



María Pilar VILLAJOS PAEZ es licenciada en Química por la Universidad Complutense. En 1965 ingresó en la División de Química de la JEN, pasando en 1974 al Departamento de Seguridad Nuclear. Es Secretario del Tribunal de Licencias en el CSN desde 1980 y Jefe de la Sección de Unidad de Licencias del CSN desde 1984.

LAS LICENCIAS DE OPERADORES DE CENTRALES NUCLEARES EN ESPAÑA

M. P. VILLAJOS

En los países de la Comunidad Económica Europea y en EE.UU. los métodos de organización, selección, formación y calificación del personal de operación de una central nuclear de potencia, después del accidente ocurrido en la isla de las Tres Millas no difieren sustancialmente, dado que los problemas a los que ha debido enfrentarse la producción de energía nuclear han sido muy similares en todos ellos.

Antes del accidente, cada compañía eléctrica en EE.UU. decidía el entrenamiento que había de dar a su personal dentro de las normas que establecían las regulaciones gubernamentales. Los simuladores de entrenamiento se limitaban a los que facilitaban los fabricantes de reactores. Los programas de entrenamiento diferían en duración, alcance y profundidad de su contenido. Incluso algunos operadores de sala de control con licencia carecían de título profesional y su entrenamiento se había realizado informalmente en el lugar de trabajo. De hecho, en el informe Kemeny se señala que los operadores de TMI-2 no habían sido adiestrados para hacer frente a nada semejante a lo sucedido.

Este accidente y los acontecimientos ocurridos en Browns Ferry, Crystal River, Ginna y Salem, entre otros, señalaron la necesidad de un enfoque más sistemático del entrenamiento que garantizara la respuesta segura del operador ante situaciones inesperadas.

Las iniciativas a este respecto en EE.UU. fueron:

- La creación del Instituto de Operación de las Centrales Nucleares (INPO) con objeto de evaluar el entrenamiento para las centrales y cooperar en la realización de las mejoras necesarias.
- El Plan Programa sobre Factores Humanos de la Nuclear Regulatory Commission (NRC), así como la valoración de la contribución de los Factores Humanos a la seguridad, en la realización de los APS.
- El análisis sistemático de las actividades y tareas asociadas a los puestos claves de la central para determinar los conocimientos y habilidades necesarios para desempeñar sus funciones con seguridad y eficacia.
- La NRC elevó el nivel de requisitos para la cualificación de los operadores de sala de control, entrenamiento y supervisión.
- Se limitó el número de horas de trabajo de los operadores de sala de control y se incrementó el número de turnos para aumentar el tiempo de reentrenamiento.
- Se requirió la incorporación al turno de operación de un Asesor Técnico de Turno (Shift Technical Advisor), ingeniero especialista en análisis y diagnóstico de transitorios operacionales.

- Los procedimientos de operación de emergencia basados en el diagnóstico del evento sufrieron una revisión para darles un enfoque sintomático como respuesta a las emergencias.
- Se incrementó la información disponible en sala de control, para el seguimiento de emergencias, expuesta en pantalla de forma fácilmente asimilable y con la rapidez precisa, mediante un Sistema de Representación de Parámetros Críticos de Seguridad (SPDS).
- Se comenzó a revisar el diseño de las salas de control, desde el punto de vista ergonómico.
- Se requirió la implementación de instrumentación post-accidente.
- El número de simuladores "full scope" (o réplica exacta de la sala de control) ha aumentado espectacularmente. A partir del 26 de mayo de 1991 la parte del examen de operación requerido en simulador para la obtención de licencia de operador o supervisor deberá ser efectuada en un simulador aprobado por la NRC o en un simulador de la planta de referencia. Como consecuencia, los operadores de sala de control se entrenan cada vez con más frecuencia en simuladores específicos.

REGULACION

Las misiones de los organismos reguladores son, generalmente, proponer la normativa que consideren necesaria y hacer cumplir una vez aprobadas. Desde el 26 de abril de 1980 el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) es por ley el único organismo competente en España en materia de seguridad nuclear y protección radiológica. La misión del CSN en cuanto al personal de operación de las instalaciones nucleares se limita a definir los requisitos necesarios para sus operadores o supervisores de acuerdo con lo establecido en el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, a verificar la competencia de los aspirantes y asegurar que tal competencia se mantiene.

REQUISITOS

Tales requisitos están incorporados en las Guías de Seguridad GS-01.1/86 y GS-07.4/86 publicadas por el CSN. En las autorizaciones concedidas por la Dirección General de la Energía, previo dictamen del CSN, para la construcción y la explotación de una central nuclear se hacen constar las condiciones relativas al adiestramiento del personal de explotación de la misma. En concreto, la compañía propietaria de una central

debe presentar la organización de personal prevista para la futura explotación al solicitar la autorización de construcción. Asimismo en la autorización de construcción se hace constar la necesidad de establecer unos programas de adiestramiento del personal.

El titular de la autorización de construcción para obtener el permiso de explotación provisional (PEP), debe presentar una relación de personal con responsabilidad nuclear, desde el director o jefe de operación a los supervisores, operadores, encargados de la vigilancia radiológica y ejecutantes de las pruebas nucleares, acreditando la competencia técnica para cada misión específica.

Antes de la puesta en marcha (generalmente con la autorización de construcción), y previo informe del CSN, la Dirección General de la Energía fija el número mínimo de empleados con licencia de operador y supervisor y exige la designación de un jefe de servicio de protección.

En el PEP de las centrales de la 2.^a y 3.^a generación: Almaraz, Ascó, Cofrentes, Trillo y Vandellós II, se hace constar la necesidad de mantener en todo momento el grado de adiestramiento y suficiencia de la organización encargada de la explotación a cuyo fin se establecen programas de reentrenamiento y actualización de conocimientos que deben ser favorablemente apreciados por el CSN. Para ello se tiene en cuenta la norma ANSI/ANS-3.1. En lo que se refiere al personal de licencia o título se tiene también en cuenta la guía GS-01.1/86 o la guía GS-07.2/86.

En las prórrogas del PEP o mediante escrito remitido por el CSN se actualizan los requisitos impuestos en el primer permiso, dado que las centrales tienen que ajustarse continuamente al desarrollo técnico y a los requerimientos del país origen del proyecto, si el Organismo Regulador lo considera procedente. Previamente, el titular del permiso estudia la aplicabilidad de los requisitos solicitados por el Organismo Regulador del país de origen del proyecto a centrales de diseño similar y, en su caso, las acciones o análisis previstos y los resultados de los mismos.

FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA OPTIMIZACION

COMPETENCIA DE LOS OPERARIOS

La competencia del personal de explotación es la garantía para evitar errores humanos, que pueden ser directos, provocando acciones determinadas desde sala de control, o indirectos como resultado de maniobras en campo, calibra-

ciones, reparaciones, pruebas, etc. En resumen, lo que se pretende es mantener un nivel adecuado de fiabilidad humana. En los últimos años se ha desarrollado una intensa actividad en este campo. Las investigaciones patrocinadas por la NRC, las desarrolladas por Electric Power Research Institute, el Programa de Investigación Nórdico, las actividades de Electricité de France y el Ejercicio de Fiabilidad Humana patrocinado por la Comunidad Europea lo confirman. Los errores indirectos pueden ser provocados por operarios pertenecientes a otros grupos como son los de Mantenimiento, Química, Protección Radiológica e incluso por los propios auxiliares de operación en campo (rondistas). Dichos operarios deben resolver los problemas derivados de la operación cotidiana de la central, e intervenir en primer lugar en incidentes de mayor envergadura hasta que se inicia la actuación del grupo de apoyo.

Por ello es necesario la cualificación apropiada de estos operarios, incluso aunque estos puestos de trabajo no requieran una licencia o certificación expedida por el Organismo Regulador. A este respecto la central debe tener en cuenta la norma ANSI/ANS-3.1.

SISTEMA HOMBRE-MAQUINA EFICIENTE

Otra contribución a la fiabilidad y disponibilidad de la central es un sistema hombre-máquina eficiente. En el diseño de este conjunto se han de distinguir varias etapas como son: reparto de tareas entre hombre y máquina, descripción de las tareas encargadas al operador, diseño de la interfase operador-máquina y definición del espacio y ambiente de trabajo.

En cuanto al reparto de funciones se ha llegado a la conclusión que las máquinas son preferibles para efectuar actividades que están totalmente especificadas, superando al ser humano en cuanto a tiempo de respuesta y fiabilidad. En cambio al ser humano se debe asignar tareas que requieran inferencia o extrapolación y toma de decisiones con incertidumbre asociada.

Una vez asignado al operador una serie de funciones se procede a realizar una descripción detallada de las actividades que debe realizar. Esta descripción incluirá: la acción a tomar en cada circunstancia; la decisión que debe preceder a la acción y la información en la cual debe basarse la decisión.

Descripción de tareas

La importancia de la descripción de tareas estriba en que todas las decisiones

posteriores con relación a la interfase hombre-máquina y la determinación de los conocimientos y habilidades necesarias para realizarlas se basan en ellas. En el Reglamento de Funcionamiento de la Central se definen las responsabilidades que corresponden a cada puesto de trabajo, pero no se describen las tareas con el detalle requerido.

En relación con este tema, en España en 1986 las organizaciones de C. N. Almaraz y Tecnatom, S. A., firmaron un "Acuerdo Marco sobre Entrenamiento a Largo Plazo" constituyéndose el grupo denominado "Proyecto AMA" que planteó la elaboración de planes de entrenamiento adaptados al puesto de trabajo en C. N. Almaraz para las posiciones acreditadas por INPO en su documento "Training System Development", así como la definición de los medios didácticos para dichos planes de formación.

El proyecto es ambicioso y complejo, ya que en la fase de análisis ocupacional de los puestos de trabajo se identifican todas las tareas específicas para cada puesto, se describe cada tarea valorando su frecuencia, importancia y dificultad, se realiza una aplicación estadística de las valoraciones y se clasifican éstas por grupos de dificultad e importancia. Del análisis de todos los aspectos identificados para cada tarea, se inducen los conocimientos y habilidades que deberá tener el trabajador; a partir de su tratamiento se desarrolla un Plan de Entrenamiento específico del puesto de trabajo agrupando en bloques homogéneos de conocimiento y habilidades, posteriormente se diseña la organización del entrenamiento, la documentación y medios didácticos adecuados para su desarrollo.

El Proyecto AMA tiene un gran nivel de complejidad tanto por su contenido como por su extensión en el tiempo. No obstante, los resultados obtenidos son muy valiosos, ya que desarrollan un plan de entrenamiento específico para los puestos de trabajo citados. Este plan no sólo es interesante desde el punto de vista de la mejora de la central en el aspecto ocupacional sino porque cubre ampliamente los objetivos de entrenamiento de la norma ANSI/ANS-3.1 y su puesta en práctica puede mejorar el grado de adiestramiento y suficiencia de los auxiliares de operación requerido en el PEP. Los resultados del proyecto relativo al personal con licencia servirán para validar los programas de entrenamiento actuales y proceder a su revisión con criterios realistas y precisos.

Concreción de tareas

En todas las situaciones concernientes a la seguridad que dan lugar al arranque o parada del reactor, las operaciones se

reducen a la necesidad de hacer el reactor crítico y mantenerlo estable a potencia o mantener el reactor subcrítico y eliminar el calor residual. Para estas situaciones se determinan los métodos con antelación (procedimientos de operación generales) y en parte pueden ser automatizados.

Sin embargo, para poder operar la central con seguridad en cualquier circunstancia, especialmente en el caso de malfunciones, no es posible describir un método específico para cada caso individual, ya que en la práctica todas las situaciones operativas difieren unas de otras. En estas circunstancias, y especialmente en situaciones de emergencia, es preciso intervenir en el proceso a tiempo y correctamente. No siempre se puede realizar un diagnóstico correcto de la condición de la central en el tiempo adecuado, ni predecir correctamente el curso posterior del proceso.

La característica común a toda situación de emergencia es la desviación de uno o más parámetros de la planta de su valor normal. El grado de desviación y su rapidez de variación determina la gravedad de la emergencia. Por otra parte, la observación de la evolución de los parámetros en la instrumentación de sala de control es el único conocimiento directo del que dispone el operador inicialmente. Por ello, los procedimientos más operativos serán aquéllos que partiendo de esta evolución den las instrucciones al operador, no requiriéndose la determinación previa de las causas de accidente. Evitándose así falsas conclusiones y maniobras equivocadas.

Los primeros procedimientos de emergencia que utilizaron las centrales nucleares (a excepción de C. N. José Cabrera) eran procedimientos basados en eventos. Estos procedimientos cubrían un único escenario, suponían las condiciones más desfavorables y la operabilidad de la instrumentación, no se consideraban fallos de equipos o sistemas posteriores al inicio del evento, excepcionalmente aconsejaban el uso de sistemas "no cualificados de seguridad", las bases técnicas de estos procedimientos estaban formadas por los criterios de diseño y licenciamiento de los sistemas y no cubrían adecuadamente el alcance de las condiciones posteriores del evento.

Posteriormente al accidente de TMI se consideró la necesidad de: reanalizar los transitorios utilizando métodos y modelos más realistas ("bets estimate"), considerar la posibilidad de fallos múltiples de equipos y de que ocurran diversos eventos al mismo tiempo, así como posibles errores del operador. A partir de aquí se decidió desarrollar los procedimientos de operación de emergencia de cada central a partir de unas guías de entrada por "síntomas" para centrales BWR o PWR que fueron publicadas a

partir de 1980. Definiendo como "síntoma" la evolución anormal que experimenta alguno de los parámetros clave para la operación de la planta.

El seguimiento de estos procedimientos se realiza secuencialmente. Independientemente del éxito obtenido en las acciones tomadas se seguirá avanzando en la secuencia y no se abandonará hasta que hayan desaparecido las condiciones de entrada o el mismo paso ordene ir a otro procedimiento.

Esta metodología limita al máximo las decisiones a tomar por el supervisor y automatiza las acciones del operador disminuyendo notablemente el riesgo de cometer errores.

La C. N. Vandellós II arrancó con los procedimientos de operación de emergencia redactados de acuerdo con esta nueva filosofía. La segunda generación (Almaraz, Ascó y Cofrentes) y Sta. M.^a de Garoña arrancaron con los procedimientos basados en eventos y posteriormente han implantado los procedimientos basados en síntomas. La C. N. de José Cabrera está ultimando su elaboración y validación y espera implantarlos en otoño de 1991.

Los procedimientos de C. N. Trillo se adaptan de alguna manera a ambas filosofías, ya que de acuerdo con el concepto de alta automatización de la central, el operador no necesita realizar actuaciones que requieran gran rapidez. En operación normal el operador supervisa y optimiza los controles del sistema de regulación. En situaciones de accidente, las contramedidas son iniciadas automáticamente de forma que el operador no interviene antes de 30 minutos. De esta forma tiene margen para analizar el suceso y tomar las medidas adecuadas.

Distribución de tareas

Una vez identificadas las tareas y descritas las acciones asociadas en los correspondientes procedimientos, tales tareas deben estar distribuidas de forma adecuada.

El análisis de las causas que dieron lugar al incidente de TMI ha dejado patente que al menos una persona del turno de operación debe poseer una sólida base de conocimientos de los fenómenos termohidráulicos que determinan la dinámica del proceso de generación y transformación de energía en una central nuclear. Dicha fenomenología es materia incluida en los programas académicos de las Escuelas de Ingenieros Técnicos. Dicha titulación se requiere para la solicitud de licencia de supervisor, y por problemas de promoción, de hecho, también la poseen los solicitantes de licencias de operador de centrales nucleares.

Debido a estas circunstancias, y al elevado nivel de conocimientos requeridos para la cualificación de operadores y supervisores de sala de control, no se ha precisado incorporar al turno de operación, en centrales españolas, la figura del asesor técnico de turno, si bien en centrales con dos unidades se ha incrementado el turno en un supervisor.

Actualmente, la dotación del turno de operación en centrales con una unidad de producción incluye dos operarios con licencia de supervisor y otro operario con licencia de operador, para atender en sala de control los sistemas nucleares más otro adicional que no requiere licencia (aunque en C. N. de Cofrentes si la posee), para atender a sistemas no nucleares. Los auxiliares de operación tampoco requieren licencia. Las centrales con dos unidades están dotadas de la misma forma para cada unidad a excepción de un cuarto supervisor, ya que un operario con licencia de supervisor es común a las dos unidades.

En la C. N. Vandellós I, hasta la total retirada de combustible del emplazamiento, se requiere un supervisor con licencia, otro operario con licencia de operador para atender sistemas nucleares y otro adicional que no requiere licencia para atender a sistemas no nucleares.

En EE.UU. se requiere en sala de control dos operarios con licencia por unidad con la central operando.

INTERFASE HOMBRE-MAQUINA

El éxito global del conjunto depende no sólo de una distribución adecuada de tareas, sino también de un intercambio eficiente de información hombre-máquina y entre los componentes del turno de operación. La interfase está compuesta de controles y displays (cualitativos: señales luminosas o acústicas, cuantitativos: indicadores digitales o analógicos y registros o representacionales: diagramas y esquemas).

Los "displays" traducen la información-máquina en información-hombre. Los controles actúan como traductor en dirección inversa y proveen realimentación al hombre para guiar sus acciones.

Con relación a los displays y controles es recomendable que:

- Los paneles estén estructurados de acuerdo con las funciones o de acuerdo a la disposición especial del sistema y sus componentes.
- Los paneles de la sala de control deben dividirse en áreas, cada una de las cuales está relacionada con partes diferentes de la instalación.
- En el diseño de los paneles, los controles y "displays" relacionados físicamente deben ser fácilmente "relacionables". Las variaciones de am-

bos deben ser congruentes en dirección.

- Para lecturas precisas se deben emplear "displays" digitales; analógicos y para captar mejor la velocidad de las variables.
- Los controles y "displays" deben facultar el mantenimiento de un modelo mental del sistema en conjunto, permitiendo la extracción de la información que se precise en todos los modos de operación, de diversos puntos del mismo. Así, para situaciones de accidente es necesario contar con instrumentación "cualificada" suficiente y capaz de garantizar datos fiables.

En España para dar cumplimiento a todas estas recomendaciones o como consecuencia de modificaciones de equipos y de sistemas se han hecho diferentes cambios en la sala de control de las centrales nucleares de la 1.ª y 2.ª generación. Ultimamente, el CSN ha pedido a las centrales en operación de estas dos generaciones una revisión del diseño de sala de control.

En esta línea, y como ayuda al seguimiento en sala de control de los nuevos procedimientos de operación de emergencia basados en síntomas, las centrales nucleares de Sta. M.ª de Garoña, Cofrentes, Almaraz y Ascó han incorporado un sistema con pantallas para la representación de los "Parámetros Críticos de Seguridad" (las C. N. de Trillo y Vandellós II iniciaron su operación con él incorporado). Estas pantallas son capaces de exponer estas variables y otros datos referentes a la operación normal y durante emergencias (como son alineamiento de sistemas, disponibilidad de equipos, distribución de flujo neutrónico, etc.) en forma de diagramas, esquemas, curvas bi o tridimensionales, los cuales proporcionan la información dispuesta de forma más rápidamente asimilable por el operador.

Este sistema es el denominado "Sistema de Apoyo Mecanizado a Operación" (SAMO) o bien "Sistema Supervisor de la Operación" o "Sistema de información para acciones a tomar durante emergencias" (ERIS).

FACTORES HUMANOS

El turno de operación está integrado por personal con responsabilidades jerarquizadas.

Algunas de las acciones a efectuar por dicho personal están relacionadas con las de otros grupos como es: la información a suministrar en determinadas circunstancias por Química, Protección Radiológica y Mantenimiento o por sus propios auxiliares (rondistas), las órdenes transmitidas desde el Despacho de Carga

o las decisiones previas tomadas por el grupo de Control Técnico. Existen procedimientos que regulan las funciones con repercusión en diferentes grupos y normas de funcionamiento interno de cada grupo.

No obstante, la experiencia demuestra que más de la mitad de los sucesos significativos que tienen lugar cada año en la industria nuclear se deben a fallos humanos. Al objeto de disminuir el número de estos sucesos hay que potenciar la capacidad individual para el trabajo en equipo y el diagnóstico, y así, no sólo aumentar la disponibilidad de la planta sino también la seguridad de la misma. A este respecto en España (Tecnatom, S. A.) se han preparado e impartido cursos de factores humanos tomando como referencia básica la Guía de INPO 88-003 "Guideline for Teamwork and Diagnostic Skill Development". El curso desarrolla los aspectos sobre liderazgo y trabajo en equipo, la comunicación verbal y escrita y el diagnóstico.

Desde el punto de vista de la calificación de operadores y supervisores, este curso identifica los factores humanos a calificar para determinar si los candidatos reúnen las características necesarias para desempeñar el puesto en cuestión, si bien no se dan criterios para cuantificarlos.

SELECCION DE PERSONAL

La selección del personal de explotación de las centrales se realiza determinando a priori las cualidades ideales que cada puesto exige y contrastando este perfil ideal con el de cada individuo.

El proceso de selección está basado en la formación académica previa (ingeniero técnico o maquinista naval para el personal con licencia), experiencia del individuo y factores humanos apropiados al puesto.

Las primeras tripulaciones de las centrales nucleares de la primera y segunda generación procedían de la marina mercante, de centrales térmicas convencionales y en algún caso de hidroeléctricas. Las de la tercera generación no tenían experiencia previa, si bien contaron, en el arranque y pruebas previas, con expertos en operación de centrales nucleares similares en el país de origen del proyecto o de centrales nucleares españolas. Además, hay que añadir que la primera tripulación de las centrales de la 2.ª y 3.ª generación adquirieron una experiencia irreplicable colaborando en el montaje y, sobre todo, en la participación activa en las pruebas y puesta en marcha de la central. En algunas centrales se sigue la política de promover al puesto de operador de reactor a operarios que ocupan puestos jerárquicamente inferiores en la central con experiencia

en operación (rondistas, operadores de turbina) o en otras áreas. Esta política da buenos resultados, ya que el individuo, en realidad, ha sido promocionado después de contar con elementos de juicio posteriores a la primera selección. El inconveniente podría ser, para seguir esta política, tener que requerir titulación académica media para acceder a puestos que no la precisan.

La central hace su selección de supervisores a partir de la plantilla de operadores de reactor. La primera tripulación de supervisores se selecciona en base a los resultados de su período de formación y a factores humanos, ya que todos los candidatos se forman al mismo nivel.

En cuanto a las características psíquicas y humanas a tener en cuenta son: capacidad de control, capacidad de juicio, relación con las demás personas, sentido de la realidad, sentido de la responsabilidad, grado de combatividad, grado de agresividad, dotes de mando, etc.

De acuerdo con la reglamentación española el candidato debe reunir unos requisitos físico-psíquicos para poder desempeñar sus misiones. Las pruebas correspondientes son eliminatorias en el proceso de selección.

La metodología para llevar a cabo esta selección se basa en la valoración por parte de la central del expediente académico, de unas pruebas de aptitud, habilidad, psicotécnicas, etc., y de entrevistas personales.

Los resultados de esta metodología varían de unos grupos a otros sobre todo dependiendo de la situación del mercado de trabajo.

ENTRENAMIENTO

De acuerdo con las funciones descritas en el Reglamento de Funcionamiento de la central del personal con necesidad de licencia —operador de reactor, supervisor de sala o ayudante de jefe de turno y jefe de turno—, la formación y entrenamiento de las personas que ocupan tales puestos cubren las siguientes áreas:

- I. Fundamentos de Operación del Reactor PWR, BWR o UNGG.
- II. Tecnología de Centrales PWR, BWR o UNGG.
- III. Prácticas de Operación en un simulador.
- IV. Diseño y Operación de la propia central.
- V. Entrenamiento en Operación de la propia central.

El entrenamiento se imparte a dos niveles: operador (operador de reactor) y supervisor (supervisor de sala y jefe de turno). Previamente se homogeneizan los conocimientos de los operadores seleccionados sobre los dispositivos mecánicos,

eléctricos, electrónicos y termohidráulicos de aplicación en centrales eléctricas en un curso de repaso de fundamentos físicos y tecnológicos de los mismos impartido por TECNATOM.

Todas las fases en su conjunto tienen una duración promedio de 120 semanas para el operador y un entrenamiento adicional de 16 semanas para el supervisor.

FORMACION BASICA (AREAS I Y II)

El área de fundamentos se impartió hasta hace algunos años en centros capacitados para ello: Universidad e Instituto de Estudios Nucleares de la Junta de Energía Nuclear. El área de Tecnología y de Operación en simulador de la primera tripulación de las centrales de Almaraz, Lemoniz, Ascó, Cofrentes y parte de la de Trillo se impartió en el país origen del proyecto.

Actualmente las dos primeras áreas para centrales PWR o BWR son impartidas por TECNATOM, S. A., en su centro de formación o en las propias centrales, a excepción de C. N. José Cabrera, cuyo propio grupo de formación imparte directamente la tecnología de su central, dado que su reactor consta de un solo lazo y TECNATOM ofrece el curso de tecnología adaptado a la central de referencia de sus simuladores.

La central de referencia del simulador PWR es C. N. Lemoniz (sistema nuclear de generación de vapor de tres lazos de Westinghouse) y la del BWR es C. N. Cofrentes (BWR-6, MARK III).

La C. N. Vandellós I también dispone de un grupo de formación propio que imparte las áreas I y II.

El área de tecnología de centrales PWR fue ampliado para la C. N. Trillo con el estudio de la aplicación de esta tecnología a los reactores suministrados por Kraftwerk Union (KWU). Esta fase de formación incluye un curso de termohidráulica PWR o BWR y otro de protección radiológica básica.

El área de fundamentos de operación, termohidráulica y protección radiológica se apoya en textos elaborados por TECNATOM. El de tecnología de centrales PWR en la descripción de sistemas de C. N. Lemoniz y el de centrales BWR en la descripción de sistemas de C. N. Cofrentes. Para Sta. M.^a Garoña, TECNATOM utiliza en su lugar un texto elaborado por la propia central basado en la descripción de sus propios sistemas.

C. N. Trillo utiliza además para la formación en el área de tecnología la descripción de los sistemas PWR-KWU-ANGRA (C. N. ANGRA-TECNATOM) y PWR-KWU-B (KWU-Alemania). C. N. José Cabrera utiliza únicamente la descripción de sus sistemas.

SIMULADOR (AREA III Y PRACTICAS AREA I)

En la actualidad se considera el entrenamiento en simulador una contribución tan importante para la cualificación del personal de operación de las centrales nucleares que en la mayoría de los países es obligatoria.

El entrenamiento en simulador está proyectado para poder operar una central de acuerdo con su manual de operaciones y sus especificaciones de funcionamiento. Se trata, pues, de consolidar y profundizar el conocimiento teórico adquirido (prácticas del área I), desarrollar el sentido de la dinámica de la central y adquirir las habilidades necesarias, ejercitando maniobras relativas a la puesta en marcha, parada y operación normal, incidental y accidental de la central.

Actualmente se entrenan y reentrenan en el simulador PWR el personal de las centrales nucleares de Almaraz, Ascó, Vandellós II, Trillo y parcialmente el de C. N. José Cabrera. En el simulador BWR se entrena el personal de C. N. Cofrentes.

Con objeto de mejorar la calidad de simulación, TECNATOM, S. A., tiene en marcha los proyectos: MAS (Modelos Avanzados de Simulación) SGI (Simulador Gráfico Interactivo) y PASCAL (Adaptación del simulador de la C. N. Lemoniz a la C. N. Almaraz).

Aunque los tres proyectos citados mejorarán el entrenamiento de dicho personal, evidentemente, lo hará en mayor proporción el de Almaraz; si bien, ninguna sala de control de las centrales PWR españolas será réplica exacta del simulador PWR de TECNATOM.

El personal de C. N. Trillo se entrena, además, en el simulador PWR-KWU propiedad de Nuclebrás (Brasil) cuya central de referencia es ANGRA.

C. N. Garoña se entrena en el simulador de C. N. Morris (Illinois-EE.UU.), ya que su central de referencia es C. N. DRESDEN. Dado que el simulador de Morris se viene ajustando a las sucesivas modificaciones en el diseño y en la operación de su central de referencia, cada vez difiere más de C. N. Sta. M.^a de Garoña, siendo lo más problemático la simulación de emergencias. Con objeto de optimizar el entrenamiento, C. N. Garoña complementa su adiestramiento referente a emergencias en un ordenador interactivo ubicado en la propia central, con mejora progresiva del software.

La C. N. José Cabrera reentrena a su personal en el simulador PWR de TECNATOM en sesiones referidas a situaciones que reflejan algunas características de su central, y como experiencia piloto de mejora de la formación también ha asistido a dichas sesiones la última promoción de supervisores como parte del entrenamiento para la obtención de su licencia. Probablemente con el pro-

yecto MAS estas sesiones puedan ser ampliadas. Parece que sería conveniente efectuar un análisis detallado comparando la respuesta de los componentes del simulador que intervienen en las sesiones programadas con los de las Centrales respectivas, así como la influencia en la operación de su distinta disposición en los paneles de sala de control. Este análisis reflejaría la idoneidad del entrenamiento en simulador o la necesidad de completarlo (en parte ésta es la conclusión a la que llegó C. N. Garoña habiendo realizado un análisis sucinto).

C. N. José Cabrera no entrena en simulador a los candidatos a operador, dadas las diferencias entre tecnologías, dimensiones y disposición de indicadores y de los paneles de sala de control. No obstante, C. N. José Cabrera está desarrollando la simulación de la Cinética de la planta con un simulador gráfico interactivo para los análisis dinámicos y los transitorios específicos de su central. Sin embargo, las habilidades se piensan seguir adquiriendo mediante el estudio y la observación de la operación en la sala de control de la propia planta.

El entrenamiento en simulador del personal de operación de las centrales nucleares españolas, como se puede deducir de lo expuesto, se programa en base a los recursos de simulación nacionales o trasladándose a los más asequibles utilizados en otros países. Esta es probablemente la solución menos costosa, aunque pueda suponer una dispersión más difícil de controlar, por parte del organismo regulador.

Por otra parte, excepto Cofrentes, ninguna central se entrena en un simulador idéntico a su planta. Si bien, cumplen la normativa actual que alude simplemente al entrenamiento en simulador de una central del mismo tipo que capacite a los aspirantes a licencias a operar y controlar las operaciones y el estado de la central simulada, referentes a condiciones normales, transitorios y situaciones de emergencia; si esto no fuera posible sería necesario un período de entrenamiento sustitutorio.

ENTRENAMIENTO ESPECIFICO (AREAS IV y V)

El diseño y operación de la propia central se estudia en la planta y comprende el conocimiento de los sistemas: de generación de vapor nuclear, control e instrumentación, protección y seguridad, así como las características de diseño y de operación, los procedimientos de operación normales, de fallo y de emergencia y los procedimientos administrativos y límites y condiciones de operación. En esta fase se estudian también los sistemas eléctrico, auxiliares y turbo-

generador en lo que afectan a la seguridad, así como la protección radiológica operacional, el Plan de Emergencia y la normativa técnico-legal aplicable.

Los supervisores deben conocer con más profundidad la teoría de reactores y de operación del reactor de su central y las características específicas de operación. También deben conocer las bases de diseño de los sistemas y de las especificaciones de funcionamiento, el almacenamiento y manejo de combustible y los parámetros del núcleo.

Es obvio que Cofrentes ha adquirido parte de esta formación en la fase de formación básica, ya que en el área de tecnología de una central BWR se explicaron sus propios sistemas y en la fase de formación en simulador se utilizaron sus propios procedimientos de operación y especificaciones técnicas.

La primera tripulación en las centrales de la segunda y tercera generación en España tuvo un entrenamiento adicional al participar en la elaboración y redacción de las normas, procedimientos de prueba, documentos, manuales, etc., y en la participación de las pruebas de arranque. También se programaron estancias en centrales en explotación, participando en grupos de trabajo conexos a la operación.

Algunas tripulaciones posteriores se han encargado de la revisión de procedimientos o documentación asociada a los cambios de diseño, pero este personal ya estaba en posesión de licencia, por lo que esta actividad fue asimilada como reentrenamiento.

Como alternativa para nuevas tripulaciones se estima muy formativo el conocimiento de la historia de la operación en la central, incluidos sucesos significativos. Así como la posible respuesta de su central ante sucesos significativos ocurridos en centrales similares a la suya.

El estudio del diseño y operación de la propia central se realiza un régimen de clases lectivas o estudio tutelado. En este segundo caso la Tutela debe ser efectiva para garantizar el aprovechamiento de esta fase de formación, ya que no se suelen practicar evaluaciones formales en este régimen didáctico.

La documentación de apoyo a esta fase es la documentación preceptiva de la central, complementada por planos, diagramas, esquemas y resúmenes didácticos, sobre todo, de documentos de difícil interpretación como son las Especificaciones de Funcionamiento. También sería mejor abordar el estudio del análisis de accidentes que puedan derivarse del funcionamiento, utilizando las bases de los procedimientos de operación de emergencia y no los criterios de diseño y licenciamiento de los sistemas.

El entrenamiento en operación de la propia central se realiza en la ocupación del puesto a desempeñar, sin ninguna otra misión concurrente bajo la vigilancia

y tutela de ayudante del jefe de turno (operadores) o del jefe de turno (supervisores).

La C. N. José Cabrera, al no tener simulador "full scope", sustituye el período de simulador por un entrenamiento adicional, específicamente dirigido a la respuesta ante situaciones anormales y de emergencia.

En las primeras tripulaciones de las centrales de la 2.ª y 3.ª generación este entrenamiento, fue computado por su participación en las pruebas previas a la criticidad. Las primeras tripulaciones de las centrales de la primera generación fueron entrenados por el suministrador.

REENTRENAMIENTO

La operación continua de la planta exige el encuadramiento del personal en turnos rotativos que cubren las 24 horas del día. El número de turnos se ha ido incrementando, siendo en la actualidad de siete para cubrir la operación, el retén, apoyo técnico y reentrenamiento. El objetivo del reentrenamiento es asegurar que el personal con licencia mantenga el alto nivel de destreza y conocimiento requerido para cumplir sus misiones.

El reentrenamiento se programa bianualmente y se realiza en las semanas de descanso a lo largo de este período, desarrollándose mediante:

- Sesiones de estudio planificados (100 horas anuales) que comprenden el repaso de conocimientos fundamentales (25 horas anuales) y la actualización de la capacitación operacional (75 horas anuales).
- Prácticas operativas realizadas en la propia central y en simulador (20 horas anuales de simulador).

El porcentaje citado en el primer punto no siempre se cumple, ya que si en el bienio se realizan modificaciones de diseño y de procedimientos que supongan grandes cambios se programan cursos específicos que inclinan la balanza hacia las horas dedicadas a la capacitación operacional.

El bienio en que se implantaron los nuevos procedimientos de Operación de Emergencia basados en síntomas se entrenó específicamente a los operadores y supervisores con licencia de las centrales PWR en explotación de acuerdo con el siguiente programa:

- Seminarios:
 - Introducción a los procedimientos.
 - Rotura en tubos en G. V.
 - Roturas primario/secundario.
 - Choque térmico a presión.

Complementados en algunos casos con:

- Pérdida de corriente alterna.
- Termohidráulica.

- En alguna central los operadores y supervisores participaron en la verificación de los procedimientos.
- Posteriormente han recibido un entrenamiento teórico de 60 horas como media y un entrenamiento práctico en simulador de aproximadamente 30 horas lectivas y 40 horas de simulador.

En su central un operador puede experimentar un máximo de 15-20% de los acontecimientos operativos interesantes. Si bien, el operador debe recibir información en plazo, la familiarización con casos importantes ocurridos en otros turnos de la central y en otras centrales puede realizarse más eficazmente en simulador. A largo plazo los cursos de reentrenamiento en simulador son atractivos si pueden ofrecerse ejercicios nuevos.

La motivación para el trabajo y el aprovechamiento del reentrenamiento depende, entre otros factores de la edad media del turno y del número de años a turno. Sería importante establecer unos máximo al respecto y prever la promoción del personal a turno como salida del mismo.

Los cursos específicos son impartidos en clases lectivas por especialistas de la Central o Contratados. Las sesiones de estudio planificadas en régimen de autoestudio controlado o tutelado y algunos temas en clases lectivas; y las prácticas en simulador se programan para complementar las operaciones en la central y practicar situaciones de emergencia, todo ello de acuerdo con el temario referido en la guía GS-01.1/86.

VERIFICACION

Como ya se ha mencionado el jefe de turno y el ayudante de jefe de turno deben estar en posesión de licencia de supervisor y el operador de reactor en posesión de licencia de operador. Para la obtención de dichas licencias, los candidatos deben acreditar la titulación, conocimientos, entrenamiento y experiencia referidos en la guía GS-01.1/86 y las condiciones físico-psíquicas contenidas en la guía GS-04.4/86. En la primera guía se indican también las condiciones para prorrogar tales licencias.

El Consejo de Seguridad Nuclear para verificar la competencia de los aspirantes a licencia y asegurar que se mantiene tiene que emplear procedimientos que difieren de los utilizados por un organismo educativo. Sistemas tales como la evaluación continuada no pueden ser aplicados de forma integral.

ANEXO I

TRIBUNAL DE LICENCIAS

EXAMEN OPERADORES Y SUPERVISORES CC.NN.

1. EXAMEN TEORICO.
2. EXAMEN EN SIMULADOR.
3. EXAMEN EN CENTRAL.

EXAMEN TEORICO

Supervisores	Operadores
1. Teoría de reactores.	1. Principios de Operación de Reactores.
2. Legislación nuclear española.	2. Legislación nuclear española.
3. Parámetros de proyecto.	3. Características de diseño.
4. Características específicas de operación.	4. Características generales de operación.
5. Protección radiológica y manejo de combustible.	5. Instrumentación y control.
6. Permiso de explotación, límites y condiciones y documentos de la central.	6. Sistemas de seguridad y de emergencia.
	7. Procedimientos de operación normal y de emergencia.
	8. Protección radiológica.

EXAMEN EN SIMULADOR

ASPECTOS QUE SE EVALUAN:

A. Nivel de conocimiento y entendimiento	B. Aptitudes del operador
1. Conocimiento general técnico.	1. Dotes de observación.
2. Conocimiento de sistemas y componentes.	2. Alerta a indicaciones visuales y acústicas en situaciones normales y anormales.
3. Uso procedimientos de operación	3. Integración al trabajo en equipo.
4. Uso procedimientos administrativos.	4. Utilización de los medios de información complementaria en sala de control.
C. Respuesta ante acciones imprevistas y/o anormales	D. Aptitudes del supervisor
1. Calidad de las acciones inmediatas (iniciativa, juicio, autocontrol).	1. Reconocimiento de la situación.
2. Análisis de los síntomas (necesidad de supervisión).	2. Consideraciones de seguridad.
3. Control de parámetros (primario/secundario).	3. Utilización de medios información complementaria en Sala de Control.
4. Rapidez de respuestas (anticipación).	4. Dotes de mando.
5. Análisis de las situaciones (razonamiento).	5. Uso de procedimientos administrativos.

EXAMEN EN PLANTA ORAL

- Ante un suceso:
 - Diagnóstico.
 - Seguimiento mediante procedimientos de Operación y demás documentación técnica (planos, etc.).
 - Interpretación de las acciones automáticas y manuales precisando las limitaciones contenidas en especificaciones técnicas.
 - Planificación de operaciones en presencia de radiaciones, declaración de emergencia (P. E.).
- En sala de control:
 - Identificación de la instrumentación.
 - Interpretación datos suministrados por indicadores y registros.
 - Origen e interpretación de alarmas.
 - Maniobras requeridas para el alineamiento de sistemas y componentes.
 - Empleo de la información existente en la sala de control (documentos, planos, ordenador).
 - Coordinación con rondistas y otras secciones de la planta, intervención en una demanda de reparación.
- En la Central:
 - Localización de componentes y fluidos.
 - Identificación de posición de componentes y alineamiento de sistemas.
 - Reconocimiento de zonas radiológicas. Monitores asociados.

El entrenamiento requerido para la obtención de la licencia es el descrito en el apartado de entrenamiento. El CSN evalúa los programas de formación en todas sus fases y realiza un seguimiento de los mismos mediante auditorías.

Los conocimientos y habilidades de los candidatos son verificados por el CSN a través del "Tribunal de Licencias" que evalúa individualmente a los aspirantes mediante las tres pruebas siguientes:

- Un examen teórico por escrito en el CSN sobre las materias que se indican en el Anexo I.
- Un examen en el simulador donde han recibido el entrenamiento, evaluándose los aspectos señalados en el Anexo I.
- Un examen práctico (oral) en la propia central. Las materias a tratar se indican en el Anexo I.

En la Tabla I se relacionan las licencias concedidas a las instalaciones nucleares por años y en la gráfica se representan, coincidiendo los máximos con las entradas en operación de las distintas instalaciones.

Las licencias se conceden por dos años al cabo de los cuales deben ser prorrogadas si se cumplen los requisitos establecidos en la legislación y se acredita haber seguido con aprovechamiento un programa de reentrenamiento de las características comentadas en el apartado de reentrenamiento. El CSN evalúa el programa y los informes semestrales que la central remite sobre el cumplimiento del mismo.

En el Anexo IV se relacionan las licencias en vigor de las centrales nucleares el 31 de diciembre de 1990.

La guía GS-01.1/86 se encuentra en revisión, con objeto de adecuarse a las exigencias surgidas y a la experiencia acumulada desde el año 86.

Naturalmente los exámenes que practica el Tribunal de Licencias han evolucionado en cuanto a profundidad, concreción, aspectos evaluados y metodología.

Aparte de la verificación efectuada por el CSN, la propia central nuclear y las empresas de entrenamiento y servicios también tienen sus propias verificaciones y pruebas.

CONCLUSIONES

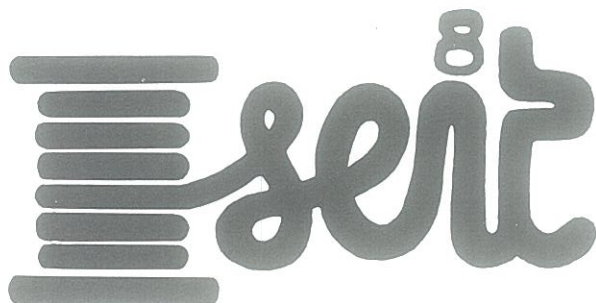
Dada la situación actual de la industria nuclear, no se espera, a corto plazo,

nuevas primeras tripulaciones. A no ser que se incrementen los requisitos reguladores en lo que se refiere al número de licencias por turno o cualificación del personal con licencia, las promociones sucesivas se contratarán para cubrir exclusivamente las bajas que se produzcan.

El número de licencias de centrales nucleares es 218. Este número es suficientemente importante como para pensar que las sustituciones que se produzcan van a suponer la promoción constante de nuevo personal con licencia. Por otra parte, es evidente que el mantenimiento de la cualificación del personal de operación es uno de los aspectos que más hay que cuidar.

Resumiendo el contenido de este artículo hay que constatar que las iniciativas de EE.UU. referidos en la introducción se han visto reflejadas en las modificaciones y proyectos iniciados o concluidos por nuestra industria y en las condiciones requeridas por el Organismo Regulador. Sabemos que aún hay camino por recorrer, pero nos encontramos con una labor realizada a un nivel por lo menos análogo de la de los otros países de la Comunidad a la que pertenecemos.

- Equipos y componentes eléctricos y almacén de servicio para Centrales Nucleares.
- Materiales para la construcción de líneas aéreas y subterráneas y estaciones transformadoras.
- Proyectos y realización "llave en mano" de minicentrales hidráulicas"



Gerona, 151 - 1.ª Planta. Teléfono 207 46 12 (12 líneas) Télex 50.508 ATSE-E. 08037 BARCELONA

Juana Ibarbourou, 12 local 11. Teléfono 41 27 00. 50013 ZARAGOZA

Vital Aza, 26. Teléfono 407 95 62 Télex 46.087 ATSE-E. 28017 MADRID