

CN TRILLO I



Francisco Javier DOMINGO BLANQUEZ es Ingeniero Industrial por la ETSII de Madrid (1972).

Iniici su actividad profesional en Westinghouse, S.A., donde trabajó hasta mayo de 1976. En esta fecha se incorporó a la organización de C.N. Trillo como Jefe de Ingeniería Eléctrica. Desde 1980 es Jefe de Ingeniería del Proyecto de Trillo, responsabilidad en la que continúa actualmente.



Enrique LARREA BELLOD es Licenciado en Ciencias Físicas con Premio Extraordinario por la Universidad Autónoma de Madrid (1974). Doctor en Física con Premio Extraordinario por la Universidad de Santiago de Compostela (1981) y Diplomado en Ingeniería Nuclear por el Instituto de Estudios Nucleares (1977).

Ha seguido varios cursos de especialización en el extranjero, ICAI, ITP, habiendo participado en varios congresos y realizado diversas publicaciones. En 1977 se incorporó al equipo de proyecto de la C.N. Regodola, y desde 1981 presta sus servicios en el Departamento de Ingeniería de C.N. Trillo.

CONCEPTO INTEGRADO DE LA INSTRUMENTACION Y CONTROL DE CN TRILLO I

Francisco J. DOMINGO y Enrique LARREA BELLOD

INTRODUCCION

Como en todas las centrales nucleares, la seguridad nuclear tiene la máxima prioridad en la ejecución de las técnicas de instrumentación y control. En el caso de CN TRILLO I se conjugan además requisitos de seguridad muy elevados y de alta disponibilidad de operación, existiendo una amplia interrelación entre las técnicas de seguridad y de servicio.

La instrumentación y control de CN TRILLO I está diseñada de acuerdo con un concepto integrado de actuaciones escalonadas respecto a la seguridad. La idea es utilizar equipos de control redundantes que actúen en caso de pequeñas perturbaciones de forma progresiva y escalonada a diferentes límites, establecidos con objeto de retornar las variables operacionales a sus valores normales antes de que evolucionen hacia valores que requieran la actuación extrema de los sistemas de protección.

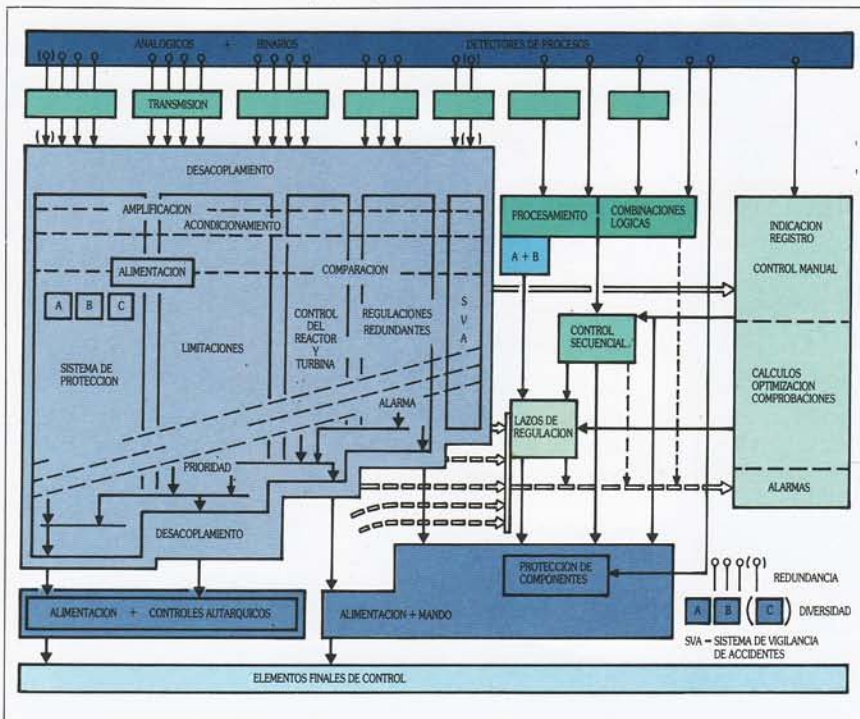
En la figura 1 se representa de forma esquemática la organización general de la I&C de CN TRILLO I. De arriba abajo se representa el flujo de procesamiento de las señales desde los detectores hasta los actuadores. De izquierda a derecha se representan los diferentes sistemas de I & C ordenados de acuerdo

a su importancia para la seguridad: sistemas de seguridad, sistemas de limitaciones, sistema de regulación del reactor y otras regulaciones redundantes importantes para la operación de potencia, y el sistema de instrumentación de accidente. A continuación están los sistemas operacionales de control de grupos funcionales y secuencial, sistemas operacionales de control cerrado, protecciones de equipos, sistemas de suministro de energía y, por último, la sala de control con sus sistemas de información. De todo ello trataremos de dar una visión global comentando algunos de sus requisitos de diseño y aspectos diferenciales de CN TRILLO I con respecto a otros PWR instalados en España.

BASES DE DISEÑO

La instrumentación y control de CN TRILLO I, básicamente idéntica a la de una central PWR de la RFA de la última generación diseñada por Kraftwerk Union (KWU), se ha diseñado de acuerdo con las exigencias de licenciamiento establecidas en la República Federal Alemana. Estas exigencias están formuladas en los criterios del BMI (Ministerio del Interior de la RFA), las guías de seguridad RSK (comisión para la seguridad de los reactores) y las normas KTA (las cuales

FI Sistemas de instrumentación y control.



definen los diferentes grados de seguridad y dan los respectivos requerimientos). En la fig. II se resumen las funciones y las características de diseño de los principales sistemas de control en cuanto a sus exigencias de seguridad y fiabilidad.

Las diferencias más importantes con relación a otros PWR no diseñadas por KWU son la introducción de:

- Diversidad de canales de iniciación del Sistema de Protección del Reactor (RPS) para cada suceso importante postulado en los análisis de seguridad.
- Criterio de fallo único, el cual requiere que se controle el suceso simultáneo de fallo único y reparación (fig. III).
- Degradación de las condiciones de operación para sucesos con pequeñas consecuencias (ver imitaciones).
- Actuaciones manuales como acciones de protección deberán ser una excepción y no necesitarán efectuarse antes de treinta minutos después de iniciarse un accidente.

Requisitos operacionales

Cumpliendo con las mismas exigencias que establece la red alemana para sus centrales nucleares, el sistema de control de CN TRILLO I está diseñado para controlar rampas continuas de potencia de $\pm 2\%/mín.$, $\pm 5\%/mín.$ y $\pm 10\%/mín.$, en rangos de potencia del 80 %, 50 % y 20 %, respectivamente, y escalones de $\pm 10\%$ (ver Características Operacionales).

Los requisitos de cambio de carga incluyen también la capacidad de arranques rápidos después de disparos del reactor, así como reducciones rápidas de potencia para evitar disparos después de sucesos operacionales esperados, tales como aislamiento de la planta de la red o pérdida de una bomba principal o de agua de alimentación. Estas reducciones rápidas de potencia son efectuadas por el sistema de limitaciones mediante la inserción predeterminada de varias barras de control, conduciendo la planta a un estado que es el correspondiente a una potencia aproximada del 45 % del reactor.

En situaciones de accidente, las medidas deben ser iniciadas automáticamente, de manera que el operador no necesite intervenir antes de treinta minutos.

Características generales

En la CN TRILLO I se han definido las denominadas áreas seguras (Edificio de Alimentación de Emergencia, Edificio del Reactor y Edificio Eléctrico) para alojar en ellas la instrumentación y control que deba permanecer operable en caso de incidencias externas como el terremoto y la onda de presión. Los sistemas de I & C relacionados con la seguridad, son alojados en cuatro áreas separadas físicamente en el edificio eléctrico, así como en el edificio de alimentación de emergencia.

Una característica diferenciadora de la I & C de TRILLO I es el empleo de circuitos electrónicos de bajo voltaje

Sistema	Funciones de protección	Tareas	Características
Sistema de protección del reactor	Actuaciones automáticas para evitar consecuencias inaceptables en un período de tiempo corto.	Detectar accidentes e iniciar contramedidas: - Disparo del reactor. - Evitar liberación de actividad. - Refrigeración de emergencia. - Evacuación de calor.	- Diversidad funcional de canales de iniciación o diversidad de equipos de medida. - Redundancia $2 \times (2V3)$. - Autodetección de fallos.
Limitaciones (p. e. limitación de potencia y de barras)	Actuaciones automáticas para evitar o mitigar las consecuencias de sucesos.	Detectar anticipadamente perturbaciones y accidentes e iniciar contramedidas inteligentes: - Limitación de potencia. - Limitación de parámetros de seguridad. - Evitar rotura frágil de la vasija.	- Redundancia $2V4$. - Prioridad sobre los sistemas operacionales. - Diversidad no es requerida en las limitaciones de protección si las consecuencias son pequeñas. - Autodetección de fallos. - Actuación escalonada.
Sistemas de información y acciones manuales.	Acciones manuales para conducir la planta a condiciones seguras, mantener éstas y limitar las consecuencias de fallos.	Diagnosticar la situación e iniciar medidas para aislar componentes, conectar sistemas o tomar precauciones.	- Redundancia $1V2$ en alarmas de seguridad. - Redundancia funcional. - Presentación de información ergonómica. - Manejo simplificado.

F II Características de los sistemas de I & C en relación con la seguridad.

(24 V.), los cuales son protegidos contra sobretensiones internas mediante un concepto de desacoplamiento por la creación de islas de I & C. Además para prevenir contra perturbaciones externas, todos los edificios que contienen sistemas de I & C están protegidos en el interior de «Jaulas de Faraday» incorporadas en el diseño civil de los edificios.

Los valores analógicos detectados por los sensores, se transforman en corrientes de 0 a 20 mA mediante transductores. Las señales son acondicionadas en un distribuidor de señales analógicas de forma que la desconexión de un simple receptor no afecte al circuito de medida.

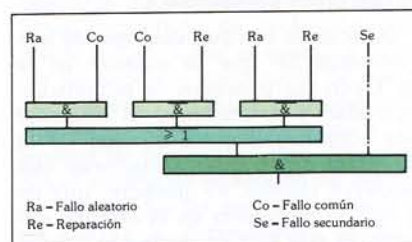
La alimentación de corriente a los sistemas importantes para la seguridad está garantizada mediante un suministro dos veces redundante: 2×4 baterías para corriente continua, y 2×4 diesel para corriente alterna (redes de salvaguarda y emergencia).

INSTRUMENTACION Y CONTROL DE SEGURIDAD

Concepto integrado de la seguridad

El concepto integrado de I & C de la CN TRILLO I, se basa en el principio de actuaciones escalonadas respecto a la seguridad.

La idea es utilizar equipos redundantes y diversos que actúen de forma progresiva y escalonada cuando las variables controladas se desvíen del valor deseado. En primer lugar, cuando las variables se desvían de las condiciones de operación normal, los sistemas de control operacionales entran en acción tratando de retornar las variables a sus valores normales de una forma optimizada de acuerdo con las condiciones de la planta. Por encima de las actuaciones de estos sistemas normales de operación, existen uno o varios niveles de



F III Combinación fallos postulados.

limitaciones que pueden actuar para evitar que las variables sigan evolucionando hasta valores de peligro que requieran la actuación del sistema de protección del reactor, impidiendo, por tanto, que un pequeño suceso operacional se degrade en una perturbación operacional importante. En cada nivel de actuación, las acciones iniciadas tienen como finalidad terminar con el suceso perturbador, y retornar las variables al sistema de control de operación normal.

Como se muestra en la Fig. II, existen diferentes niveles de exigencia en cuanto a la disponibilidad de los sistemas de I & C, en relación a sus funciones y a su importancia relativa a la seguridad, que, por otra parte, están en relación inversa con el grado de inteligencia de las actuaciones que inician.

La mayor parte del sistema de Protección del Reactor es diseñado con lógica $2 \times (2V3)$, mientras que las limitaciones tienen una lógica $2V4$. Los sistemas relacionados con la seguridad tienen prioridad sobre las acciones manuales y órdenes del sistema de regulación.

En la Fig. I, como ya se ha indicado se muestran los sistemas de I & C de la CN TRILLO I ordenados de izquierda a derecha de acuerdo al grado de importancia de sus actuaciones con relación a la seguridad. Sin entrar en los detalles de los principios de diseño relativos a la

seguridad, se pueden resumir como características generales de esta ordenación:

- *Gradación* de los sistemas de I & C con respecto a la seguridad y, por tanto, con respecto a las exigencias de fiabilidad y cualificación (incluyendo desde los sistemas altamente fiables, pero poco inteligentes como el sistema de protección del reactor, hasta los sistemas altamente inteligentes, pero menos fiables como el sistema de control de reactor).
- *Principio de actuación progresiva*; iniciándose actuaciones escalonadas de intensidad creciente de acuerdo con el grado de la perturbación.
- *Concepto global de control de perturbaciones*, en el que varios sistemas o limitaciones pueden actuar simultáneamente.

Actuaciones del operador

De acuerdo con este concepto de alta automatización que se muestra en la fig. 1, con sus principios de prioridades, diversidad y redundancia, el operador está considerablemente aliviado de la necesidad de efectuar actuaciones que requieran rapidez. El operador, que en la fig. 1 se representa en el extremo derecho, es más bien en operación normal un supervisor y optimizador de los controles del sistema de regulación, ajustando los parámetros variables para la operación anticipada. En situaciones de accidente, las contramedidas son iniciadas automáticamente, de manera que el operador no necesita intervenir antes de 30 minutos. De esta forma, puede previamente analizar lo que está sucediendo, y elegir la estrategia adecuada o solicitar ayuda exterior.

Limitaciones

Las limitaciones, son un dispositivo especial introducido de acuerdo con el concepto integrado de I & C, que tiene funciones («Grises») relacionadas con la seguridad entre las del Sistema de Protección del Reactor («Negras») y las de los Sistemas de Control Operacional («Blancas»). Actúa de forma escalonada con contramedidas de intensidad creciente en proporción a la desviación de las variables controladas.

El sistema de limitaciones está diseñado para:

- Iniciar actuaciones de seguridad anticipadas en vez de disparos, aumentando la disponibilidad de la planta.
- Asegurar las condiciones iniciales definidas en los análisis de seguridad.
- Reducir la probabilidad de error humano, minimizando las ocasiones y dando confianza al operador.
- Contribuir a un trato más cuidadoso de la planta suavizando los transitorios y evitando tensiones en los componentes, al anticiparse a los disparos mediante reducciones rápidas de potencia.

En caso de cambios de carga rápidos y arranques, las limitaciones complementan las actuaciones del Sistema de Control del Reactor, protegiendo a éste y reduciendo a un mínimo las acciones del operador.

Las limitaciones no solo ayudan a reducir los tiempos de fuera de servicio, sino que también dan confianza al operador, ya que en caso de un error humano éstas llevan automáticamente primero a una reducción continuada de potencia, luego a una reducción rápida de potencia y solamente al final a un disparo.

INSTRUMENTACION Y CONTROL DE SERVICIO

Concepto de control y automatización

La instrumentación y control de servicio permite esencialmente el funcionamiento óptimo de la planta en su estado normal. En algunos sectores trabaja bajo determinados requisitos colaborando con la instrumentación y control de seguridad.

Uno de los cometidos esenciales de la instrumentación y control de servicio es descargar al personal mediante la automatización de procesos parciales. Los sistemas de protección, de control y los lazos de regulación controlan de forma automática determinadas partes de la planta. Las vigilancias automáticas observan, comunican y documentan.

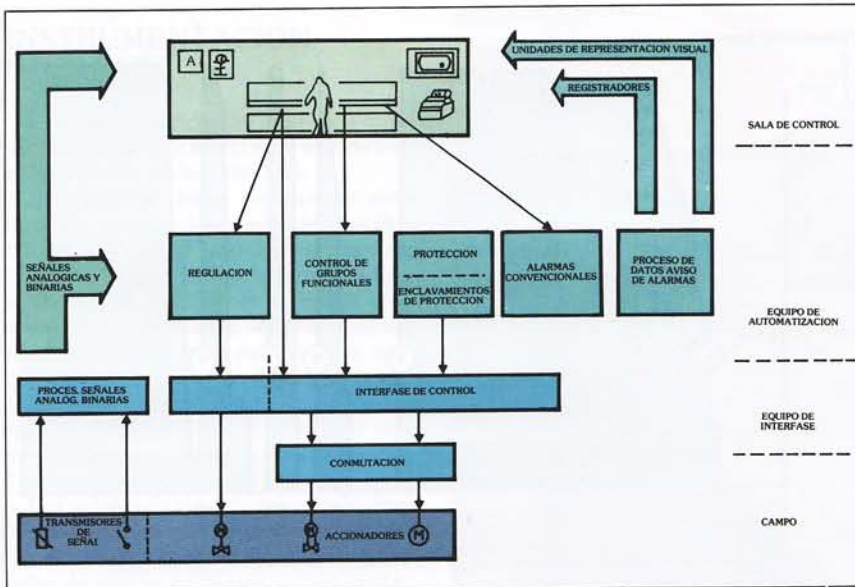
Otro de los cometidos de la instrumentación y control de servicio es el de informar al personal de operación sobre el estado de la planta, en conjunto y en detalle.

Si se desea que la central se pueda arrancar y parar sin más intervención que un operador desde la sala de control, se requiere un gran volumen de automatismos para observación y maniobra. Por ejemplo, en CN TRILLO I se encuentran totalmente automatizados las siguientes funciones y sistemas:

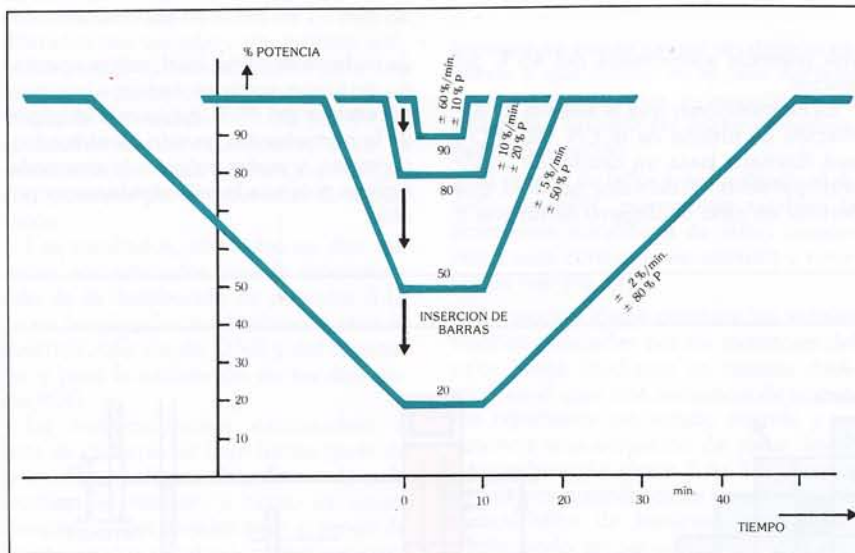
- Procesos operativos que permitan dominar automáticamente perturbaciones. Por ejemplo, conmutaciones a equipos de reserva en caso de perturbación: como entrada de la tercera bomba de A. Alimentación, en caso de fallo de una de las dos de servicio ($3 \times 50\%$).
- Procesos operativos cuyo desarrollo normal ocupa un tiempo muy largo, y que, por tanto, exigen la atención del personal del puesto de control durante un tiempo excesivamente largo. Por ejemplo, calentamiento inicial de la turbina.
- Procesos operativos, que en caso de variación de carga, exigen variar la utilización de los medios de producción. Por ejemplo, conexión y desconexión de las bombas de agua de alimentación en función de la carga.
- Procesos operativos que se repiten periódicamente y que exigen bastante tiempo y personal. Por ejemplo, pruebas de controles de grupos funcionales.
- Sistemas que durante un tiempo prolongado deben trabajar sin atención constante. Por ejemplo, desmineralización del condensado.
- Sistemas que en caso de fallo influyen sobre la disponibilidad de la planta. Por ejemplo, precalentadores.
- Sistemas, que debido a su complejidad, exigen excesiva atención para ser dominados por el personal. Por ejemplo, tratamiento de condensado.

Módulos electrónicos de instrumentación y control.



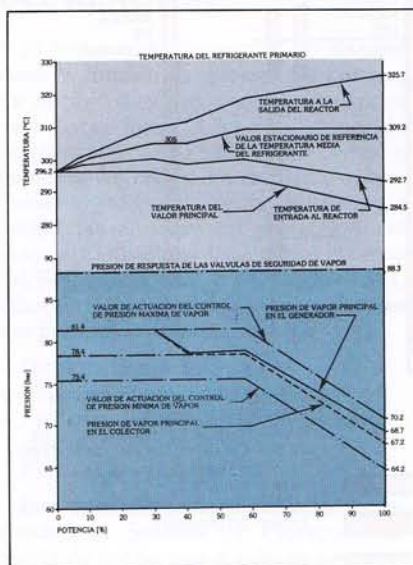


FIV Organización de la instrumentación y control de Servicio.



FV Capacidad de Seguimiento de carga.

FVI Diagrama de carga parcial estacionario.



Características básicas de la automatización de servicio

La automatización de servicio, que funciona según el principio de control abierto, tiene una estructura jerárquica descentralizada. En la Fig. IV se resume el ordenamiento jerárquico del sistema de control de servicio, en el que se pueden distinguir tres niveles fundamentales:

- La sala de control.
- El control secuencial de grupos funcionales, los enclavamientos de protección y los lazos de regulación.
- La interfase de control.

La interfase de control, que representa el nivel más bajo en la estructura jerárquica, es una interfase modular y estandarizada, que se encarga de procesar las órdenes manuales, las señales de control secuencial y de los enclavamientos de protección que actúan sobre los componentes, y asimismo, acondiciona

los retroavisos procedentes del elemento mandado en campo. Existen tres tipos de módulos estándar para la interfase de control, de acuerdo con el tipo de actuador: motores eléctricos, actuadores de válvulas, o válvulas solenoides.

La automatización de servicio de la CN TRILLO I está basada en el concepto fundamental de grupo funcional. Un grupo funcional, es definido, como un conjunto de componentes que realizan una tarea específica (p. e., suministro de agua de alimentación, suministro de aceite a la turbina, etc.). Cada grupo funcional se divide en uno o más subgrupos dependiendo del número de funciones redundantes en el grupo. La lógica de cada subgrupo es idéntica, y cada subgrupo tiene su propio programa de arranque y parada.

Los equipos de la planta incorporan dispositivos de vigilancia y protección para evitar daños importantes en ellos derivados de pequeñas perturbaciones. Estos dispositivos de protección solamente actúan sobre el equipo a proteger llevándolo a condiciones de operación segura, y no están interconectados con los procesos. Por otra parte, los equipos de protección están subordinados al sistema de protección del reactor, de manera que las acciones protectoras no afectan la disponibilidad requerida de los sistemas y acciones de seguridad.

La automatización de servicio, está basada en la tecnología electrónica IS-KAMATIC de KWU, con excepción de los lazos de regulación, para los que se emplea el sistema CONTRONIC 3 de Hartman & Braun.

CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES

Capacidad de seguimiento de carga

La CN TRILLO I siguiendo las recomendaciones de la Asociación de la red de la RFA, es una central nuclear diseñada para poder operar en el modo de seguimiento de carga. En la Fig. V se muestra cuáles son sus capacidades para esta modalidad de operación. La CN TRILLO I es capaz de seguir rampas especificadas del $\pm 2\%/min.$, $\pm 5\%/min.$, $\pm 10\%/min.$, en rangos de potencia del 80 %, 50 % y 20 % respectivamente, y escalones de $\pm 10\%$ (con 60%/min.), cada cinco minutos.

Para poder cumplir con las anteriores especificaciones la CN TRILLO I opera con un diagrama de carga parcial que mantiene la temperatura media del refrigerante primario constante entre el 50 % y el 100 % del rango de potencia (Fig. VI).

Es de mencionar también que la CN TRILLO I está dotada de un sistema de control de potencia del generador que le permite controlar la frecuencia de la red con una característica de estatismo de hasta el 8 %.

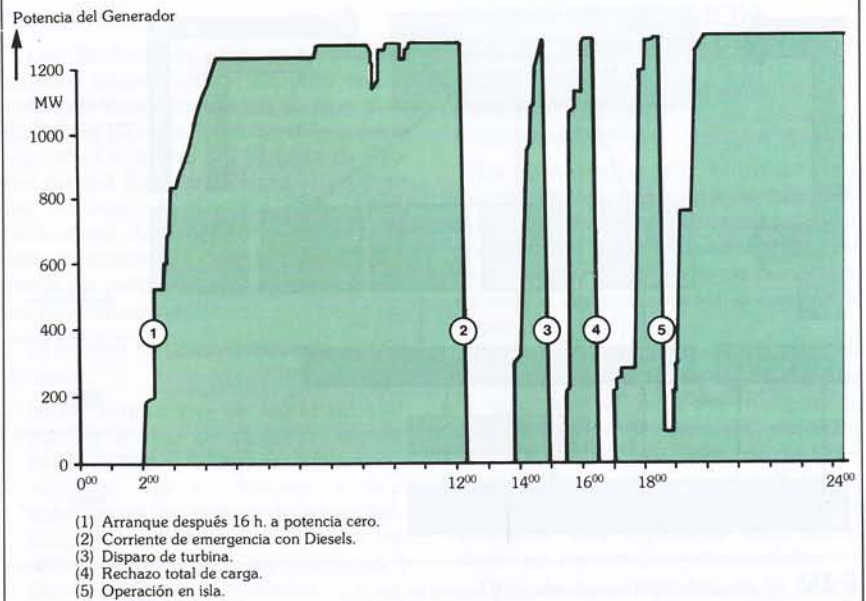
Capacidad de arranque

La CN TRILLO I, al igual que otras centrales PWR del tipo KWU, es capaz de efectuar arranques múltiples desde potencia cero a plena potencia en cortos períodos de tiempo. En la Fig. VII se muestra como ejemplo un diagrama representativo de las pruebas efectuadas en una Central de KWU. En el caso de disparo de turbina, la central es capaz de recuperar su nivel de plena potencia en tan sólo 35 minutos.

Respuesta a sucesos operacionales esperados

Además de las anteriores capacidades de arranques rápidos a plena potencia, se requiere también una respuesta optimizada de la planta ante malfunciones internas de forma que no lleven a una pérdida desproporcionada de potencia.

Los requisitos de cambio de carga incluyen también la capacidad de efectuar reducciones rápidas de potencia para evitar disparos después de sucesos operacionales esperados, tales como aislamiento de la planta de la red o pérdida de una bomba principal o de agua de alimentación. Estas reducciones rápidas de potencia son efectuadas por el sistema de limitaciones mediante la inserción predeterminada de varias barras de control, conduciendo la planta a un estado estable que es el correspondiente a



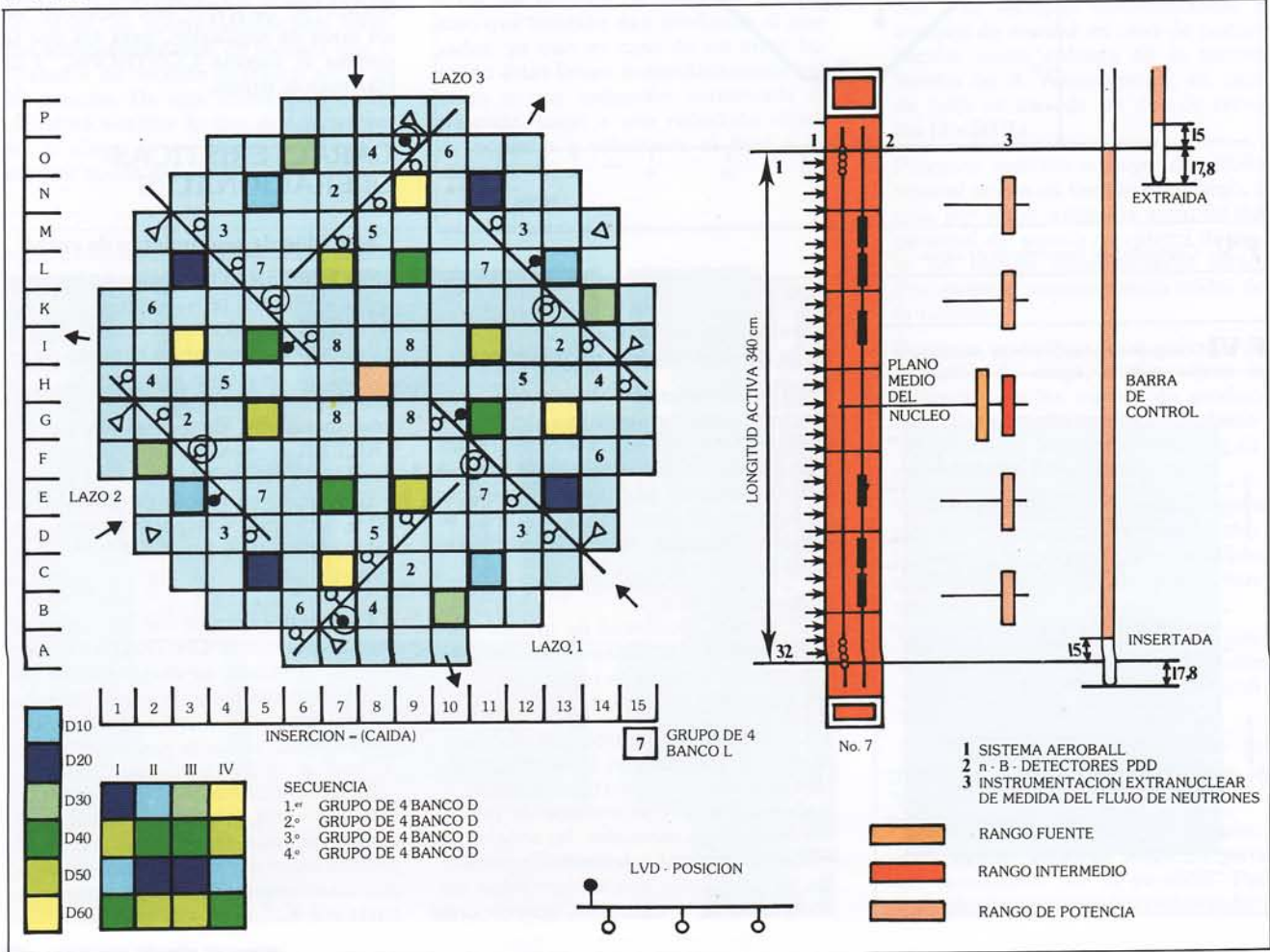
F VII Pruebas de arranques múltiples en una Central KWU.

una potencia aproximada del 45 % del reactor.

Es de mencionar que el sistema de derivación de turbina de la CN TRILLO I está diseñada para un caudal de vapor principal del 65 % del valor nominal, que permite en caso de disparo de turbina o

de rechazo de carga total, seguir operando de forma continua con una potencia del reactor del 40 %, hasta que el origen de la perturbación ha sido identificado y corregido, y poder volver a la operación a plena potencia lo más rápidamente posible.

F VIII Instrumentación Nuclear.



INSTRUMENTACION NUCLEAR¹

Una característica que diferencia a las centrales PWR de KWU es el tipo de instrumentación nuclear utilizada.

La instrumentación intranuclear está formada por 36 detectores de distribución de potencia (PDD) que operan de forma continua. Son detectores del tipo self-powered con Co como emisor y se encuentran localizados en seis cadenas situadas en diferentes puntos de la sección del núcleo con seis detectores cada una, colocados axialmente de forma no equidistante (Fig. VIII). Sus señales son procesadas por el sistema de limitaciones y el sistema de control del reactor.

Las señales de los detectores de instrumentación nuclear son vigiladas de forma automática contra fallos y corregidas antes de que se inicie una acción posterior.

El sistema de aerobolas consiste en 24 tubos guías a través de los cuales puede ser transportada mediante nitrógeno una columna de bolas de acero de 1,7 mm de diámetro con vanadio como isótopo activable, bien al núcleo del reactor para una irradiación durante tres minutos, o bien a la sección de medida formada por 4 x 32 detectores de semiconductor, para la determinación de su activación y evaluación posterior por el ordenador de supervisión.

Los resultados, obtenidos en diez minutos, son utilizados para la determinación de la distribución de potencia 3 D, de los factores de canal caliente y pico de potencia, cálculo del DNB y del quemado, y para la calibración de los detectores PDD.

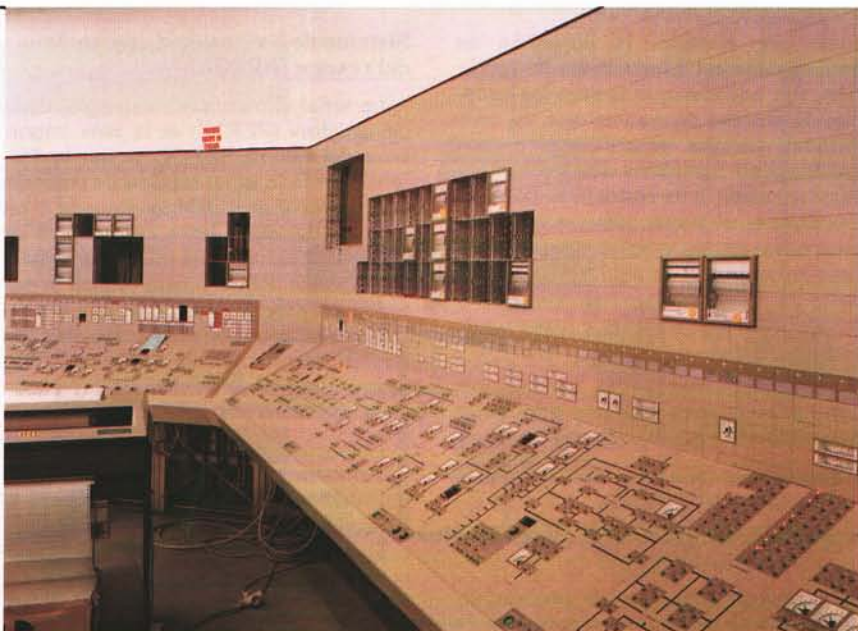
La instrumentación extranuclear a base de cámaras de boro forma parte de la sección analógica del sistema de protección del reactor, y como es usual, comprende dos canales para el rango de fuente, cuatro canales logarítmicos para el rango intermedio y cuatro canales para el rango de potencia.

SISTEMA DE PROTECCION DEL REACTOR

El Sistema de Protección del Reactor tiene la función de generar los criterios de disparo (valores límites) requeridos para hacer frente a las condiciones de accidente en cortos períodos de tiempo y combinar los resultados mediante operaciones lógicas para formar señales que inicien las acciones de protección del reactor. El diseño se basa en los criterios del BMI, Guías RSK y en la KTA 3501, edición 1977. Las acciones necesarias son principalmente orientadas a:

- Disparo del reactor.
- Impedir la liberación de actividad.
- Efectuar la refrigeración de emergencia.
- Evacuar el valor residual.

Por razones de disponibilidad y de seguridad, el Sistema de Protección se diseña de forma que el fallo de un com-



Detalle de los paneles en la sala de control.

ponente no puede causar un disparo espúreo, y que incluso en el caso del fallo de dos componentes independiente no se puedan impedir las acciones necesarias de protección.

El criterio de fallo, único aplicado al diseño del SPR, comprende también la ocurrencia simultánea de fallos (aleatorios, causa común o secundario) y reparación (ver Fig. III).

La sección lógica combina las señales binarias generadas por los monitores del valor límite, mediante un sistema dinámico en el cual una secuencia de impulsos representa un estado normal y su ausencia una actuación de valor límite. La combinación lógica 2 de 3 se efectúa en núcleos magnéticos de ferrita con una característica de histéresis rectangular combinando las secuencias de impulsos de entrada, de forma que tan sólo se genera una secuencia con impulsos a la salida si están presentes al menos dos de las tres secuencias de impulsos de entrada. Mediante este sistema dinámico de impulsos se logra una continua autovigilancia, ya que cualquier fallo se traduce inmediatamente en una perturbación en la secuencia de impulsos que es inmediatamente anunciada.

Con relación a la sección de actuación es de mencionar que la desenergización de las barras de control se efectúa mediante un sistema de relés de seis contactos y la actuación sobre componentes de seguridad se efectúa mediante módulos de prioridad en el nivel de control de 24 voltios.

El Sistema de Protección del Reactor está dividido en las siguientes secciones:

- Sección analógica de adquisición de las medidas.
- Sección lógica, para la formación de los valores límites y combinaciones lógicas para generar las señales de disparo.
- Sección de actuación.

La sección de medida cubre la adquisición de los valores de medida desde los sensores hasta los monitores de valor límite. La adquisición de las variables de medida se efectúa en forma redundante, bien utilizando variables de proceso diversas, o bien utilizando aparatos de medida diferentes para una misma variable de proceso.

Los canales de medida son vigilados continuamente respecto a posibles fallos mediante comparadores. Debido a la redundancia, un fallo en un canal de medida es detectado siempre por dos comparadores. El anuncio de fallos es visualizado en el panel del Sistema de Protección del Reactor.

Para garantizar la disponibilidad del Sistema de Protección del Reactor y de las limitaciones, dentro de los márgenes prescritos, la parte electrónica que no forma parte del sistema dinámico de impulsos, es probada periódicamente por medio de un ordenador de pruebas, lo cual aumenta la fiabilidad.

SISTEMAS DE LIMITACIONES

Como ya se ha comentado en la sección, una característica de la CN TRI-LLO I es el uso extensivo de limitaciones que cubren el rango de actuaciones entre el área operacional de los sistemas de regulación y el Sistema de Protección del Reactor.

Las limitaciones combinan las características de inteligencia de los sistemas de regulación operacionales y la alta disponibilidad del Sistema de Protección del Reactor. De acuerdo con la KTA 3501, cada limitación puede ser clasificada desde el punto de vista de licencia como limitación de protección o limitación de condición. Limitaciones de protección son aquellas que inician actuaciones para que las variables de seguridad vuelvan a sus valores normales de operación,

como por ejemplo, la limitación de potencia integral. Limitaciones de condición, son aquellas que limitan las variables de proceso de manera que, las condiciones iniciales especificadas en los análisis sean cumplidas. Puesto que las exigencias son más restrictivas para las limitaciones de protección, y a veces determinadas limitaciones se pueden clasificar en ambos tipos según la situación, todas las limitaciones se han diseñado de acuerdo con los criterios de limitaciones de protección.

Todas las limitaciones pueden ser agrupadas en tres sistemas principales de acuerdo con sus funciones:

- Sistema de limitación de la potencia del reactor (REPOL).
- Sistema de limitación del movimiento de barras (BAMOL).
- Sistema de limitación de presión, inventario de refrigerante y gradiente de temperatura (PITEL).

El REPOL es suplementado por:

- El sistema de vigilancia de potencia local (LPS), que procesa las señales de la instrumentación intranuclear como entrada para el REPOL.
- El sistema de caída de barras (RO-DROP), que procesa las señales del REPOL para permitir la caída de barras.

Para ejecutar las señales de actuación, el sistema de control de barras genera una secuencia de impulsos para el control de los accionadores de las barras, y realiza el control jerárquico de las órdenes de accionamiento en orden de prioridad. Las órdenes de los sistemas de limitación tienen prioridad sobre los controles de regulación y sobre las órdenes manuales. Por esta razón, no es posible sacar de servicio los sistemas de limitación desde la sala de control.

Sistema de limitación de potencia del reactor (REPOL)

La señal «Potencia máxima permitida del reactor» (PERM), es la más importante del sistema REPOL, ya que la diferencia entre la señal medida de potencia del reactor y el PERM es enviada a un monitor de valor límite con valores de disparo crecientes para iniciar las señales de actuación REPOL para reducir la potencia del reactor de acuerdo con el concepto de actuaciones escalonadas. El REPOL comprende las siguientes limitaciones que actúan en caso de desviación de la operación normal:

- Potencia integral.
- Temperatura del primario.
- Presión del primario combinado con el nivel del presionador.
- Densidad de potencia en la mitad superior del núcleo, limitada para mantener márgenes frente a PCI, DNB, LOCA.
- Densidad de potencia en la mitad inferior del núcleo limitada por PCI, DNB.
- Velocidad de las bombas principales.
- Reducción de caudal de agua de alimentación.
- Control de posición de barras.

La potencia permitida del generador es limitada también de acuerdo con las acciones del REPOL.

En la fig. IX se esquematizan las principales actuaciones del sistema de limitación de potencia.

Sistema de limitación de movimiento de barras (BAMOL)

El sistema de limitaciones de movimientos de barras es diseñado para asegurar el margen necesario de reactividad de parada en caso de disparo.

En vez de la variable no medible de reactividad de parada, se supervisa la distancia de inserción mínima de las barras de control. Las posiciones de las

barras de control son medidas de forma digital y analógica, cuya discordancia reduce la potencia máxima permitida del reactor. Los valores límites de posición del banco D, con valores crecientes de actuación, inician el bloqueo de la inyección de agua desmineralizada, o la inyección de ácido bórico por los sistemas operacionales o de operación de emergencia. Los valores límites de posición del banco L bloquean la inyección de agua desmineralizada y la inserción de éste. Por otra parte, el BAMOL también impide que se inyecten en el primario concentraciones de boro mayores que la subcrítica caliente.

Limitación de presión, inventario y gradiente de temperatura (PITEL)

El PITEL comprende aquellas limitaciones de las variables de proceso del primario que no influyen en la potencia del reactor.

La limitación de presión mantiene la presión en valores operacionales normales, en función de la temperatura de entrada al reactor durante la operación normal o el arranque y parada, así como en sucesos operacionales esperados. Además incorpora el diagrama de rotura frágil de la vasija, supervisando que no se sobrepase éste, especialmente durante las pruebas hidrostáticas después de recarga.

La limitación de inventario mantiene el inventario de refrigerante durante la operación. El nivel del presionador es supuesto, función de la temperatura, garantizando siempre un nivel mínimo.

La limitación de gradiente de temperatura limita las tensiones sobre la vasija del reactor causadas por cambios de temperatura durante el calentamiento o enfriamiento de la planta.

SISTEMA DE REGULACION

Regulación de la planta

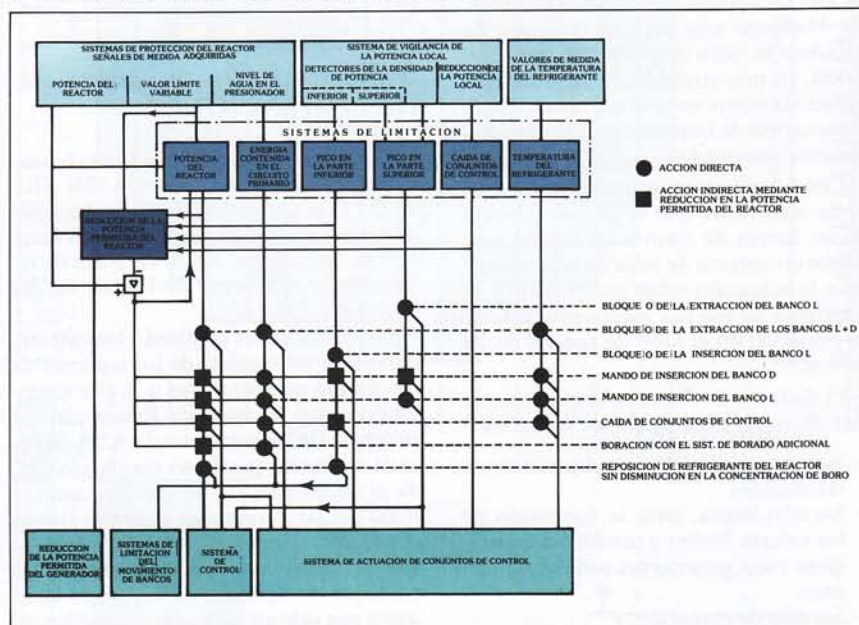
El sistema de regulación, es el sistema operacional encargado de controlar la producción eléctrica de una forma optimizada de acuerdo con los parámetros físicos del diagrama de carga parcial (Fig. VI).

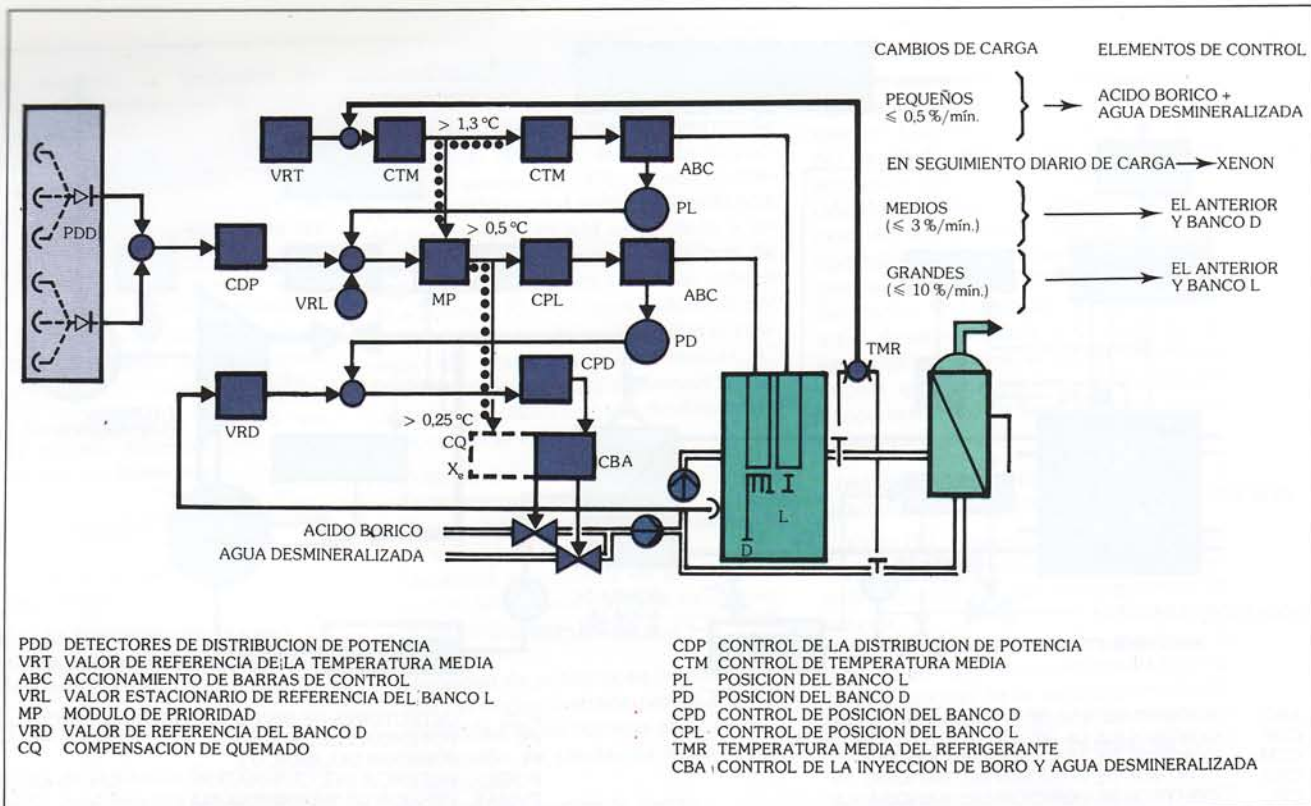
El sistema de regulación tiene tres funciones principales (Fig. X).

- Control de las variables de estado de los circuitos primario y secundario (presión del primario, nivel del presionador, nivel del tanque de control de volumen, nivel del generador...).
- Control de las variables relativas a la potencia (flujo neutrónico, temperatura media, posición de barras, distribución axial de potencia, potencia del generador).
- Limitaciones operacionales relativas al circuito agua vapor (presión máxima y mínima de vapor, velocidad de turbina).

Un programador de carga ajusta la potencia demandada que el sistema de control del generador debe regular, el cual tiene como elementos subordinados

FIG IX Concepto de los Sistemas de Alimentación de la potencia del reactor.





F XI Sistemas de control de potencia del reactor.

SALA DE CONTROL

La sala de control de la CN TRILLO I tiene sus referencias en las salas de control de la última generación de centrales de KWU licenciadas en la RFA. Está cualificada contra terremotos mediante ensayo y en su diseño se ha dado gran importancia a los aspectos ergonómicos.

Desde el punto de vista funcional, está subdividida en un sector de operación principal (pupitre central) y otro sector de operación de sistemas (paneles periféricos) (Fig. XIII). Al sector de la operación principal le están asignadas las funciones de arranque y parada de la planta desde unos estados de servicio definidos, así como el mando y supervisión de los sistemas que han de ser operados en función de la potencia, y la vigilancia del conjunto de la planta. Al sector de operación de sistemas se le asignan las funciones de arranque, parada y servicio de los sistemas auxiliares que no se operan en función de la potencia y de aquellos otros cometidos de operación parcial que solamente han de cumplirse durante determinados estados de funcionamiento.

Tanto el pupitre como los paneles, contruidos con técnica mosaico de Siemens, $24 \times 48 \text{ mm.}$, tienen una disposición fundamentalmente «convencional»; están formados por elementos miniaturizados de control, con pulsadores y lámparas que permiten controlar cada equipo y los avisos de retorno sobre su estado de servicio. A cada equipo se le asigna un elemento de mando. Estos elementos están dispuestos formando cuadros sinópticos, donde se representan esquemáticamente los flujos de fluidos y energía.

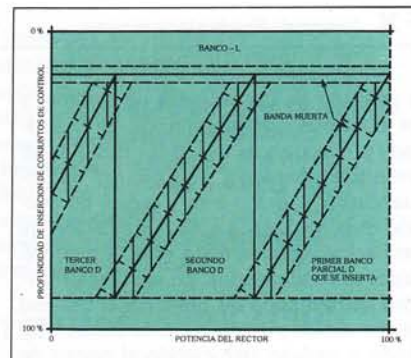
La elevada cantidad de elementos de mando de grupos y componentes, así como de instrumentos de medida viene determinada por el criterio de que todas las acciones relacionadas con los cometidos asignados a la sala de control tienen que poder realizarse y observarse desde la propia sala de control, sin necesidad de acciones en campo.

Se incorporan en los diferentes paneles los sistemas de información convencionales, como indicadores y registradores para la representación de las variables analógicas del proceso, así como un total de ocho terminales de vídeo en color, donde se recogen las informaciones procedentes de los diferentes ordenadores de ayuda a la operación.

Existen además paneles especiales para informaciones sobre posiciones de barras de control, sistema de protección del reactor, sistemas de vigilancia de radiación en procesos y recintos, etc.

Además en la sala de control, distribuidos con una asignación sistemática en las diferentes secciones de pupitre y paneles, se encuentran los anunciadores luminosos de un sistema cualificado de alarmas convencionales, que opera en todo momento en paralelo y como respaldo del sistema de alarmas procesadas por el ordenador de supervisión. Este sistema convencional de alarmas recoge las alarmas de seguridad, las alarmas clase I, que indican perturbaciones en sistemas importantes para la seguridad, y las alarmas clase II relacionadas con la disponibilidad de la planta, hasta un total de 3.000 alarmas.

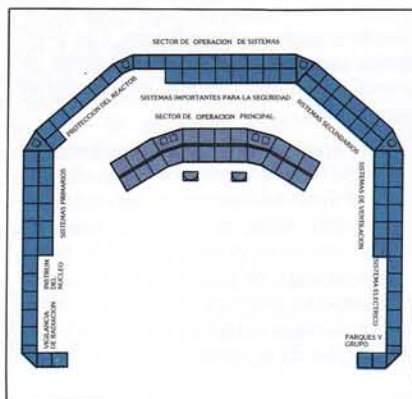
Cabe mencionar por último, que en el edificio de alimentación de emergencia se encuentra situado el puesto de control



F XII Principio del control de barras. Esquema de inserción de barras de control.

de emergencia que contiene todos los elementos redundantes de mando, medida y supervisión para llevar la central a un estado de parada seguro, en caso de pérdida de disponibilidad de la sala de control principal.

F XIII Sala de Control.



ORDENADORES

La central está dotada de un conjunto de ordenadores para ayuda a la operación, orientados globalmente a proporcionar un gran volumen de información de los estados de la planta y procesada de forma que sea fácilmente adquirida por el personal de operación; ayudan a una detección temprana de las averías y facilitan su diagnóstico, contribuyendo eficazmente a acortar los tiempos de indisponibilidad, y a una operación segura y cómoda de la Central.

A continuación nos limitamos a describir brevemente sus tareas.

Ordenador de supervisión

Es un sistema de ordenadores para adquisición y tratamiento de datos del proceso; funciona en bucle abierto, es decir, sin actuaciones directas sobre el proceso y transmite su información a los operadores, bien a través de terminales de video situados en la sala de control, bien mediante salidas impresas.

Sus funciones son:

- Adquisición de datos importantes del proceso.
- Presentación de aviso y alarmas en sala de control mediante terminales de video. Gestión de avalanchas de alarmas.
- Impresión de informes de incidencias del proceso.
- Proveer documentos para análisis selectivo de fallos.
- Ayuda a la operación en forma de gráficos e informes.
- Realización de los cálculos nucleares, partiendo de los datos obtenidos de la instrumentación intranuclear como: cálculos de distribución de potencia, factor de canal caliente, límite de ebullición nucleada, grado de quemado y composición isotópica del combustible.

El sistema incorpora dos unidades centrales, cada una con sus propias funciones, y enlazadas con una línea de transmisión de datos. Así, mientras la primera unidad central de proceso ejecuta las funciones de ciclo breve, incluyendo la función de avisos, todos los cálculos intensivos son realizados por la segunda unidad central de proceso. Si la primera UCP falla, todas las entradas del proceso y las unidades de representación de video se conmutan automáticamente a la segunda UCP. Las tareas que previamente estaba ejecutando la segunda UCP quedan entonces suspendidas. Para ello existe un equipo de vigilancia que comprueba la disponibilidad de la función de avisos, y al detectar un mal funcionamiento ordena la conmutación de las tareas y los periféricos.

El ordenador de supervisión procesa más de 7.000 señales binarias para representarlas como avisos o alarmas, y 800 señales analógicas.

En caso de fallo total de las dos unidades centrales del ordenador de supervisión, el sistema de alarmas convencionales es suficiente para la conducción de la central; es decir, la pérdida temporal del

ordenador de supervisión sólo disminuye la comodidad de la operación.

Ordenador de criterios

Su función se puede resumir en la representación en los monitores de sala de control, a petición de los operadores, de los esquemas lógicos de control de todos los componentes de la central, con indicación del estado actual de cada una de las señales que deben estar presentes en los lógicos seleccionados.

Representa además, para los grupos funcionales, los diagramas lógicos de los programas automáticos, indicando en cada momento en qué paso de la secuencia automática se encuentra y cuáles son los requisitos que impiden la progresión del programa al siguiente paso.

Para realizar su función, el ordenador mantiene, por una parte, en una memoria disco todos los lógicos de componentes o grupos funcionales de la planta, y por otra, debe «buscar» en los armarios electrónicos de lógica del proceso el estado de cada una de las señales o criterios actuales. El ordenador se mantiene informado de aproximadamente 13.000 señales binarias de la planta.

Ordenador para el sistema de protección del reactor

Las funciones de este ordenador son similares a las del ordenador de supervisión de proceso, pero dirigidas específicamente a la vigilancia y gestión de las señales manejadas por el sistema de protección del reactor. Es decir, representación en terminales video, emisión de listados y registros de los avisos provenientes del sistema de protección del reactor, en la misma secuencia en que se producen.

El ordenador emite listado de:

- las señales de excitación,
- los avisos del valor límite,
- los avisos de procedimientos de prueba,
- las señales de comparadores activados,
- los generadores de impulsos defectuosos y
- las señales de disparo.

Al ordenador de supervisión descrito anteriormente sólo se trasladan las señales colectivas de disparo y de perturbación.

Ordenador de pruebas del sistema de limitaciones

Este ordenador está concebido exclusivamente como una herramienta para la realización de las pruebas periódicas de toda la electrónica del sistema de limitaciones, así como de los circuitos de cálculo y módulos temporizadores del SPR, prácticamente las únicas partes no autovigiladas dentro de este sistema.

Con su ayuda, se pueden realizar con una frecuencia alta las pruebas en servicio de las funciones redundantes del sistema de limitaciones, manteniendo así una elevada disponibilidad del mismo. El número de horas necesario para hacer las pruebas periódicas por medios convencionales, alargaría de otra forma los períodos entre inspecciones.

El ordenador de pruebas, con ayuda de los periféricos adecuados, va introduciendo en las diferentes secciones a probar, las secuencias de señales analógicas de prueba, detecta los posibles fallos de la electrónica en cada paso y los documenta.

Finalmente, ayuda en la confección de los correspondientes protocolos de prueba.

Ordenador del sistema de aerobolas

Este ordenador tiene la tarea específica de control del sistema de aerobolas para medida de la distribución de potencia en el núcleo.

Gobierna de una forma inteligente los diferentes sistemas neumáticos, dirige y monitoriza la secuencia completa de cada operación de medición, recoge los resultados de dicha medida, efectúa una primera corrección de los resultados y los almacena para enviarlos al ordenador de supervisión donde se realizan los cálculos nucleares.

Vista general de los paneles en la sala de control en fase de cableado.

