO A LOS GRAFICOS

El conjunto de gráficos disponibles en el sistema se dividen de la forma si-

guiente: Gráficos de los Sistemas Nucleares (50), Gráficos del Secundario y Auxiliares (50), Gráficos SVPS (17) y Gráficos SVEI (31).

Los gráficos de proceso, propiamente dicho, pueden ser de tipo numérico, tabla, barras o curva. Además, es posible la obtención de diagramas de tendencia de señales analógicas por medio del teclado.

Los gráficos pueden ser accesibles de diversas maneras, que permiten la obtención inmediata de un determinado sistema o información, sin necesidad de procedimientos engorrosos o de la utilización del código alfanumérico de cada uno.

Para ello se disponen de teclas dedicadas, en todos los teclados, una del Índice General de Gráficos, otras de Jerarquías de Funcionamiento y otras de Sistemas Específicos.

En particular existen las siguientes teclas dedicadas:

- SRR: Refrigerante del Reactor (Fig. 2)
- SCQV: Control Químico de Volumen
- GV/SAA: Generadores Vapor/Agua Alimentación
- SIS: Inyección de Seguridad
- VAPOR: Vapor Principal
- CONO: Condensado
- REFRIG: Sistemas de Refrigeración
- CVAA: Ventilación y Aire Acondicionado
- DES/RAD: Desechos Radiactivos y Radiación
- ELECTR: Sistemas Eléctricos (fig. 5)

Cada una de estas teclas permite al operador la obtención del primer gráfico del sistema correspondiente «encadenado» con los demás mediante un procedimiento de «página siguiente/página anterior».

Por medio de teclas auxiliares de paso de página se pueden obtener en pantalla, sucesivamente todos los gráficos relacionados en el sistema correspondiente.

Los sistemas SVEI y SVPS disponen de teclas dedicadas que permiten el acceso directo al gráfico resumen del nivel más alto de sus respectivas jerarquías.

El acceso por modos de operación constituye una fórmula novedosa de visualización de los distintos aspectos del proceso en función del estado de la central. A los modos de operación les corresponden otras tantas jerarquías de gráficos, accesibles mediante teclas dedicadas del mismo nombre:

- Operación Normal
- Parada Caliente
- Parada Fría
- Recarga
- Prueba de Arranque

Los gráficos están estructurados, para cada jerarquía, de acuerdo con una distribución multinivel, y teniendo en cuenta los gráficos más adecuados para cada modo de funcionamiento de la central.

El primer nivel de cada jerarquía se corresponde siempre con un gráfico resumen (tipo barra/tabla) con informaciones generales pero suficientemente representativas del estado del proceso para un modo de operación. A partir de este resumen se puede acceder a los gráficos de segundo nivel (fig. 6), mediante funciones de enlace, que se ejecutan posicionando el cursor en áreas concretas del gráfico y con ayuda de una tecla auxiliar. Estos gráficos de segundo nivel se corresponden, normalmente, con el primero o el más representativo de cada sistema. A partir de éste, los gráficos de tercer nivel se obtienen de la misma forma que la descrita anteriormente para las teclas dedicadas de sistemas específicos («página siguiente/página anterior»).

También es factible y útil el enlace entre sistemas complementarios o relacionados. Esto se realiza mediante áreas de enlace, realizadas en video inverso blanco, que indican los gráficos destino a los que se desea acceder de una forma inmediata (fig. 7).

OTROS ACCESOS

Alarmas.—Las pantallas de alarma de los operadores (Núcleo y Turbina)

muestran las sucesivas alarmas producidas en cada parte de la central. Los teclados contienen las correspondientes teclas de silencio, enterado, borrado y compactación de las alarmas en la pantalla.

Información de detalle de un punto.—Para cada punto disponible en la Base de Datos es posible obtener la información completa cargada en aquella como: tipo de sensor, frecuencia de exploración, rango, unidades de ingeniería, etcétera.

Tendencias, protocolos periódicos.—Desde el propio teclado, el operador puede solicitar la implementación de registros continuos de tendencia en pantalla, así como la impresión de protocolos periódicos de informaciones útiles.

SISTEMA DE VIGILANCIA DE ESTADOS INOPERABLES

(ver fig. 9)

Suplementando los procesos administrativos existentes, y siguiendo el espíritu de la Guía Reguladora 1.47, el objetivo de este Sistema es el de indicar de una forma automática en Sala de Control si cada uno de los trenes de los Sistemas de Salvaguardias indicados en la tabla, está en Condiciones de Operabilidad. Se entiende por este concepto que el Sistema en cuestión, está en condiciones de pasar de Funcionamiento Normal de la Planta a Condiciones de Accidente de una forma automática, una vez generada la Señal de Salvaguardia correspondiente.

Para cumplir este objetivo, el Sistema de Vigilancia de Estados Inoperables (SVEI) consta de una serie de elementos agrupados según se indica:

Equipo en campo

Lo componen todos los contactos primarios que detectan el estado de inoperabilidad de cada componente vigilado, así como la lógica cableada a nivel de cada uno de ellos para proporcionar en cabinas de entrada al Ordenador una señal de estado para los mismos. Se vigilan parámetros como posiciones de válvulas, desposibilidad de tensión para actuación de motores, solenoides y demás equipos, niveles, presiones y temperaturas, tanto de tanques como de líneas de proceso, caudales, posiciones de manetas y refrigeración de motores, siempre que estén comprometidos con la actuación del Sistema en Accidente.

Equipo del Ordenador

Lo componen las propias cabinas de entrada al mismo, el Sistema Infomático

en sí, y más específicamente, el teclado y TRC dedicados al Sistema y situados en el Cuadro de Control.

Programación del Ordenador

Existe un programa que reproduce para cada tren fluídico de cada Sistema de Salvaguardias, la lógica necesaria para que, a partir de la disponibilidad de cada uno de sus componentes, dicho tren pueda considerarse operable.

Un programa paralelo genera un gráfico (ver fig. 8) en pantalla que recoge toda la información (tanto intermedia como final) del primero. En este gráfico el operador puede identificar, para cada tren fluídico de cada Sistema, la causa, o causas, a nivel de componente, que generan la inoperabilidad, caso de producirse.

Existe un gráfico índice, que en condiciones normales estará en pantalla, y que permite al operador examinar el estado de todos los Sistemas Vigilados. Desde él y mediante el teclado, se podrá acceder a cada uno de los gráficos particulares de cada Tren y Sistema.

F. IX

SISTEMAS DE SEGURIDAD SUPERVISADOS POR SVEI

- Inyección de seguridad alta presión.
- Inyección de seguridad baja presión.
- Inyección de seguridad acumulaciones.
- Recirculación alt/baj pres ram frías.
- Recirculación alt/baj pres ram cal.
- Rociado de contención.
- Agua de alimentación auxiliar.
- Agua alimentación auxiliar-turbobomba.
- Generadores diesel de emergencia.
- Aislamiento generadores de vapor.
- Aislamiento de la contención.
- Agua refrigeración de componentes.
- Refrigeración servicios esenciales.
- Agua esencial enfriada.
- CVAA edificio de control.
- CVAA edificio generadores diesel.
- CVAA edificio combustible.
- CVAA edificio auxiliar.
- Enfriamiento contención.
- Recombinadores hidrógeno.

CENTROS DE RESPUESTA EN EMERGENCIA

El sistema de Ordenador de la central, integra en su estructura y capacidad, los requisitos que, a raíz del incidente de Three Mile Island, la NCR indica de obligado cumplimiento para licenciamiento mediante la NUREG-0696.

El ordenador dispone, como se ha indicado en el apartado anterior, de dos pantallas TRC en el Centro de Apoyo Técnico (CAT), que se encuentra en una sala contigua a la del ordenador, y próxima a la Sala de Control. Una de ellas estaría dedicada a la visualización del Sistema de Vigilancia de Parámetros de Seguridad (SVPS) y otra a accesos diversos de datos, gráficos de proceso, SVEI, etc.

Se dispone, además, de dos unidades de disco de cabeza móvil, para almacenamiento masivo de datos, de gran importancia para la interpretación de las causas de hipotéticos accidentes.

Es posible disponer del Enlace de Datos Nuclear, que permita conectar las informaciones existentes en el ordenador con un previsto Centro de Operaciones de Emergencia (COE).

La función más importante para la respuesta durante emergencias es visualización de los Parámetros de Seguridad (SVPS).

Hay que tener en cuenta, que al ser el sistema de ordenador integrado desde el Centro de Apoyo Técnico se tiene acceso a toda la base de datos.

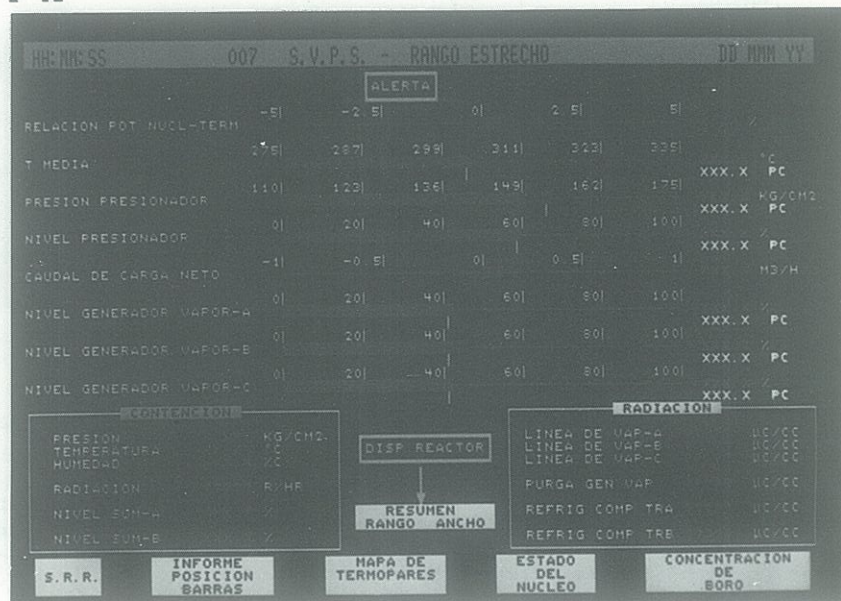
VISUALIZACION DE LOS PARAMETROS DE SEGURIDAD

El sistema SVPS consiste en un conjunto de gráficos que tienen por misión ayudar al operador de la central en la interpretación de transitorios y accidentes, permitiéndole establecer el grado correcto de seguridad durante esas situaciones.

El conjunto de gráficos SVPS está organizado como una jerarquía multinivel, del tipo de la descrita para los gráficos de proceso. El grado de seguridad de la central se evalúa de acuerdo con las funciones de seguridad establecidas por la NRC:

1. Control de Reactividad.
2. Refrigeración del Núcleo y Evacuación de Calor del Primario.
3. Integridad del Refrigerante del Reactor.
4. Control de emisión radiológica.
5. Integridad de la Contención.

F X



Estas funciones se han implementado mediante diagramas combinados de barras y tablas en dos gráficos resumen (Rango Estrecho y Rango Ancho), a partir de los cuales es posible el acceso a otros de mayor detalle dentro de la jerarquía, que muestran al operador la magnitud de la emergencia, al tiempo que le ayudan a la actuación de las operaciones de emergencia subsiguientes (fig. 10).

El primer modo de visualización del SVPS (Rango Estrecho) está activo mientras al central se encuentra en operación normal, y muestra pequeños transitorios que no dan como resultado el disparo del reactor y para los cuales el operador puede ejercer acciones correctoras inmediatas.

El modo de Rango Ancho se activa como consecuencia de un disparo del reactor o de la actuación de salvaguardias.

Este modo visualiza el estado de seguridad de las condiciones de disparo, la operación de los sistemas de salvaguardias y el estado de las barreras de emisión radiactiva.

CONCLUSION

En esta breve discusión de la utilización de los ordenadores de proceso en las centrales nucleares, se ha tratado de dar una visión general de la evolución de las máquinas, poniendo de manifiesto la importancia, cada día mayor, que adquieren los ordenadores como ayuda importante en la operación de las cen-

trales y como elementos de apoyo a las funciones de seguridad.

Un aspecto muy importante que hay que destacar, es que en el desarrollo y definición del sistema que se ha descrito, ha existido una participación técnica española valiosísima, pasándose de la mera utilización de «mano de obra técnica» a una aportación tecnológica real y creativa, lo que capacita a la ingeniería española para diseñar, e implementar sistemas de ordenador de gran envergadura.

En el futuro, los ordenadores llegarán a tomar decisiones de control y protección en las centrales nucleares. Los sistemas podrán ser distribuidos o centralizados, en cualquier caso los conceptos de redundancia, separación de trenes, cualificación sísmica y ambiental, etc. habrán de ser incorporados a las máquinas del futuro. La generación presente de ordenadores representan una situación intermedia, que, manteniendo el control de la central en manos de los operadores, aglutinan prácticamente toda la información de la central en las pantallas de tubos de rayos catódicos, facilitando inmensamente la tarea de los operadores de reactor y de turbina.

Con la incorporación de los Centros de Emergencia (Centro de Apoyo Técnico, Centro de Información fuera de obra, etc.) la misión del ordenador es aún más importante, ya que incluyen funciones de seguridad y facilitar de manera inmediata los datos necesarios para el análisis de cualquier tipo de incidente en centros técnicos alejados de los centrales.