

Ingeniería de Factores Humanos en las modificaciones de diseño en centrales nucleares

L. Fernández, F. Ortega, P. Trueba y J.C. Valdivia

Los Factores Humanos constituyen una importante área que debe ser tenida en cuenta en el diseño de ingeniería. La aplicación de criterios de factores humanos da lugar a la denominada Ingeniería de Factores Humanos (IFH), su aplicación significa un eslabón fundamental en el diseño y desarrollo de las Modificaciones de Diseño (MD) de las instalaciones industriales. Tiene especial importancia en las MDs que se realizan en las instalaciones de generación de energía eléctrica.

Se dispone de normativa que la regula y se ha elaborado una metodología para su implantación, de forma que se consigue una importante reducción de riesgos de fallo y se mitigan las consecuencias de los posibles incidentes.

Human Factors are a significant area to be kept in mind in engineering designs. Human Factors criteria application leads to the so called Human Factors Engineering (HFE). Its application must be considered as a paramount element for developing and implementing Design Modifications in Industrial facilities. It is especially significant in those Design Modifications carried out in Electric Power Generation facilities.

There are regulations available for these activities and a methodology for their implementation has been prepared so that failure risks are significantly reduced and potential event consequences are minimized.

ANTECEDENTES

A principio de los años ochenta, y a raíz del incidente de Three Mile Island, se empezaron a analizar en detalle y de forma sistemática aquellos aspectos de operación de centrales que anteriormente habían estado en segundo lugar, relegados por elementos de diseño y construcción.

Los resultados del mencionado suceso determinaron que las actuaciones de los operadores de la Sala de Control, y en una palabra, lo que se denomina Ingeniería de Factores Humanos (IFH), constituía un elemento muy importante en la aparición, prevención y mitigación de accidentes e incidentes en centrales nucleares y en definitiva en su operación segura y fiable.

Como consecuencia de lo anterior, se generaron normas y regulaciones que suponían que todas las centrales en operación y los solicitantes de licencia tuvieran que realizar una revisión detallada del diseño de las salas de control.

Tecnatom participó muy activamente en esta actividad, en estrecha colaboración con los operadores de las centrales, intentando identificar y corregir, o mejorar, todos los criterios de interfase hombre-máquina (factores humanos y operacionales) identificados por la normativa,

y teniendo también en cuenta todas las experiencias operativas relacionadas, procedentes de la industria nuclear mundial. Adicionalmente, se modificaron los planes de entrenamiento de los operadores de Sala de Control y se diseñaron y desarrollaron nuevos procedimientos de operación de emergencia que incluyeron entre otras mejoras, formatos más sencillos, operación por síntomas (sin diagnóstico del suceso), y operación ante fallos múltiples.

Como complemento de lo anterior, y dada la aparición de las nuevas tecnologías informáticas, la Ingeniería de Factores Humanos (IFH) se empezó a aplicar en el diseño y desarrollo de nuevas ayudas a la operación, comenzando por los denominados SPDS (Sistemas de vigilancia de parámetros de seguridad).

LA INGENIERIA DE FACTORES HUMANOS

La Ingeniería de Factores Humanos (IFH) es la aplicación del conocimiento sobre las capacidades y limitaciones humanas al diseño de equipos y sistemas de Planta.

El objetivo es poder asegurar que el diseño, las tareas a realizar por las personas y las condiciones ambientales del lugar de trabajo sean compatibles con



LUIS ÁNGEL FERNÁNDEZ ILLOBRE es Jefe de la Unidad de Sistemas de Ayuda a la Operación e Ingeniería de Factores Humanos de Tecsatom.



FERNANDO ORTEGA PASCUAL es Gerente del Área de Simulación y Salas de Control de Tecsatom.



PEDRO TRUEBA ALONSO es especialista en Ingeniería de Factores Humanos y Sistemas de Ayuda a la Operación de Tecsatom.



JUAN CARLOS VALDIVIA MARTÍN es especialista en Ingeniería de Factores Humanos y Sistemas de Ayuda a la Operación de Tecsatom.

los atributos cognitivos y físicos de las personas que operan, mantienen y prestan soporte a la Planta.

En la actualidad, las actividades realizadas por Tecnatom en el área de la IFH se centran fundamentalmente en el suministro de servicios que cubran los aspectos contemplados en los estándares internacionales.

El objetivo de estas actividades es la aplicación de la IFH a la Planificación, Análisis, Diseño, Pruebas e implantación de interfases hombre-máquina de forma que se garanticen la suficiencia y calidad de la información y controles requeridos por el operador.

Dentro de los proyectos de modernización, ocupa un lugar importante en las actividades de Tecnatom el Diseño, Verificación y Validación de Sistemas computarizados de ayuda a la operación. Ejemplos de estos sistemas son los SPDS (sistemas de vigilancia de parámetros de seguridad), sistemas de filtrado y priorización de alarmas, sistemas de diagnóstico de incidentes y sistemas de validación de señales. También se aplica la IFH en proyectos de Modernización de sistemas de supervisión y control, en los que se pasa de sistemas analógicos a digitales.

Una herramienta muy importante que permite optimizar la integración en la central son los simuladores de alcance total, en los que se instala previamente el nuevo sistema de control. Mediante el uso de estos simuladores se optimizan los procesos de Verificación y Validación de Factores Humanos así como la familiarización de los operadores con los nuevos sistemas de forma anticipada a la puesta en servicio de éstos.

EXPERIENCIAS

Tecnatom ha realizado actividades de IFH en muchas de las centrales nucleares españolas así como en centrales extranjeras. Algunos ejemplos de proyectos realizados en el extranjero son el análisis, diseño, verificación y validación de todos los "displays" de supervisión y control de una central de diseño avanzado del tipo de agua en ebullición ABWR en Taiwán, la verificación y validación de los sistemas de alarmas y de procedimientos computarizados de la central PWR de Beznau (Suiza) y la verificación de la Sala de Control de una de las unidades de la central de Sud-Ucrania.

La experiencia adquirida, así como el intenso contacto mantenido con las centrales a lo largo del tiempo, la amplia experiencia en la realización de servicios, tanto técnicos como docentes, y la participación en numerosas actividades internacionales, han llevado a consolidar las actividades actuales de la IFH.

A través de la participación de Tecnatom en proyectos internacionales de investigación y desarrollo en el área de la IFH se tiene acceso a las últimas tendencias y experiencias de la industria, así como a los avances tecnológicos que se van produciendo en el área de dicha Ingeniería. Un ejemplo de ello es la participación en el Proyecto Halden-OCDE, en el que Tecnatom es el representante español en el área MTO (Man-Technology-Organisation). Los resultados de este Proyecto en áreas relacionadas con la Actuación Humana en Sala de Control, diseño y evaluación de interfaces hombre-máquina y salas de control, realidad virtual aplicada al diseño de salas de control, nuevas técnicas y herramientas para optimizar la operación de las centrales nucleares, se aplican directamente en los servicios y productos desarrollados por Tecnatom.

Aspectos tales como el diseño de las nuevas salas de control, diseño de interfaces hombre-máquina innovadoras, sistemas avanzados de alarmas, nuevos sistemas computarizados de apoyo a la operación, comportamiento humano en los nuevos entornos computarizados, son un reto importante que Tecnatom, a través de la experiencia y conocimientos acumulados y gracias a la participación en proyectos internacionales de investigación en el área de la IFH, está preparada para abordar.

NORMATIVA Y ESTÁNDARES

No existe una normativa genuinamente española a la hora de aplicar la IFH a las MD's en España, por ello en general se aplica la americana.

La mención de MD's en la normativa española se indica tanto en el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactiva (RINR) como en la Guía de Seguridad 1.11 (Modificaciones de diseño en centrales nucleares).

La Guía de Seguridad 1.11 del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) propone métodos para cumplir con: el RINR, las autorizaciones de explotación de centrales en operación, las modificaciones en el diseño (MD's), las modificaciones en las condiciones de explotación y en la realización de pruebas. Además identifica la información relativa a las MD's que se deben remitir al CSN y a la Dirección General de Política Energética y Minas (DGPEM).

La Guía de Seguridad 1.11 está emparentada con la normativa americana y en concreto con la Guía Reguladora 1.187 ("Guidance for implementation of 10 CFR 50.59 Changes, Tests and Experiments") y que como figura en su título, indica como cumplir con la ley americana 10 CFR 50.59 relacionada con cambios pruebas y experimentos.

La Guía Reguladora 1.187 se desarrolla en el estándar NEI 96-07 ("Guidelines for 10 CFR 50.59 Evaluations") y NEI 01-01 ("Guideline for Licensing Digital Upgrades").

Tanto en la Guía de Seguridad 1.11 como en la normativa americana se plantean una serie de preguntas relativas a las modificaciones, que en el caso de tener una respuesta positiva implicarían realizar tanto un análisis como una evaluación de seguridad. Para ello aquellas actividades que están relacionadas con sistemas de seguridad y el desarrollo de evaluaciones o análisis de seguridad se encuentran descritas en el NUREG-0800 ("Standard Review Plan"). En el caso de la IFH las cuestiones a tener en cuenta se encuentran en el capítulo 18. Este documento ha sido preparado para que la "Nuclear Regulatory Commission" (NRC, organismo regulador americano) realice las evaluaciones de seguridad de diseños nuevos o modificaciones tanto bajo la ley 10 CFR Parte 50 (relacionada con centrales convencionales) como la ley 10 CFR Parte 52 para centrales avanzadas.

El objetivo del citado capítulo 18 es mejorar la seguridad verificando que las prácticas y guías aceptables de IFH se han incorporado al diseño; y en el caso de MD's se extiende a:

- Modificaciones, a iniciativa de la central, de aspectos de la interfaz.
- Modificaciones en la Sala de Control e interfaces locales.
- Modificaciones que impliquen cambios en los análisis de seguridad como parte del proceso descrito en el la ley 10 CFR Parte 50.59
- Modificaciones que afecten a acciones humanas importantes para el riesgo.
- Finalmente, también puede ser aplicable a modificaciones que afecten a cambios en las acciones humanas.

De lo anterior se deduce que de acuerdo al NUREG-0800, la IFH no sólo afecta a MD's relacionadas con sistemas de seguridad, si no que también afecta a sistemas de no seguridad. Esto parece conveniente de cara a minimizar riesgos durante la operación y el uso de los diferentes sistemas.

Las actividades concretas, o Elementos, de la IFH se desarrollan en el NUREG-0800 parcialmente y de forma completa en el NUREG-0711 ("HFE Program Review Model"). (ver figura 1).

Aunque para una modificación dada no siempre son aplicables todas las actividades, ya que dependerán del alcance de la misma, el modelo completo de la IFH se extiende a los siguientes Elementos:

1. Gestión del Programa de la IFH.
2. Revisión de Experiencias Operativas.

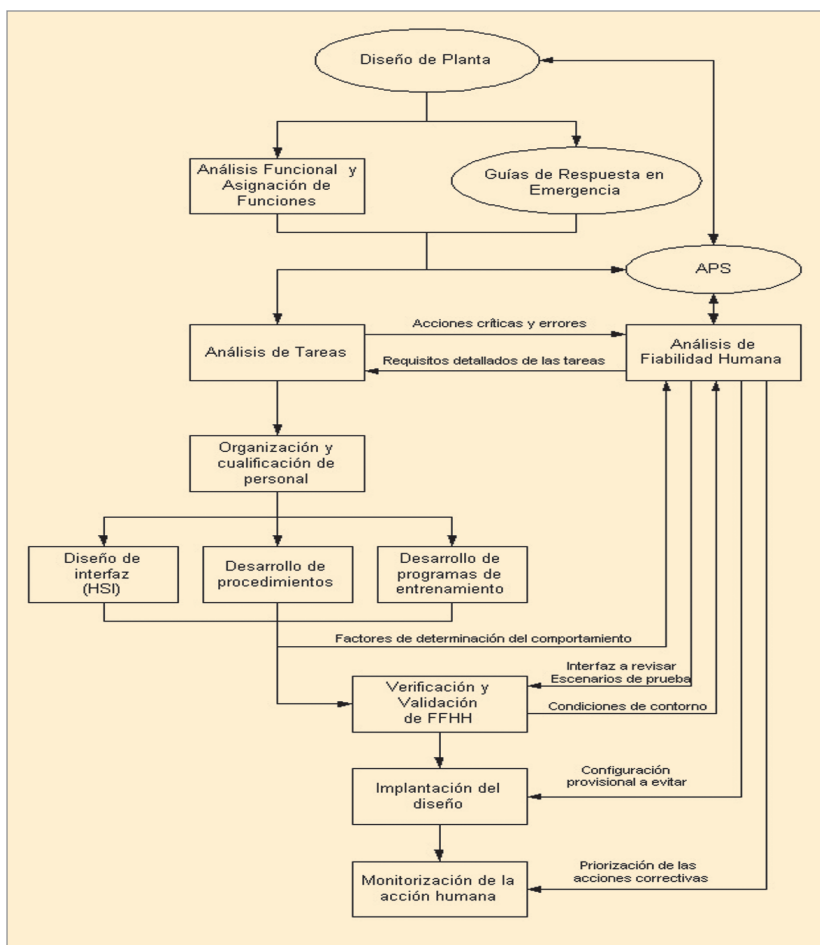


Figura 1. Proceso de implantación del programa de IFH, según el NUREG-0711.

3. Análisis de Requisitos Funcionales y Asignación de Funciones.
4. Análisis de Tareas.
5. Organización del personal.
6. Análisis de Fiabilidad Humana.
7. Diseño de la Interfaz.
8. Desarrollo de Procedimientos.
9. Desarrollo del Entrenamiento.
10. Verificación y Validación.
11. Implantación del Diseño.
12. Monitorización de la Actuación Humana.

El CSN recomienda el uso del NUREG-0711 en las modificaciones de las centrales existentes; por ello, su conocimiento y aplicación en España es fundamental.

Además del NUREG-0711 hay otros documentos de aplicación para algunos Elementos, como el NUREG-6400 ("Human Factors Engineering (HFE) Insights for Advanced, Reactors Based Upon Operating Experience") para el caso de la revisión de experiencias operativas; el NUREG-0700 ("Human-System Interface Design Review Guidelines") para el caso de Verificación de Factores Humanos, y el NUREG-6393 ("Integrated System Validation: Methodology and Review Criteria") para la

Validación Integrada de Factores Humanos.

Además de la normativa anteriormente citada proveniente de la NRC debe destacarse, a efectos de conseguir unos equipos físicos fácilmente operables y mantenibles, la referencia EPRI NP 4350 ("Human Engineering Design Guidelines for Maintainability").

Finalmente cabe destacar que, dado que no todas las centrales nucleares existentes en España son de tecnología americana, en el caso especial de la CN de Trillo se sigue otro tipo de normativa, como la alemana KTA y las de tipo Europeo ISO 11064 (Diseño ergonómico de los centros de control, equivalente hasta cierto punto al NUREG-0711) y los muchos documentos ISO 9241 (equivalentes en gran medida al NUREG-0700).

ELEMENTOS DE DISEÑO

Tecnatom ha realizado el desarrollo de actividades de la mayoría de los Elementos del NUREG-0711. A continuación se detallan las actividades a realizar en cada uno de los Elementos del NUREG-0711, clasificados según las diferentes fases del proyecto:

Fase de planificación

• Elemento 1: Gestión del Programa de la IFH

En este Elemento debe elaborarse un plan integral para incorporar principios de la IFH en el diseño o modificación de centrales nucleares. Es el primer paso importante para informar a los responsables del diseño, construcción/ desarrollo y operación de los posibles beneficios derivados de la implantación de la IFH (influencia del comportamiento humano). En dicho plan, se deben definir:

- Las actividades a realizar: Desarrollo de una serie de metodologías para seleccionar las características de diseño que cumplan los requisitos y objetivos generales de la instalación y de los sistemas que la componen, así como para realizar las evaluaciones del diseño desde el punto de vista de factores humanos e implantación de esas metodologías en el diseño de sistemas.
- La Formación de un equipo de Factores Humanos con sus cualificaciones necesarias: El equipo de factores humanos forma parte integrante del equipo de diseño, manteniendo una fuerte relación con las organizaciones de ingeniería, pero simultáneamente con independencia de acción y libertad para evaluar diseños y proponer cambios que mejoren el comportamiento humano. (ver figura 2).

Tecnatom ha formado parte del equipo de diseño y factores humanos colaborando en el diseño de varias centrales con reactores nucleares avanzados, en la realización de metodologías, y llevando posteriormente a la práctica la implantación de dichas metodologías en el diseño de los sistemas de cada central. Esto se ha llevado a cabo mediante la realización del análisis operacional de los sistemas de la central, el diseño de la interfaz hombre-máquina y las correspondientes verificaciones y validaciones para las modificaciones realizadas en centrales nucleares españolas.

Fase de Análisis

• Elemento 2: Revisión de experiencias Operativas

Los objetivos de la Revisión de Experiencias Operativas (REO) son:

- Asegurar que se han identificado y analizado los problemas y cuestiones de la IFH de diseños previos.
- Asegurar que las características negativas de diseños previos se han evitado y que se han mantenido las positivas.

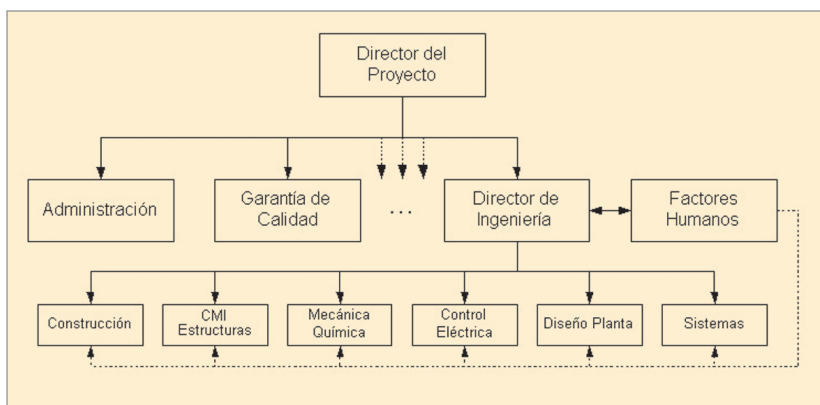


Figura 2. El equipo de Factores Humanos en la organización.

• **Elemento 3: Análisis de Requisitos Funcionales y Asignación de Funciones**

En este Elemento debe elaborarse un plan de implantación para que con cada sistema implicado en la MD, el equipo de Factores Humanos responda a la pregunta: ¿QUÉ hace el sistema?

El análisis de las funciones de los sistemas de la MD determina los requisitos necesarios para cumplir dichas funciones, mediante una descomposición top-down: general a específico, desde el enunciado de cada función hasta los requisitos soporte de cada componente del sistema que interviene. El resultado que se obtiene son los parámetros que hay que vigilar/controlar, el listado de componentes y sus correspondientes estados que son necesarios para la consecución de cada modo de operación, así como las condiciones que permitan a cada componente, alcanzarlo.

El equipo de Factores Humanos al final debe también realizar un análisis de la asignación de la supervisión y control de las funciones analizadas. El proceso es por lo tanto realizar asignaciones al hombre, a la máquina o a ambos de las funciones analizadas, teniendo en cuenta las capacidades del ser humano, y obteniendo como resultado la confirmación de que dicha asignación es adecuada o realizando las oportunas

recomendaciones y propuestas de cambio en los niveles de automatización del diseño considerado. En esta fase final se define entonces QUIEN vigila/controla de forma adecuada los requisitos funcionales según los principios de la IFH.

• **Elemento 4: Análisis de Tareas**

En este Elemento debe elaborarse un plan de implantación para que con cada sistema implicado en la MD el equipo de Factores Humanos responda a las preguntas: ¿CÓMO se maneja el sistema? y ¿Qué ELEMENTOS son necesarios para ello?

Por ello, en el Análisis de tareas se procede a la Identificación de lo que tiene que realizar el personal de Planta para cumplir con las funciones asignadas, así como los requisitos de información y control necesarios para cumplir dichas funciones: dispositivos de Control y Supervisión, alarmas, sistemas de comunicación, procedimientos, requisitos de formación específicos, etc.

El análisis incluye todas las condiciones de operación (secuencias operativas) en las que el sistema involucrado en la MD es requerido en el contexto de operación de la planta.

• **Elemento 5: Organización del personal**

La organización del personal que inte-

ractúa con los sistemas objeto de análisis normalmente estará ya establecida; sin embargo, la importancia de la MD puede inducir a propuestas de cambio en la misma.

El Análisis de la Asignación de Funciones y el posterior Análisis de Tareas mostrarán tal necesidad de modificación en la organización del personal y señalará los motivos específicos de la misma.

• **Elemento 6: Análisis de Fiabilidad Humana**

Dependiendo del tipo de MD, es requerida la realización de un Análisis de Fiabilidad Humana (AFH). Se procede a realizar un análisis de los mecanismos de error humano para minimizar su impacto en el nuevo diseño del sistema.

El objetivo es asegurar que los errores si existiesen, puedan ser detectados y se puedan solucionar.

Se debe poder asegurar que el Análisis de Fiabilidad Humana está integrado con el Análisis Probabilística de Seguridad (APS).

Fase de Diseño

• **Elemento 7: Diseño de la Interfaz**

Este Elemento incluye el diseño y desarrollo del contenido y forma de la interfaz que puede ser tanto en un diseño de tipo convencional (panel hardware) como de tipo avanzado (interfaz software). La actividad incluye tanto la interfaz de la Sala de Control como la de los cuadros o paneles locales:

- Definición del contenido de la interfaz: determinado por el resultado del Análisis de Requisitos Funcionales y Asignación de Funciones y el Análisis de Tareas.

- Definición de la forma de la interfaz: indicando cómo se representan los requisitos y análisis anteriores, teniendo en cuenta los criterios y principios de la IFH (NUREG-0700).

En el caso de la disposición de los Elementos físicos dentro de la central

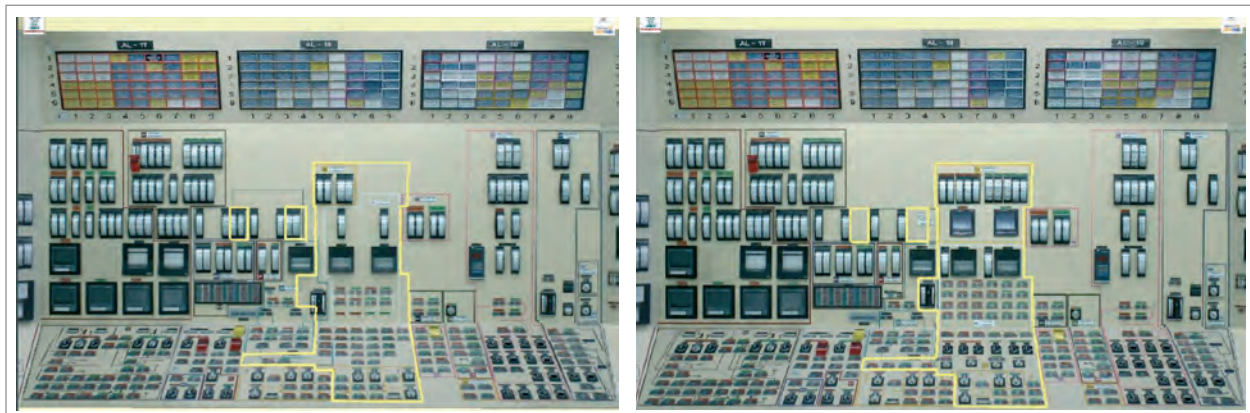


Figura 3. Realidad virtual: ejemplo de dos opciones de diseño de un panel.

debe diseñarse la disposición de forma que estos puedan operarse y mantenerse de una forma fácil, fiable y segura.

Una herramienta que se ha mostrado muy útil, como ayuda al equipo de diseño, es la Realidad Virtual. La elaboración de un diseño utilizando esta técnica permite al equipo de diseño poder comparar diferentes alternativas, mostrando el resultado final sin construirlas realmente, y así poder elegir la que resulte más idónea. (ver figura 3).

• Elemento 8: Desarrollo de procedimientos

En este Elemento se desarrollan los procedimientos a ser utilizados dentro del alcance de la MD, mediante la aplicación de principios y guías de factores humanos junto con otros requisitos de diseño.

Para esta actividad dos fuentes de información son fundamentales:

- El Análisis de Tareas realizado de forma previa donde se incluyen además las recomendaciones que el equipo de Factores Humanos haya indicado.
- El procedimiento anterior existente antes de ser modificado el sistema.

El objetivo es que los procedimientos resultantes sean técnicamente exactos, entendibles, explícitos, fáciles de usar y validados.

• Elemento 9: Desarrollo del entrenamiento

En este Elemento se identifican las necesidades específicas de formación a partir de los análisis anteriores.

En caso de las MD's, cualquier variación sobre la formación del personal de Operación quedará de manifiesto en el Análisis de Tareas, marcando el componente y la tarea específica que lo

determina. Con estos resultados se obtienen datos para:

- El desarrollo de los objetivos de aprendizaje derivados del análisis de la actuación deseada tras el entrenamiento.
- El desarrollo y evaluación del entrenamiento basado en los objetivos de aprendizaje.
- La evaluación y revisión del entrenamiento basándose en la actuación del personal en el puesto de trabajo.

Fase de Pruebas

• Elemento 10: Verificación y Validación

En este Elemento se revisa el diseño realizado, y en algunos casos construido, para asegurar que ha sido realizado de acuerdo a los principios de la IFH. (ver figura 4).

La verificación tiene dos fases:

- La primera fase es la Verificación de Apoyo a Tareas, y consiste en comprobar que con el diseño de la interfaz y sus componentes (controles e indicadores) pueden realizarse todas las tareas que se han descrito en el Análisis de Tareas y que no hay ningún componente de la interfaz sin tarea asignada.
- La segunda fase es la Verificación del Diseño, y consiste en comprobar que las guías o directrices aplicables y seleccionadas a partir de la normativa de factores humanos aplicable se cumplen, documentando aquellas que no se cumplen. (ver figura 5).

Una tercera fase no recogida normalmente en los estándares de la NRC es la Verificación de la Mantenibilidad de los equipos dispuestos en la central (sólo se mencionan sistemas digitales). Esta verificación garantiza que el diseño e instalación de equipos en planta se ha

realizado teniendo en cuenta al personal involucrado en la operación, mantenimiento o reparación de dichos equipos (ensamblado, desmontado, vigilancia, etc.) para que se puedan realizar estas actividades de manera efectiva y eficiente. (ver figura 6).

La Validación Integrada del sistema es el proceso mediante el cual la interfaz se evalúa mediante pruebas basadas en la actuación de turnos de operación, para ver la aceptabilidad del diseño y que la interfaz es operable. La validación suele centrarse en aquellas cuestiones que no hayan podido ser evaluadas durante la verificación. Aunque existen muchos métodos para realizar esta actividad, lo habitual para sacar resultados concluyentes es utilizar un simulador en donde se sigue la actuación de operadores ante determinados escenarios seleccionados y relacionados con la modificación o con la operación de toda la central si es un diseño nuevo. Una evaluación integrada del hardware, software y personal de Operación, mediante pruebas basadas en escenarios, permite determinar si se realiza una operación segura de la Planta.

Implantación y Operación

• Elemento 11: Implantación del diseño

La implantación del diseño debe estar bien definida con procedimientos de instalación, puesta en marcha y pruebas.

En este Elemento se debe poder asegurar que el diseño construido en la central es igual que el diseño verificado y validado resultante del proceso de IFH. Esto se debe a que no siempre el diseño verificado y validado es completamente equivalente al construido, si se han hecho pruebas con un diseño, o con un diseño construido en simulador.

Además este Elemento sirve también para comprobar aspectos que no se pudieron evaluar durante la Verificación y Validación del diseño o que se han modificado como resultado de alguna discrepancia detectada. Todas las cuestiones o discrepancias generadas durante el proceso de diseño y construcción deben quedar resueltas en este Elemento.

• Elemento 12: Monitorización de la actuación humana

El objetivo de este Elemento es tener preparado un plan de monitorización de la actuación humana de forma que se asegure que las conclusiones del proceso de Verificación y Validación se mantienen a lo largo del tiempo, sin necesitar nuevos procesos de Verificación y Validación.

Para ello se elabora un programa de monitorización de la actuación humana para asegurar que:



Figura 4. Verificación y validación.



Figura 5. Verificación del diseño.

- El diseño puede ser utilizado.
- Los cambios en la interfaz, los procedimientos y el entrenamiento que se realicen no afectan negativamente en la actuación humana.
- Las acciones humanas pueden realizarse dentro de los límites de tiempo definidos.
- El nivel de actuación establecido durante la Verificación y Validación se mantiene.

UN ENFOQUE INTEGRADOR Y SISTEMÁTICO DE APLICACIÓN

El establecimiento de una sistemática de aplicación de las metodologías asociadas a la IFH a las modificaciones de planta de un modo eficiente constituye un reto importante.



Figura 6. Verificación de la mantenibilidad.

La experiencia reciente sobre modificaciones de planta relevantes como son por ejemplo los nuevos sistemas de refrigeración de CN Vandellós, ha puesto de manifiesto dificultades en la aplicación de las metodologías básicas, esencialmente en lo relativo a la interrelación de las planificaciones de ingeniería de diseño y de factores humanos, pero también ha mostrado resultados muy positivos en lo que a mejora del diseño se refiere y al apoyo a otras actividades colaterales relacionadas con la operación.

Como aspecto más relevante de cara al futuro, se han obtenido lecciones aprendidas que harán mejorar este proceso optimizándolo e integrándolo con otras actividades colaterales.

Uno de los aspectos más críticos está asociado al hecho de que la IFH no sea una actividad que pueda correr en paralelo con otras, sino que esté imbricada con las demás. La ingeniería de diseño debe considerar la IFH como parte de una misma unidad y no como algo ajeno que se añade con posterioridad. En este sentido el diseño debe nutrirse de los resultados de los análisis de la IFH, facilitando dicho diseño.

Por otro lado, alrededor de las modificaciones de diseño se articulan una serie de actividades que deben integrarse en un esquema único que consiga el máximo aprovechamiento de las sinergias y que aproveche todos los resultados de la aplicación de la metodología de IFH. Sin ánimo de ser exhaustivo podemos apuntar como actividades que presentan ciertas sinergias, además del diseño, ya comentado anteriormente:

- El estudio e incorporación de las modificaciones en el simulador, en oca-

siones con anterioridad a la ejecución en planta.

- La revisión de la experiencia operativa asociada.
- La aplicación de las metodologías de factores humanos, incluido el análisis de tareas.
- La realización de pruebas de verificación y validación del diseño en el simulador, tanto en aspectos operaciones como de la IFH.
- La formación a los turnos previa a la recarga, con el consiguiente desarrollo de material didáctico específico.
- La revisión de los procedimientos de operación afectados.
- La actualización del material didáctico asociado al plan de formación de los operadores.

Otro aspecto a resaltar es la necesidad de adecuar la metodología general a la magnitud específica de cada modificación de diseño, de modo que la aplicación de una sistemática general a todas las modificaciones de planta no resulte en una innecesaria complejidad añadida y consecuentemente un sobre coste relevante para la central.

CONCLUSIONES

Las experiencias obtenidas en los procesos de la IFH que Tecnatom ha venido realizando han resultado muy positivas de cara a mejorar todas las interfaces que han sido objeto de análisis, diseño y evaluación.

Tecnatom ha desarrollado una metodología para la ejecución y desarrollo de la gran mayoría de Elementos de diseño del programa de la IFH, y para la aplicación de conceptos y principios de la IFH en las diferentes fases del proceso de ejecución de una MD. Además, el método seguido es lo suficientemente flexible para ser adaptado a cualquier tipo y tamaño de MD y ha sido aplicado con éxito en diferentes proyectos (nacionales e internacionales).

En cualquier caso, una óptima aplicación del método requiere la estrecha colaboración del equipo de Factores Humanos con los diferentes Elementos involucrados en la ejecución de un proyecto de modificación de diseño, y no ser un componente aislado.

En consecuencia la aplicación de la IFH a las modificaciones de planta debe realizarse de forma sistemática utilizando un enfoque integrador y metodologías adaptables a las características específicas de cada modificación de diseño, considerando las interfaces hombre-sistema en Sala de Control y en campo. ■