



J. Charles HUMPHREY es Ingeniero Eléctrico por la Universidad de Sheffield, Reino Unido. En 1974 ingresó en Westinghouse Nuclear en Bruselas como ingeniero de Instrumentación y Control. En 1975 fue transferido a Westinghouse Nuclear Española, participando en las fases de seguimiento de fabricación de equipos, construcción y puesta en marcha de centrales PWR, en los aspectos de instrumentación y control de sistemas. Desde 1981 estuvo dedicado al programa de actualización de la CN José Cabrera. En la actualidad participa como miembro del grupo de Ingeniería de Apoyo a la operación de CN Almaraz.

PAUTAS DE LOS PROGRAMAS DE EVALUACION Y REDUCCION DE DISPAROS

C. HUMPHREY

A medida que aumenta el número de centrales nucleares en servicio, tanto en España como en el extranjero, los factores de disponibilidad, generación, seguridad y rentabilidad de las instalaciones reciben una atención mayor por parte de los explotadores. Estos últimos, conscientes del interés evidente que tiene el compartir experiencias operativas, aúnan esfuerzos para desarrollar programas de evaluación de sus instalaciones y de la metodología de operación de sus centrales. Agrupándose en función del suministrador del sistema de generación nuclear de

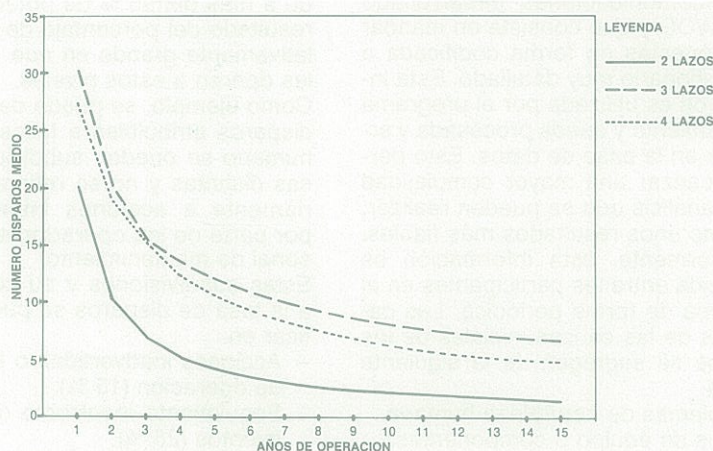
(WOG: Westinghouse Owners Group), uno de los programas de mayor envergadura es precisamente el de evaluación y reducción de disparos, objeto de este artículo.

La búsqueda de la reducción del número de disparos intempestivos está motivada fundamentalmente por las siguientes consideraciones:

- Pérdida de ingresos por generación.
- Elevado costo de la energía eléctrica de sustitución.
- Disminución de la vida útil de componentes y equipo debido a los transitorios a los que se ven sometidos durante y tras un disparo, así como el número mayor de operaciones de mantenimiento y, por tanto, de costo.
- Minimizar el número de actuaciones de los sistemas de seguridad.
- No influir negativamente sobre el nivel de aceptación de la energía nuclear por parte del público.

Los beneficios que se derivan del programa de evaluación y reducción de disparos del WOG son de índole diversa.

En primer lugar, la participación del suministrador principal asegura la utilización de la información y bases de diseño originales y de la documentación técnica de origen, incluidas las notas de cálculo de diseño, especificaciones de fabricación y compra del equipo instalado, todo ello manejado por los ingenieros responsables del diseño del sistema de generación nuclear de vapor. En segundo lugar, la presencia y participación de representantes de las plantillas de operación e ingeniería de apoyo de las compañías eléctricas, asegura un intercambio de información



FI Número de disparos totales por tipo de planta

vapor y con participación de éste como diseñador, los explotadores conciertan programas genéricos de estudio, desarrollo e incluso, en algunos casos, de licenciamiento que son de aplicación a cada uno de los miembros del grupo. En el grupo de propietarios de centrales PWR de Westinghouse

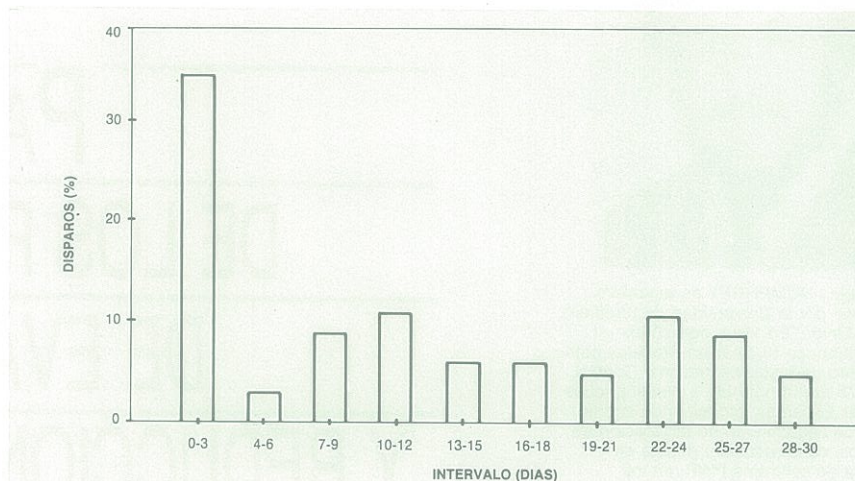
y experiencia operativa vital para conocer y evaluar los posibles problemas de tipo genérico que pudieran existir, así como para establecer una sólida y extensa base de datos, herramienta imprescindible para acometer programas a corto, medio y largo plazo una vez que las causas iniciales que dan origen a un disparo de reactor han sido identificadas y clasificadas. Además, existe una serie de reuniones periódicas enmarcadas en el programa que permiten la discusión y resolución de problemas por medio de opiniones expertas de los asistentes a ellas. Por otra parte, el programa facilita una interacción efectiva entre el suministrador principal y las compañías eléctricas de cara a las actividades de licenciamiento.

Finalmente, sirve también de punto focal para coordinar y llevar a cabo una labor de interfase efectiva con otras actividades en el área de reducción de disparos encuadradas en programas de otros organismos como el INPO (Institute of Nuclear Power Operation) o NUMARC (Nuclear Utility Management and Resources Committee).

El programa de evaluación y reducción de disparos que se lleva a cabo por el WOG, iniciado en junio de 1985, se divide en fases que abarcan un período de duración determinada, durante las cuales se desarrollan los temas convenidos. Cada fase está dividida en dos categorías, la primera de las cuales, la evaluación de disparos, se mantiene y pone al día constantemente a lo largo del programa; la segunda busca acciones correctivas a corto y medio plazo para reducir disparos por una causa determinada.

La evaluación de disparos es, de hecho, la segunda parte de una actividad laboriosa como es la búsqueda de la información, iniciada con la confección de una base de datos en la que se recogen los detalles de todos los disparos de centrales propiedad de los participantes norteamericanos desde el 1 de enero de 1980 hasta finales del 85, para clasificar por categorías las causas y áreas más importantes origen de disparos y definir acciones correctivas a corto plazo. Asimismo, sirve como base para identificar y coordinar las acciones correctivas a mayor plazo, una vez determinados campos de actuación genéricos para reducción de disparos de origen concreto.

Para confeccionar esta base de datos se analizaron informes de disparos de plantas, tanto en fase de aceptación como plantas en operación comercial, al comprobarse que las diferencias entre unas y otras eran mínimas y al proporcionar una muestra más amplia de la cual se podían sacar unas conclusiones más fiables. Esta base se ha visto



F II Distribución de disparos en los treinta días siguientes a una recarga (intervalos de tres días)

ampliada posteriormente por los datos de centrales no americanas y el seguimiento y puesta al día de los datos de las anteriores. Con la experiencia obtenida al confeccionar y utilizar la base de datos, ésta se revisa y perfecciona para obtener un proceso más ventajoso con un nivel de detalle mucho mayor al incluir las condiciones de la planta previas y posteriores al disparo, qué tipos de acciones correctivas se llevaron a cabo para volver a operación, determinar y clasificar las causas y subcausas del disparo e incluir información de la vuelta a operación.

Por otra parte, la información sobre disparos se transmite desde las propias centrales a través de un sistema de telecomunicaciones desarrollado por el WOG y que consiste en mandar las respuestas en forma codificada a un cuestionario muy detallado. Esta información es utilizada por el programa de tratamiento y queda procesada y archivada en la base de datos. Esto permite alcanzar una mayor complejidad en los análisis que se pueden realizar, así como unos resultados más fiables. Posteriormente, esta información es distribuida entre los participantes en el programa de forma periódica. Las categorías de las causas iniciales de los disparos se segregan de la siguiente manera:

- Problemas de naturaleza humana.
- Fallos de equipo o componentes.
- Deficiencias de diseño.
- Deficiencias de fabricación, construcción o instalación.
- Problemas de documentación.
- Causas externas.
- Otras causas o causas de origen desconocido.

Los análisis arrojan los siguientes resultados:

Un 63 % de los disparos son atribuibles a problemas de equipos o componen-

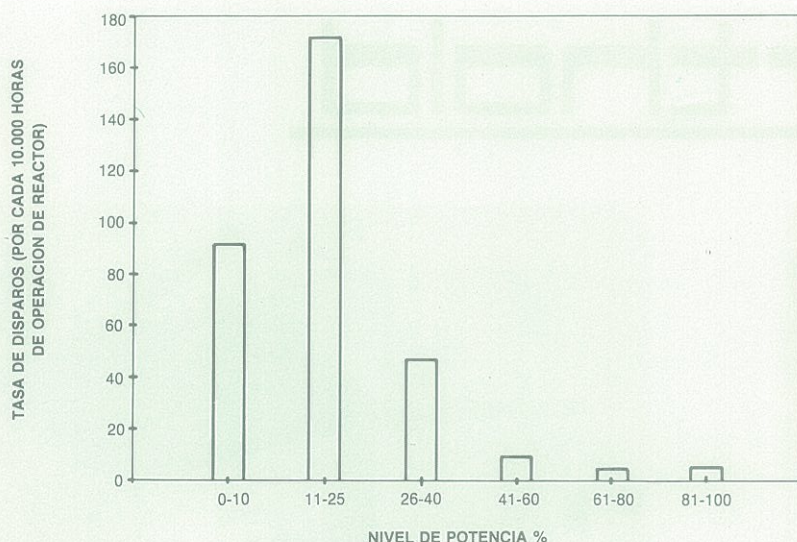
tes, mientras que un 37 % es debido a fallos humanos. Asimismo, los disparos se catalogan en función de las actividades que se llevan a cabo en la central en el momento del disparo y en la condición de la misma en dicho momento. A grandes rasgos se pueden resaltar varios datos como, por ejemplo, que el 35 % de los disparos ocurre durante actividades de mantenimiento, pruebas de vigilancia periódicas o calibración; un 15 % durante arranques o maniobras de cambios de niveles de potencia, mientras que sólo el 37 % de los disparos ocurre con la central en condiciones estables, aunque cabe destacar que el 43 % de todos los disparos se produce con la planta operando a más del 90 % de potencia, como resultado del porcentaje de tiempo relativamente grande en que las centrales operan a estos niveles.

Como ejemplo, se puede decir que los disparos atribuibles a fallos de origen humano se pueden subdividir en causas distintas y no se refieren necesariamente a acciones improcedentes por parte de los operadores o del personal de mantenimiento.

Estas subdivisiones y su contribución a la tasa de disparos se pueden clasificar en:

- Acciones inadvertidas o incorrectas de operación (15 %).
- Seguimiento incorrecto de procedimientos (28 %).
- Defectos de procedimiento (28 %).
- Problemas de comunicación, supervisión o mala coordinación (5 %).
- Deficiencias en el entorno del puesto de trabajo (13 %).
- Falta de conocimientos o de entrenamiento (11 %).

A medida que la base de datos y la experiencia operativa son mayores, los puntos más aparentes de la evaluación de disparos son como sigue:



F III Tasa de disparos en función del nivel de potencia

- Durante el arranque posterior a una parada de recarga, un porcentaje de disparos relativamente importante está relacionado con actividades de mantenimiento.
- Más de la mitad de los disparos relacionados con actividades de mantenimiento tras una recarga están asociados con mantenimiento efectuado a potencia, mientras que un número inferior se produce antes del acoplamiento de la unidad a la red.
- La tasa de disparos durante los tres días siguientes a una parada de cierta duración es cuatro veces mayor que la tasa de disparos durante los treinta días siguientes.
- Más del 40 % de los disparos, tras una recarga, son causados por factores humanos.
- Las centrales operan un porcentaje de tiempo de operación mínimo a niveles de potencia situados entre el 15 y el 25 %. Sin embargo, la tasa de disparos a esos niveles es casi treinta veces mayor que la tasa de disparos para operación a niveles de potencia normal.
- De alguna forma, más del 30 % de los disparos están relacionados entre sí. Esto es, se aprecia una posible disminución importante de disparos si éstos se pudieran evitar por medio de divulgación de estudios e instrucciones resultantes de sesiones de evaluación internas.

Se pueden establecer varias conclusiones orientativas en cuanto a las estrategias que deben ser desarrolladas para disminuir el número de disparos, como pueden ser la implantación de técnicas de mantenimiento preventivo o predictivo, la reducción de pruebas

de vigilancia con la planta en operación, el incremento y/o la mejora del entrenamiento del personal de explotación, y la revisión detallada y optimización de los procedimientos de operación.

Por otra parte, el proceso de los datos de las causas de los disparos permite la clasificación del sistema o sistemas donde se produce el origen del disparo. Estos pueden clasificarse por áreas de problemas en el sistema de protección del reactor, sistema de vapor principal, sistema de turbina generador, sistema de condensado, sistema de control de barras, sistema eléctrico o sistema de agua de alimentación. Este último contribuye en más del 35 % como causante de disparos y, por tanto, es el que mayor atención ha recibido para definir acciones correctivas a corto y medio plazo. Dentro de este apartado, dividiendo las condiciones iniciales de la central en operación por encima o por debajo del 25% de potencia, las subcategorías del origen de disparos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Problemas de suministro de agua de alimentación (28 %).
- Problemas de control y regulación (tanto en manual como en automático) (46 %).
- Transitorios y sus efectos sobre el control (9 %).
- Averías o fallos de equipo o componentes (17 %).

Los tipos de actuación en este campo son numerosos y diversos. Mejoras encaminadas a asegurar una mayor disponibilidad del sistema incluyen modificaciones de los internos de las válvulas de control principal para evi-

tar vibraciones o desgastes excesivos o sustitución total de las mismas, así como indicación de la posición del vástago de la válvula para el operador de sala de control. También se han llevado a cabo modificaciones en el sistema añadiendo bombas de condensado, instrumentando el sistema para presentar más ayudas e información a los operadores.

Otros componentes bajo estudio son las bombas de agua de alimentación. Estas son habitualmente motorizadas o de turbina, si bien algunas centrales tienen ambos tipos. Al menos una central ha añadido una bomba motorizada de agua de alimentación para condiciones de arranque que mejora el control de caudal a baja potencia. Otros problemas identificados han sido el sistema de aceite de lubricación de las bombas y su control, así como el proporcionar la presión suficiente en la aspiración de las bombas.

Sin embargo, el aspecto de la optimización de la regulación del control es la que más atención ha recibido. Muchas plantas han reconocido no poder efectuar un control preciso a bajos caudales con la válvula de control principal. Esto ha creado problemas en los arranques y ha sido una de las causas principales de disparos a baja potencia. Algunas centrales han instalado un nuevo sistema de control de agua de alimentación para baja potencia. Asimismo, se han implementado modificaciones en los actuadores de las válvulas.

Un primer paso hacia la mejora de la regulación ha sido la optimización de los puntos de tarado, ganancias, tiempos de integración y deriva de los sistemas instalados mediante el ajuste de los controladores tras unas pruebas a varios niveles de potencia donde se determinan las formas y tiempos de respuesta de los distintos equipos que configuran el sistema.

Finalmente, se ha desarrollado un nuevo sistema de control basado en una nueva teoría de regulación, con una modelización matemática validada por pruebas. El sistema, utilizando tecnología de microprocesadores, no sólo proporciona un medio de regulación anticipatorio y a todos los niveles de potencia, sino que se auto-verifica, comprueba y se calibra automáticamente de forma constante, discrimina señales erróneas de la instrumentación de campo ante -por ejemplo- el fallo de un sensor, memoriza la condición previa de la planta durante un cierto tiempo, es redundante y se auto-desconecta en caso de avería avisando de ello al operador. El sistema puede estar dotado de transferencia automática al sistema de apoyo redundante que permite resolver la avería y