

Evaluación de la Usabilidad para la Tarea de Supervisión Humana en Sala de Control Industrial

Pere Ponsa*, Beatriz Amante**, Marta Díaz***

**Departamento de Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática Industrial, UPC Universidad Politécnica de Catalunya, EPSEVG, Av. Víctor Balaguer s/n, 08800 Vilanova i la Geltrú, España, (e-mail: pedro.ponsa@upc.edu)*

***Departamento de Proyectos de Ingeniería UPC Universidad Politécnica de Catalunya, ETSEIAT, c/ Colom 11, 08222 Terrassa, España, (e-mail: beatriz.amante@upc.edu)*

****4all-L@b Laboratorio Usabilidad, UPC Universidad Politécnica de Catalunya, EPSEVG, Av. Víctor Balaguer s/n, 08800 Vilanova i la Geltrú, España, (e-mail: marta.diaz@upc.edu)*

Resumen: En tareas de supervisión humana de sala de control industrial se aplican de forma genérica disciplinas como la seguridad y la ergonomía física para el diseño de la sala de control. Desde el punto de vista de la interacción persona-ordenador, a estas disciplinas hay que añadir la ingeniería de la usabilidad y la ergonomía cognitiva ya que aportan pautas para el diseño centrado en el usuario. Este artículo presenta una guía ergonómica de diseño para la mejora de la calidad de una interfaz de supervisión industrial, y propone la evaluación de la usabilidad para medir la eficiencia del operario de sala de control industrial. El artículo muestra la aplicación de la guía sobre el simulador de alcance total del Centro de Tecnología Azucarera, para contribuir al programa de formación de operarios en aspectos de mejoras de rendimiento del sistema persona-ordenador en procesos productivos complejos. Copyright © 2009 CEA-IFAC.

Palabras Clave: supervisión, sistema persona-máquina, métodos de diseño, control de procesos industriales, cognición y control.

1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito del control de procesos industriales es habitual el uso de técnicas de modelado, control avanzado y optimización, siendo una de las técnicas más empleadas el control predictivo y la simulación de procesos continuos distribuidos. En la aplicación a la industria azucarera, el control de procesos se complementa con programas de formación de los operarios en la tarea de supervisión (Rodríguez y León, 2002), (Rodríguez et. al., 2004), (Normey-Rico y Camacho, 2006), (Santos et. al., 2008), (de Prada et. al., 2008), (Ramirez et. al., 2008).

Uno de los factores a considerar en el análisis de tareas que debe llevar a acabo un operario de supervisión de sala de control en la industria es el denominado diseño centrado en la persona (Holstom, 2000), (Stanton et. al., 2003). La disciplina conocida internacionalmente como Human Factors, que en Europa se conoce como Ergonomía, ayuda en el diseño de sistemas y productos seguros, fiables y fáciles de usar. Uno de los principales objetivos es la reducción del error humano en tareas de supervisión y la mejora de la usabilidad (Noyes y Bransby, 2001), (Nimmo, 2004).

El diseño centrado en la persona se aplica a una gran variedad de industrias, como por ejemplo: gas, petróleo, planta nuclear, control tráfico aéreo, aeronáutica (Green y Green, 2008), (Smith y Walker, 2004). Las áreas temáticas importantes del diseño centrado en la persona aplicables a sala de control industrial son:

- Diseño de sala de control
- Diseño de interfaz
- Usabilidad
- Entrenamiento de operarios
- Error humano en tareas de supervisión
- Seguridad

Para concretar mejor el objetivo de este artículo conviene detallar brevemente cada área temática.

El concepto de diseño de sala de control está reflejado en la normativa internacional ISO 11064 que se centra básicamente en la organización del trabajo, la asignación de tareas a personas y máquinas, ergonomía física y distribución de equipos de control y visualización de la sala de control (ISO 2004). Para la implementación de una sala de control se recurre a empresas de ingeniería especializadas en el diseño de propuestas basadas en aspectos ambientales como la iluminación y el comfort que intentan minimizar la fatiga física que puede aparecer en el desarrollo de la tarea (Aplein, 2007). Uno de los aspectos importantes a considerar en la distribución de tareas a personas y máquinas es la vigilancia de los procesos controlados por parte de las personas. La monitorización de los procesos productivos se produce mediante monitores situados en la pared que permiten ver en detalle algunos dispositivos en planta, acompañada de la monitorización que se realiza sobre la interfaz gráfica en ordenador, y sobre indicadores analógicos y digitales presentes en la sala de control. Las acciones de control por parte

de los operarios se llevan a cabo directamente sobre algunos dispositivos controladores en la sala de control, así como a través de la interfaz gráfica en ordenador, siendo en algunas ocasiones necesario dejar la sala de control y acceder a la planta para verificar el comportamiento de algunos dispositivos.

El concepto de diseño de interfaz procede de la disciplina que se conoce como ingeniería del software, y una rama importante que se denomina interacción persona ordenador. En este ámbito se diseñan interfaces de usuario y se utilizan recomendaciones de diseño basadas en directrices genéricas (Shneiderman y Plaisant, 2006). El procesamiento de la información presente en la interfaz está relacionado con modelos cognitivos de las personas, por lo que en este caso, la ergonomía física deja paso a la ergonomía cognitiva, disciplina que se encarga de estudiar los aspectos conductuales y cognitivos implicados en la interacción entre personas y máquinas (Cañas, 2004).

En muchas ocasiones es habitual que un diseñador externo se encargue de diseñar la interfaz de supervisión en función a los conocimientos sobre la planta física y el conjunto de procesos físico-químicos aportados por los ingenieros de proceso (Rodríguez, 2007). Si bien existen estándares sobre seguridad en los sistemas persona-máquina que inciden en aspectos de ergonomía física y el mantenimiento, es notable la ausencia del diseño de sistemas interactivos centrados en el usuario donde la ingeniería de la usabilidad y la ergonomía cognitiva pueden aportar mejoras significativas (Granollers et. al. 2005), (Nielsen, 1993).

La usabilidad tiene en cuenta el uso que hace de la interfaz el operario, así como el grado de satisfacción del usuario. En este sentido, también hay recomendaciones heurísticas de usabilidad para mejorar la interacción que se produce entre el operario y el manejo de la interfaz (Nielsen, 1993).

La complejidad de los procesos implica la aceleración de la formación de operarios para su transformación de novatos a expertos. El entrenamiento de operarios mediante simuladores de alcance total permite una escenificación realista de situaciones de riesgo sin el problema de daños y accidentes (Merino, et. al., 2003).

El error humano en tareas de supervisión contempla la clasificación de errores, la fiabilidad de los sistemas persona-máquina y la posible reducción del mismo (Reason, 1990), (Rasmussen et. al., 1994).

La seguridad se superpone en ocasiones a la tarea de supervisión humana, en cuanto a posibilitar un programa de emergencia que ofrezca una pauta de actuación ante situaciones críticas (ASM, 2008).

En realidad, todas estas áreas temáticas están relacionadas. Así por ejemplo, el diseño de la interfaz gráfica puede influir en el procesamiento de la información de la planta hacia el operario humano y la tarea de supervisión debe analizarse bajo las exigencias de la carga mental en el operario, por lo que antes de llegar al error humano y al accidente, es necesario preguntarse qué criterios de diseño ergonómico se están utilizando para la creación de una interfaz de supervisión.

Los entornos de programación utilizados para el diseño de una interfaz de supervisión se denominan sistemas SCADA

(Supervisory control and data acquisition) y aunque en las siglas aparece el concepto control supervisor, que procede del trabajo original de Thomas B. Sheridan, en buena parte de estos sistemas se cumple la tarea de monitorización pero se hecha en falta módulos de detección y diagnóstico de fallos que podrían acercar los modelos avanzados de control tolerante a fallos con la realidad industrial (Sheridan, 1992), (Puig et. al., 2004).

Para llevar a cabo de forma práctica estas áreas temáticas es necesaria la integración de profesionales en ergonomía junto a los expertos en ingeniería de sistemas, automática e informática industrial (Ergotec, 2008), (Villena, 2003), (Ferrandiz, 2005). El motivo de esta colaboración reside en el hecho de que la creciente automatización de los sistemas productivos, el uso de algoritmos supervisión y de técnicas de control avanzado, o algoritmos basados en inteligencia artificial para la ayuda en la toma de decisión, forman parte de una cadena que finaliza en la supervisión humana. El operario experto de sala de control necesita de programas de entrenamiento y de herramientas de ayuda a la decisión que faciliten su tarea ante la complejidad de los sistemas a gobernar.

La propuesta principal de este trabajo es la creación de una guía ergonómica de diseño de interfaz de supervisión, guía GEDIS, que ofrezca una metodología pautada en esta área de conocimiento, y que englobe aspectos de diseño de interfaz, ergonomía cognitiva, usabilidad e interacción persona-ordenador para la mejora de la fiabilidad y eficiencia de los sistemas persona-máquina en sala de control industrial.

La sección 2 ofrece describe brevemente los aspectos fundamentales de la guía GEDIS. La sección 3 muestra la relación entre la tarea de supervisión humana y la formación de operarios de sala de control. La sección 4 ofrece la aplicación de la guía GEDIS sobre la interfaz gráfica del simulador de alcance total desarrollado en el CTA (Centro de Tecnología Azucarera, Universidad de Valladolid). La sección 5 presenta la evaluación y métricas de usabilidad aplicadas a sala de control industrial y finalmente la sección 6 concluye el trabajo y valora los resultados obtenidos hasta el momento.

2. GUÍA GEDIS

Durante años se han elaborado procedimientos para garantizar la seguridad de los sistemas persona-máquina en diversos ámbitos. El estándar ISO 11064 establece unos principios, recomendaciones y requerimientos para ser aplicados en el diseño de centros de control (ISO, 2004). La Human Factors Design Standards HFDS es una guía de requisitos sobre factores humanos aplicable a los sistemas adquiridos y/o desarrollados para la Administración Federal de Aviación FAA de los EE.UU (FAA, 1996). Se hace hincapié en la relevancia del rol del operario y en la aplicación de la automatización centrada en el humano (human centered automation). El estándar Human Interface Design Review Guidelines NUREG 0700 desarrollado por la Comisión de Regulación Nuclear de los EE.UU. para revisar el diseño desde el punto de vista de factores humanos de las interfaces persona-sistema de la sala de control de planta nuclear (US NRC, 2002). El estándar SAS (Safety Automation System) forma parte de los estándares NORSOK I-002 desarrollados por la industria petrolífera de Noruega para asegurar una adecuada seguridad, valor añadido y un coste efectivo para todas las partes implicadas en el desarrollo de sistemas petrolíferos (Norsok, 2006).

Todos estos referentes han sido valorados para la creación de la guía GEDIS, y es necesario indicar que bajo la búsqueda realizada por los autores de este trabajo no ha sido posible encontrar una norma internacional estándar aplicable al diseño de interfaz gráfica industrial. Sin embargo, es imprescindible destacar que desde el año 1992 hasta la actualidad, el consorcio ASM para la gestión de situaciones anormales, Abnormal Situation Management, se dedica al análisis de sistemas críticos (ASM, 2008). El consorcio ASM está formado por 15 compañías industriales y universidades, siendo liderada por Honeywell. Sus principales objetivos son la prevención, la detección temprana y la mitigación de incidentes y accidentes en plantas industriales. Sus investigadores integran la ergonomía desde las primeras fases del diseño de la sala de control, y desarrollan criterios ergonómicos para el diseño de interfaz (Smith y Walker, 2004).

La guía GEDIS ha sido confeccionada cruzando información del diseño de sistemas interactivos centrados en el usuario (Granollers et al., 2005), (Lidwell et al., 2005) junto a trabajos centrados en la formalización de criterios ergonómicos (Bach y Scapin, 2003), (Bastien et al., 1996) y las directrices heurísticas de Nielsen (Nielsen, 1994). Una de las diferencias respecto a las metodologías previamente desarrolladas radica en que la guía GEDIS, además de ofrecer directrices genéricas sobre criterios ergonómicos en el diseño, aporta de forma original un método de evaluación numérica que permite la valoración de la calidad de la interfaz (Ponsa y Díaz, 2007).

La guía ergonómica de diseño de interfaz de supervisión GEDIS ofrece un método de diseño especializado en sistemas de control supervisor industrial basado en niveles donde se van concretando los diseños de los distintos tipos de pantalla y contenidos. La guía GEDIS puede convertirse en complemento para aquellos ingenieros técnicos que desarrollan interfaces de supervisión mediante los sistemas comerciales denominados de adquisición de datos y control supervisor SCADA.

La guía puede estructurarse en 2 partes. La primera detalla un conjunto de indicadores seleccionados en buena parte de la pautas de diseño de interfaces multimedia que utilizan los ingenieros informáticos y los expertos en interacción persona ordenador (Shneiderman y Plaisant, 2006), (AIPO, 2007), (Granollers et al., 2005). La segunda parte muestra la obtención de medidas cuantitativas de evaluación de los indicadores para la obtención de un valor numérico final que permita al diseñador/usuario valorar las posibles mejoras de la interfaz de supervisión, a la vez que permite la comparación con otras interfaces.

2.1 Lista de indicadores

La guía GEDIS consta de 10 indicadores que pretenden cubrir todos los aspectos del diseño de la interfaz: estructura, distribución, navegación, color, texto, estado de los dispositivos, valores de proceso, gráficos y tablas, comandos de entrada de datos, y finalmente alarmas. Por ejemplo, la relación entre los indicadores estructura y navegación se ilustra en la Figura 1. La planta física puede separarse en: área, subárea, y equipo. Del mismo modo, la interfaz puede estructurarse en cuatro niveles de navegación. La Figura 1 muestra una posible estructura que permite localizar todas las conexiones entre las pantallas. La conexión entre pantallas es compleja en una interfaz de supervisión. Desde el punto de vista de la interacción persona ordenador, se trata de un ejemplo de menú cíclico en forma de

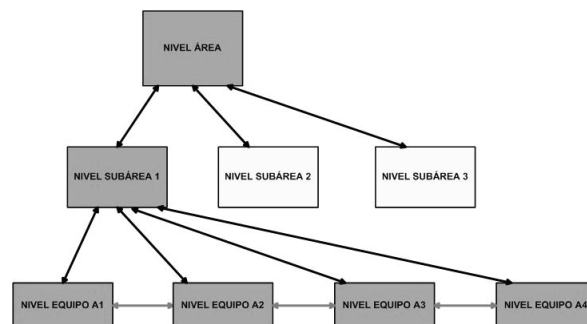


Figura 1. Menú cíclico en forma de red mediante el que se ilustra el indicador de Estructura. Desde el nivel_área puede accederse a cada subnivel hasta llegar al nivel de equipo. Desde el nivel_equipo puede volverse al primer nivel, aunque no se haya indicado en la figura para simplificar el esquema.

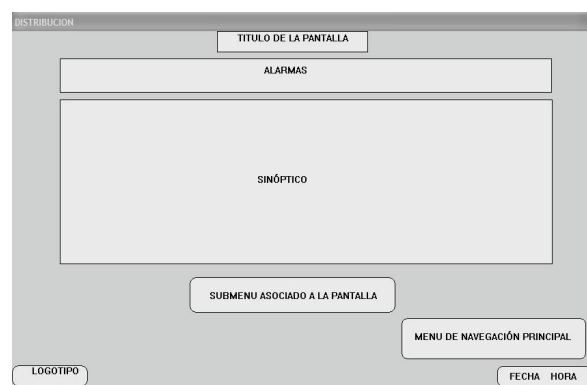


Figura 2. Un ejemplo de distribución de objetos realizado con el programa comercial de supervisión Intouch de Wonderware y en el que se ilustra el indicador de Distribución.

red. Y desde el punto de vista de la industria azucarera, el indicador estructura puede ajustarse para reflejar las diversas áreas de planta de una fábrica azucarera: difusión, evaporación, depuración, cuarto de azúcar, calderas, secadero y alcoholera.

El indicador de distribución, presente en la Figura 2, muestra una posible distribución de los objetos en la pantalla. La distribución homogénea de objetos en pantalla permite mantener la coherencia de la interfaz cuando el usuario cambia de pantalla, ello redonda a nivel cognitivo en facilitar el reconocimiento ante tener que recordar en qué lugar de la pantalla se encuentran los equipos. Los objetos secundarios están localizados en áreas de la pantalla que no requieren de la atención continuada del usuario (logo de la empresa, fecha y hora). El usuario debería reconocer el título de la pantalla y la herramienta de navegación general para moverse entre pantallas. Los objetos principales están localizados en zonas más visibles de la pantalla (alarmas, comandos de entrada de datos, herramienta de subnavegación, sinópticos). El usuario puede vigilar la evolución del proceso controlado sin actuar o puede decidir introducir cambios en la referencia del lazo de control o en los parámetros del controlador (persona dentro del lazo) en una ventana (*faceplate*) en el objeto gráfico *comando de entrada de datos*. El usuario debe tener especial atención con los indicadores de alarma, los cuales deben estar localizados de forma clara en la pantalla para que el usuario pueda reconocer la situación (*situation awareness*), y acceder si se requiere, a la pantalla de gestión de alarmas.

2.2 Evaluación

La evaluación expresada en forma numérica cuantitativa o bien en formato cualitativo pretende promover la reflexión del usuario que rellena la guía GEDIS a modo de cuestionario, de manera que recoja la experiencia de uso que en muchas ocasiones no llega a verbalizarse. En algunos casos será necesaria la experiencia del supervisor general de la sala de control para concretar algunos aspectos complejos de la interfaz asociados a la tarea. Por tanto coexisten tres roles: el evaluador que procede a rellenar la guía GEDIS, el supervisor experto de sala de control, y los operarios de sala a modos de usuarios de la interfaz.

Medida del Indicador

Cada uno de los indicadores de la Tabla 2 puede descomponerse en diversos subindicadores. Por ejemplo, el indicador Uso del Color puede detallarse en: ausencia de combinaciones no apropiadas (5), número de colores (5), ausencia de intermitencia (caso sin alarma) (5), contraste entre fondo y objetos (3) y relación con texto (3). Así, no es conveniente combinar colores como rojo y verde ya que siguiendo el criterio del sistema de los procesos oponentes, la continua atención del usuario sobre ellos puede provocar el dejar de ver uno de los colores, o propiciar fatiga. A partir de extensas investigaciones en psicología, se recomienda limitar el número de colores a cuatro para los principiantes y a siete para los expertos (Granollers et. al., 2005). Para cada subindicador se recomienda se puntúe numéricamente en una escala de 1 a 5. En este ejemplo el número de subindicadores del indicador Uso del Color es $J=5$. A cada indicador se le asigna un peso idéntico ($w_1=w_2 \dots =w_{10}=1$).

$$Valor_indicador = \frac{\sum_{j=1}^J w_j Subind_j}{\sum_{j=1}^J w_j} \quad (1)$$

El valor medio que se obtiene para el valor del indicado Uso del Color mediante (1) con estos valores es de 4,2. En caso de obtener un valor con dos decimales se redondea el valor a un solo decimal.

Medida de Evaluación Global

Cada uno de los indicadores de la Tabla 2 se mide en una escala de 1 a 5. El evaluador dispone en este punto de información concreta sobre el indicador, de forma que ya puede valorar las necesidades de mejora. Los valores de los indicadores pueden agruparse de manera que la guía GEDIS ofrezca la evaluación global de la interfaz y pueda ser comparada con otras. En una primera aproximación se ha considerado el valor medio entre indicadores expresado en (2). Es decir, a cada indicador se le asigna un peso idéntico ($p_1=p_2 \dots =p_{10}=1$). La evaluación global se expresa en una escala de 1 a 5. Atendiendo a la complejidad de los sistemas de supervisión industrial y al hecho de que un diseño ineficaz de la interfaz puede provocar el error humano, la evaluación global de una interfaz de supervisión debería situarse en un valor inicial de 3-4 y proponer medidas de mejora para acercarse al 5.

Las ecuaciones (1) y (2) incluyen pesos de idéntico valor en esta primera aproximación, aunque ello permitirá en futuros estudios valorar la importancia de algunos indicadores por encima de

$$Eval_global = \frac{\sum_{i=1}^{10} p_i Valor_indicador_i}{\sum_{i=1}^{10} p_i} \quad (2)$$

otros, siendo necesaria la colaboración del supervisor experto de sala de control y la preparación de una entrevista y un cuestionario adecuadas para recabar esta información.

3. FORMACIÓN DE OPERARIOS

En la tarea de supervisión, el operario monitoriza la información de entrada para discernir estados del sistema en necesidad de cambio, entonces planifica y toma decisiones para determinar el curso de acciones para mover el sistema hacia un estado deseado. Al realizar una acción de control hacia la planta, el operario necesita monitorizar la acción de realimentación de la planta hacia la sala de control. Si este mecanismo de interacción se integra con éxito, el operario demuestra una cierta habilidad en la supervisión.

La planificación y obtención de estas habilidades ante la presencia de perturbaciones, involucran un número de elementos cognitivos como percepción, toma de decisiones, planificación de la acción y control de la acción.

Ante la complejidad del proceso de producción, la estructura del sistema de control distribuido, la presencia de algoritmos de control avanzado y la cooperación entre operarios de la sala de control, es necesario definir un programa de entrenamiento para la formación de operarios de la sala de control industrial.

El programa puede llevarse a cabo de forma parcial o ejecutando la secuencia de fases siguiente:

- Instrucción en el aula
- Instrucción en el trabajo
- Aprendizaje basado en el ordenador
- Medida del aprendizaje

Las sesiones de instrucción en el aula permiten abordar aspectos de teoría y problemas sobre el algoritmo de control, el proceso de sintonía de un controlador PID (Aref, 2006), y las diversas fases de la supervisión (puesta en marcha de la planta, vigilancia del funcionamiento de las áreas de proceso productivo, la reconducción de la planta a modo seguro de funcionamiento ante cualquier emergencia o situación de peligro).

Las sesiones de instrucción en el trabajo permiten la colaboración entre operarios novatos y expertos. Es recomendable este aprendizaje basado en la imitación de comportamiento ya que las personas aprendemos de forma segura tal como se aprecia en otros ámbitos (*learning by doing*, aprendizaje de la conducción de automóviles por ejemplo). Así pues, se recomienda que en un programa de formación los operarios trabajen en un período de tiempo por parejas en la tarea de supervisión de sus dos respectivas interfaces (Ferrandiz, 2005), (Martinez y de Prada, 2003).

El aprendizaje basado en el ordenador permite la utilización de entornos de programación basados en modelado y simulación que permiten una visualización dinámica de los estados del sistema, y favorecen la interpretación de los cambios en el

Tabla 1. Competencias de la tarea de supervisión para un operario de sala de control

Competencias
Buen conocimiento de instrucciones y procedimientos
Capaz de manejar con precisión el equipo de control
Entender la teoría y la aplicación del control de procesos
Capaz de tomar decisiones apropiadas y valorar acertadamente una situación
Capaz de manejar el estrés y la presión
Asegurarse que los objetivos, roles y responsabilidades del equipo son comprendidos
Capaz de planificar la solución a posibles contingencias
Capaz de compartir información con el resto de operarios del grupo y advertir la sobrecarga de los operarios compañeros para ayudarlos adecuadamente

estado del sistema ante una acción realizada por el operario. En el ámbito de procesos industriales se favorece el entrenamiento mediante el uso de simuladores, los cuales se clasifican en función de su grado de similitud con la dinámica de la planta en simuladores de baja o alta fidelidad (simulador de alcance total), (iWare, 2008).

Como el operario debe manejar sistemas críticos en los que la situación de riesgo es alta y la aparición de eventos infrecuentes son los que producen accidentes más graves, se justifica así la utilización de la simulación para la formación de operarios.

La sinergia entre instrucción en el aula, utilización de simulador de alcance total y instrucción en el trabajo es vital para el éxito del programa de formación de operarios. Así por ejemplo de forma secuencial se recomienda la instrucción en el aula, seguida de la instrucción en el trabajo, y seguida de la simulación de tareas parciales de supervisión. El entrenamiento con el simulador permite consolidar las habilidades del operario en la tarea de supervisión que se comentan al principio de esta sección (Shepherd, 2001).

Dos alternativas a considerar. En el conjunto de ordenadores que forman el sistema de control distribuido se puede disponer la interfaz de supervisión de forma global en cada ordenador, o bien destinar cada uno de los ordenadores de forma específica a una de las áreas del proceso productivo. Así, se dispone de dos alternativas de formación a considerar:

- El operario novato aprende durante unas semanas el funcionamiento de una de las áreas del proceso, y pasado este período, aprende el funcionamiento de la siguiente área en orden secuencial
- El operario novato aprende y se especializa tan solo en una tarea de supervisión parcial asociada a una área en concreto del proceso productivo

El programa de formación de operarios debe finalizar con la evaluación del aprendizaje. En este sentido la ingeniería de la usabilidad aporta métricas de usabilidad que permiten valorar de

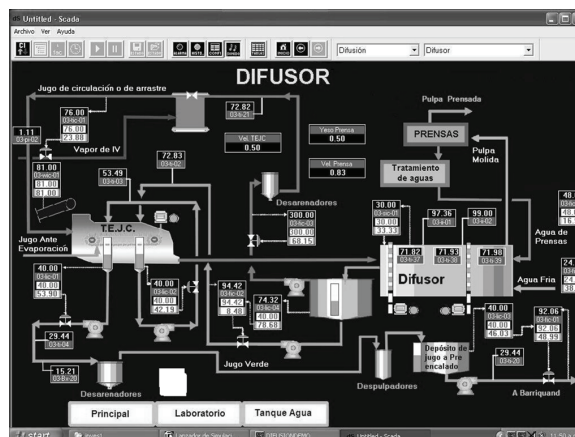


Figura 3. Detalle de la pantalla de la interfaz de supervisión del simulador del CTA para el área Difusión.

forma objetiva la eficiencia del usuario en la tarea, el número de errores cometidos y la satisfacción del usuario. Estas medidas son importantes para valorar la eficiencia de un grupo de operarios, o la evolución de novato a experto que sigue un operario en la sala de control. En (Norros y Nuutinen, 2005) se muestra la evaluación de la usabilidad sobre operarios de sala de control de planta nuclear para una nueva propuesta de interfaz basada en un sistema de gestión de alarmas; la tarea experimental se llevó a cabo sobre simulador de alcance total.

En el ámbito de la organización industrial se están haciendo progresos para la integración entre las áreas de la gestión de la producción y la automatización, de ahí que diversos consorcios promueven plataformas de programas que comparten de manera fluida la información en la implementación de los sistemas de gestión ERP (Enterprise Resource Planning), los sistemas de ejecución de la fabricación MES (Manufacturing Execution Systems) y los sistemas SCADA. La ingeniería de la usabilidad se aplica recientemente al diseño de interfaz de los sistemas de gestión ERP con el objetivo de modelar los factores que afectan a la satisfacción del usuario (Ozen y Basoglu, 2006).

4. APLICACIÓN DE LA GUÍA GEDIS AL SIMULADOR DEL CTA

La fábrica azucarera real que sirve a modo de estudio del caso se encuentra en la localidad de Benavente y su finalidad es el procesamiento y obtención de azúcar a partir de la remolacha. La sala de control real es reproducida con gran fidelidad en el CTA en Valladolid de manera que en una emulación física de sala de control, se procede a la formación de operarios mediante simulador de alcance total, fiel reflejo de la interfaz de supervisión industrial real (CTA, 2006), (Merino et. al. 2003).

En este caso práctico el diseñador ha generado una interfaz de supervisión a modo de conjunto de pantallas agrupadas por áreas del proceso productivo, algunas de las cuales han sido facilitadas al evaluador como muestra. La guía GEDIS se ha aplicado a posteriori de forma externa y sin la colaboración del diseñador, aunque en futuros estudios, la evaluación de la usabilidad podría realizarse dentro de la sala de control emulada del CTA, junto al diseño de interfaz, y junto al programa de formación. De forma genérica mediante el uso de la guía GEDIS se han detectado un conjunto de anomalías en algunos indicadores, se han propuesto soluciones, se ha cuantificado numéricamente cada uno de los indicadores y se ha obtenido la valoración global de la guía para

Tabla 2. Indicadores de la guía GEDIS, donde a es apropiado, m medio y na no apropiado

Nombre indicador y nombre subindicador	Rango numérico/cualitativo y valor numérico CTA	
Estructura	3,3	
Existencia de mapa	[SI, NO] [5, 0]	0
Número de niveles le	[le<4, le>4] [5, 0]	5
División: planta, area, subárea, equipo	[a, m, na] [5, 3, 0]	5
Distribución	3	
Comparación con modelo	[a, m, na] [5, 3, 0]	3
Flujo del proceso	[claro, medio, no claro] [5, 3, 0]	3
Densidad	[a, m, na] [5, 3, 0]	3
Navegación	3	
Relación con Estructura	[a, m, na] [5, 3, 0]	3
Navegación entre pantallas	[a, m, na] [5, 3, 0]	3
Color	4,2	
Ausencia de combinaciones no apropiadas	[SI, NO] [5, 0]	5
Número de colores c	[4<c<7, c>7] [5, 0]	5
Ausencia de intermitencia (caso sin alarma)	[SI, NO] [5, 0]	5
Contraste entre fondo pantalla y los objetos gráficos	[a, m, na] [5, 3, 0]	3
Relación con Texto	[a, m, na] [5, 3, 0]	3
Texto	4,5	
Número de fuentes f	[f<4, f>4]	5
Ausencia de fuentes pequeñas (mínima fuente 8)	[SI, NO] [5, 0]	5
Ausencia de combinaciones no apropiadas	[SI, NO] [5, 0]	5
Uso de abreviaciones	[a, m, na] [5, 3, 0]	3

la interfaz estudiada. Finalmente se han propuesto rediseños de algunas pantallas. Toda la información se ha enviado al CTA para que valoren la posibilidad de rediseño de algunas partes de la interfaz con las mejoras indicadas. El rediseño podría efectuarse de forma dual en la sala de control real y en el simulador de entrenamiento; ello no significa que la guía GEDIS modifique la funcionalidad y la fiabilidad de la interfaz original ya que no se pretende introducir cambios en la tarea de supervisión real que se lleva a cabo.

Tabla 2. Indicadores de la guía GEDIS (cont.)

Nombre indicador y nombre subindicador	Rango numérico/cualitativo y valor numérico CTA	
Estado de los dispositivos	4	
Símbolos e iconos uniformes	[a, m, na] [5, 3, 0]	3
Representación del estado del equipo	[SI, NO] [5, 0]	5
Valores de proceso	3	
Visibilidad	[a, m, na] [5, 3, 0]	3
Localización	[a, m, na] [5, 3, 0]	3
Gráficos y Tablas	4,5	
Formato	[a, m, na] [5, 3, 0]	5
Visibilidad	[a, m, na] [5, 3, 0]	5
Localización	[a, m, na] [5, 3, 0]	5
Agrupamiento	[a, m, na] [5, 3, 0]	3
Comandos de Entrada de Datos	3	
Visibilidad	[a, m, na] [5, 3, 0]	3
Uso	[a, m, na] [5, 3, 0]	3
Realimentación	[a, m, na] [5, 3, 0]	3
Alarmas	3,8	
Visibilidad pantalla de alarmas	[a, m, na] [5, 3, 0]	3
Localización	[a, m, na] [5, 3, 0]	3
Conocimiento de la situación	[SI, NO] [5, 0]	5
Agrupamiento de alarmas	[a, m, na] [5, 3, 0]	5
Información al operario	[a, m, na] [5, 3, 0]	3

Respecto los tres primeros indicadores evaluados, se observa claramente una estructura compuesta por tres capas, de manera que en la interfaz de supervisión predomina la navegación en anchura poco profunda, aspecto que es típico en el contexto de diseño de interfaces industriales de supervisión. En cuanto a los modos de navegación entre pantallas se han realizado correcciones ya que en el paso de una pantalla a la siguiente los submenús de navegación cambian de posición y de formato, desorientando al usuario, por lo que se recomienda para mejorar la coherencia ubicar la barra de navegación de forma clara y siempre en la misma zona de la pantalla.

Ante un proceso productivo complejo, como es la fabricación de azúcar, compuesta por diversas áreas, se recomienda la presencia de un mapa que permita al operario mediante un rápido vistazo la posibilidad de navegar a la pantalla del área deseada, sin tener que recordar el orden secuencial que ocupa cada pantalla y cada área en el proceso.

Respecto al uso del color se ha comentado la necesidad de resaltar mediante color el estado de algunos componentes, como las válvulas distribuidoras, para que pueda distinguirse con claridad y diferenciarse los estados abierta/cerrada. En algunas pantallas se detecta un uso excesivo de colores rojo y verde en la parte periférica, aspecto contraproducente por las limitaciones en la visión periférica de las personas. La guía GEDIS recomienda el uso del color rojo asociado al indicador alarma, descartando el color rojo en tuberías y válvulas (siempre que ello no obedezca a la simbología internacional para la representación de las mismas en el ámbito de procesos continuos).

Respecto a los gráficos de tendencias y tablas, si bien se ha observado una clara representación gráfica de cada una de las variables y la acción de control, se hecha en falta una representación de variables agrupadas en un único histórico, para aquellas variables que estén interrelacionadas, que permita al operario evaluar la tendencia futura de dichas variables y tomar alguna decisión (cambio en la consigna, cambio en los parámetros del controlador).

La evaluación global que la guía GEDIS hace de la interfaz de supervisión del simulador del CTA se sitúa en 3,3. Mediante las correcciones mencionadas en los párrafos precedentes, el índice puede llegar sin problemas entre 4 y 5, es decir los valores máximos de la escala numérica, por lo que con ligeras modificaciones la calidad de la interfaz de supervisión puede mejorarse.

Quizás uno de los aspectos que aportan claridad en el uso de la guía GEDIS es la comparación entre una pantalla original y una posible pantalla futura que incorpore las mejoras. Así por ejemplo la Figura 4 muestra la pantalla concerniente al área Evaporación. La guía GEDIS, mediante el indicador de Distribución sugiere que se agrupen los elementos y se mantenga la coherencia al navegar entre pantallas, de ahí que se recomiende una serie de cambios que confluyen en la Figura 5:

- en la pantalla de la Figura 4 no se aprecia el botón de navegación para volver a la pantalla principal
- el agrupamiento de botones en una barra de navegación se localiza en todas las “nuevas” pantallas en la parte inferior de la pantalla
- el nombre del área queda centrado en la parte superior de la pantalla mejorada

Des del punto de vista del indicador Estados de los dispositivos, no es claro el estado del equipo IB y el llenado del depósito “Jugo Filtrado”; por lo que la Figura 5 muestra un cambio de color en las bombas que regulan el flujo de estos depósitos, y un cambio de color en el depósito en cuestión para apreciar la acción de llenado.

Finalmente, y con el objetivo de mejorar la información suministrada al operario, la Figura 5 incorpora a la derecha de la pantalla un resumen en forma de tabla (“Resumen Evaporación”) con el valor de las variables más importantes del área de Evaporación.

La colaboración entre los diseñadores del CTA y los autores de este artículo, permiten abordar discusiones sobre los comentarios de mejora de la interfaz a partir de la aplicación de la guía GEDIS. Por ejemplo, los cambios sugeridos en la Figura 5 pueden realizarse directamente sobre el prototipo software de la interfaz de supervisión. Así pues, uno de los aspectos a resolver

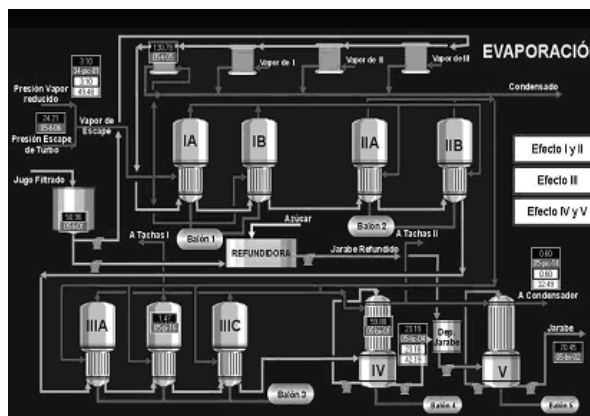


Figura 4. Pantalla original del área Evaporación del simulador del CTA.

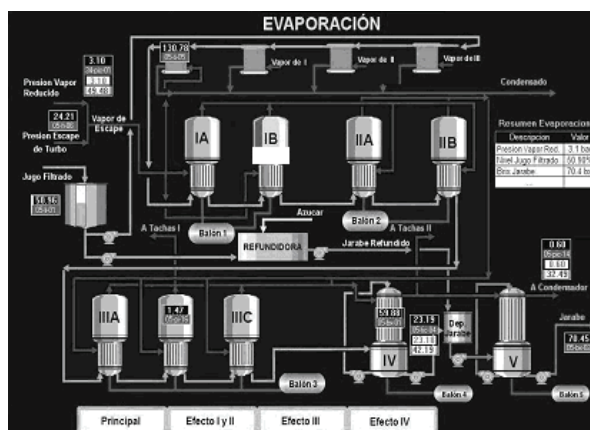


Figura 5. Pantalla modificada del área Evaporación del simulador del CTA atendiendo a los comentarios de mejoras expuestos en la sección 4.

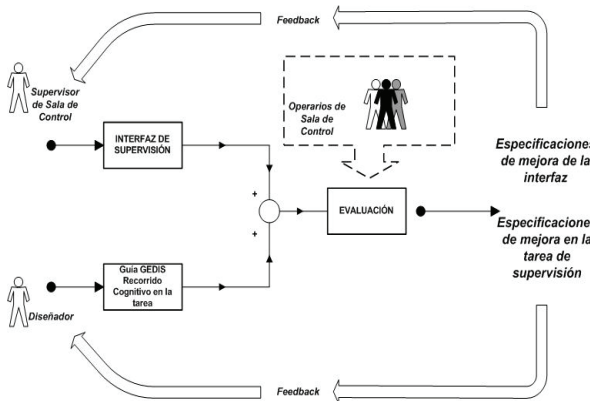


Figura 6. Marco metodológico para análisis de la tarea de supervisión en sala de control industrial.

en breve es la introducción de mejoras en la interfaz actual, así como valorar con el experto de supervisión de la fabricación de azúcar, la necesidad de valorar todos los indicadores con pesos iguales o considerar que algunos indicadores pueden tener más relevancia que otros, ello debería permitir modificar las fórmulas presentadas anteriormente en la fase de evaluación.

5. EVALUACIÓN DE LA USABILIDAD

En la aplicación de la guía GEDIS es importante establecer las relaciones entre el evaluador de la calidad de la interfaz, el

supervisor experto de la sala de control, el equipo técnico encargado de desarrollar la interfaz de supervisión SCADA y el operario de sala de control como usuario final. ¿Cómo integrar las especificaciones y valoraciones sobre el diseño de la interfaz de todos ellos?

La ingeniería de la usabilidad propone herramientas centradas en el recorrido cognitivo que realizan los usuarios en la tarea que podría aplicarse a la sala de control industrial, tal como viene aplicándose desde hace décadas en las salas de control de plantas nucleares y en el control de tráfico aéreo mediante la recogida de información con cuestionarios sobre los usuarios (Rasmussen et. al., 1994), (Nielsen, 1993). Así pues, se trata de establecer una cooperación entre profesionales de la automática y los factores humanos que redunde en la mejora de la fiabilidad y eficiencia de los sistemas persona-máquina. En esta cooperación es imprescindible la evaluación de la usabilidad, es decir reflejar la experiencia del operario de sala de control en la tarea de supervisión (eficiencia, satisfacción, errores cometidos, carga mental, toma de decisiones bajo presión temporal, etc.), (Shneiderman y Plaisant, 2006).

La ingeniería de la usabilidad lleva años desarrollando métricas cualitativas y cuantitativas en el desarrollo de sistemas interactivos de calidad en ingeniería del software. Algunas de las investigaciones ya realizadas pueden adaptarse y mejorarse para la tarea de supervisión humana en sala de control. Bajo las indicaciones de normas como la ISO 9126, diversos investigadores han desarrollado modelos de calidad como el modelo de calidad QUINT2. Estos modelos pueden aportar los primeros pasos para la evaluación de la usabilidad en sala de control: para ello debe concretarse el conjunto de atributos a medir (Genero et. al., 2004).

Después de valorar ejemplos en el área de métricas de usabilidad en el ámbito de aplicaciones web, en este artículo se propone de forma original definir una métrica de usabilidad basado en cuatro variables: Eficiencia, Satisfacción, Navegación y Ayuda.

Para la medida de la eficiencia *Eff* se tienen en cuenta normalmente dos indicadores: el tiempo empleado en la ejecución de la tarea y la tasa de éxito en el seguimiento a los objetivos especificados en la instrucción de la tarea experimental.

Con respecto la variable tiempo, se valora la rapidez de la ejecución. En una tarea experimental con n operarios de sala de control se recoge el tiempo mínimo de realización de la tarea, el tiempo medio, y el tiempo máximo de realización de la tarea. Ello permite generar la Tabla 3 y normalizar la escala de tiempo continua a unos valores en un rango entre 0 y 1. Respecto a la tasa de éxito se tiene en cuenta que la instrucción que se presenta al usuario tiene m objetivos concretos (activación/desactivación dispositivos, variación de consigna Temperatura, etc.), por lo que la si la tasa de éxito es m, el usuario consigue éxito pleno en todos los objetivos; a medida que la tasa de éxito disminuye, algunos objetivos no se han cumplido (Tabla 4).

El valor final de eficiencia *Eff* se calcula mediante la media aritmética de rangos de las variables tiempo t y tasa de éxito.

Para la medida de la satisfacción *Sat*, es habitual que el operario responda a un cuestionario en formato papel una vez ha finalizado la tarea de supervisión. Una de las preguntas que los

Tabla 3. Transformación de intervalos de tiempo en valores de Rango R_t

Rango R_t	Tiempo t
1	$t = t_m$
0,5	$t_m < t \leq t_{medio}$
0	$t_{medio} < t \leq t_M$

Tabla 4. Transformación de intervalos de tasa de éxito en valores de Rango R_{te}

Rango R_{te}	Tasa Exito t_e
1	$t_e = m$
0,5	$m < t_e \leq m/2$
0	$t_e < m/2$

$$Eff = \frac{\sum_{j=1}^N R_j}{N} \tag{3}$$

expertos en usabilidad realizan es la valoración de la satisfacción del uso de la interfaz por parte del operario. La variable puede normalizarse de la misma forma que la variable eficiencia para mostrar un grado de satisfacción alto, medio o bajo.

Para la medida de la variable navegación *Nav* es importante disponer de un mapa de navegación entre pantallas para valorar la pantalla de origen, la pantalla de destino y la eficacia en la navegación del operario, comprobando que no se confunde con pantallas de otras áreas que no están incluidas en la tarea experimental que se le pide. Incluso es posible valorar diversos modos de llegar a la misma pantalla y por tanto la rapidez o pérdida de tiempo en la navegación. Ello permite crear una variable normalizada del mismo modo que las dos anteriores para etiquetar un índice de navegación adecuado medio o no adecuado.

Finalmente, para la medida de la variable ayuda *Ayu* es importante concretar con el experto en la tarea de supervisión qué mecanismos se van a tener en cuenta para diseñar un sistema de ayuda para el operario. Desde la respuesta del instructor en el programa formativo, a la presencia de un sistema de ayuda *on line* dentro de la propia interfaz de supervisión. Así pues, hay que valorar numéricamente el nº de veces que el operario solicita información al instructor (o al sistema de ayuda *on line*) para valorar de forma normalizada la variable ayuda en tres categorías: el operario solicita mucha, regular o poca ayuda. Está claro que en ésta variable se aprecia las diferencias de aprendizaje entre operario novato y operario experto.

Siguiendo la línea de exposición, la medida de usabilidad *Usab*, -que en muchas ocasiones es una cualidad abstracta para ser medida directamente-, queda reflejada en las variables Eficiencia *Eff*, Satisfacción *Sat*, Navegación *Nav* y Ayuda *Ayu*. Las variables se agrupan en una expresión que considera que cada una de ellas tiene el mismo peso:

$$Usab = \frac{\sum_{j=1}^m A_j}{m} \quad (4)$$

$$A = \{ Eff, Sat, Nav, Ayu \}$$

Donde el conjunto de atributos A se ha definido en nuestro caso con $m=4$ items.

De forma fácil, dentro del programa de formación de operarios mediante simulador de alcance total, es factible acompañar al instructor y medir estas variables.

La normalización de las variables permite la comparación cualitativa de resultados, que más allá del tiempo que un operario tarda en realizar la tarea de supervisión se centra en:

- comparar la eficiencia de un operario dentro de un grupo de operarios
- valorar la mejora de la eficiencia del operario mediante el uso de diversos prototipos de interfaz gráfica
- valorar el grado de satisfacción de uso de la interfaz por parte del operario

Una valoración de un grado de satisfacción bajo puede indicar que el operario no está satisfecho con su rendimiento, y puede esconder una sobrecarga cognitiva al ser una tarea compleja. El método NASA-TLX, -mediante cuestionario a pasar al operario al finalizar la tarea-, permite medir la valoración de carga mental subjetiva del operario y proceder a tomar conclusiones en el diseño de la tarea de supervisión en sala de control industrial (de Arquer y Nogareda, 2006).

6. CONCLUSIÓN

La guía GEDIS es una aproximación que intenta llenar un vacío metodológico que aúna los esfuerzos de la ingeniería de sistemas y la ergonomía para la mejora de la eficacia de los sistemas persona-máquina en sala de control industrial.

La aplicación de la guía GEDIS al estudio de casos aporta entre otros detalles la medida en forma de indicadores de aspectos de diseño de la interfaz, la recomendación de cambios para la mejora de la interfaz, y un índice de evaluación global que permite cuantificar el estado actual de la interfaz respecto al estado futuro después de aplicar las medidas correctivas.

En el estudio de caso presentado en este artículo, se han generado recomendaciones para el diseñador/supervisor del simulador de alcance total del CTA que permitan la mejora de la interfaz de supervisión en fábrica azucarera.

Algunas de las ideas aquí presentadas se han analizado en otros ejemplos de procesos continuos, como por ejemplo en sala de control de planta de gas (Ferrandiz, 2005), y en la supervisión del Servicio de Actividades Físicas de la Universidad Autónoma de Barcelona (Vilanova y Gomà, 2006). Los autores consideran que la guía GEDIS puede aplicarse en el diseño de interfaz de monitorización para el manejo de una máquina, así como para el diseño de interfaz de supervisión en distintas aplicaciones industriales. Es por ello, que en la formación de los estudiantes de ingenierías técnica y superior de nuestra universidad, la guía GEDIS es utilizada en las sesiones prácticas de automatización industrial, de forma que en las primeras fases del ciclo de diseño

de una interfaz mediante programa SCADA, los estudiantes incorporan criterios ergonómicos.

La relación entre la ingeniería de la usabilidad y el diseño de sala de control acerca a profesionales de la ergonomía con los de la ingeniería de sistemas, automática e informática industrial. La evaluación de la usabilidad mediante métricas es un área metodológica en crecimiento, siendo complejo disponer de un modelo teórico genérico aplicable al diseño de sala de control, aunque parece razonable qué medir la eficiencia de la tarea llevada a cabo por el operario puede beneficiar el funcionamiento de sistemas industriales de supervisión.

En estos momentos, en el laboratorio de usabilidad, se está analizando la posibilidad de simplificar el número de indicadores de la guía GEDIS, mejorar el método de evaluación, promover el uso de la guía dentro del ciclo de vida de la ingeniería del producto, en este caso en las primeras fases del diseño de la interfaz de supervisión, y profundizar en la formalización de métricas de usabilidad en el ámbito de la automatización industrial.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. César de Prada y al Dr. Luis Felipe Acebes de la Universidad de Valladolid por su disponibilidad para el uso del simulador del Centro de Tecnología Azucarera CTA.

Asimismo, los autores agradecen los comentarios de mejora de este trabajo realizados por los revisores anónimos.

REFERENCIAS

- AIPO Asociación Interacción Persona Ordenador (2007). *Universitat de Lleida*. En URL : <http://www.aipo.es>
- Aplein Ingenieros (2007). Salas de Control. Documentación interna. En URL: <http://www.apleiningenieros.com/scontrol.htm>
- Aref, R. (2006). Supervisión del comportamiento de los controladores industriales. Memoria de la Tesis Doctoral presentada en la Universidad de Valladolid.
- ASM Abnormal Situation Management (2008). A joint research and development consortium. Honeywell. En URL: <http://www.asmconsortium.com>
- Bach, C. y Scapin, D.L. (2003). Ergonomic criteria adapted to human virtual environment interaction. ACM International Conference Proceeding Series, Caen, Francia, Vol 51, pp. 24-31
- Bastien, J.M.C., Scapin, D.L., Leulier, C. (1996). Looking for usability problems with the ergonomic criteria and with the ISO 9241-10 dialogue principles. Conference on Human Factors in Computing Systems, Vancouver, Canada, pp. 77-78
- Cañas, J.J. (2004). *Personas y máquinas*. Edición Pirámide, colección Psicología, Madrid.
- Centro de Tecnología Azucarera (2006). Simulador de sala de control de fábricas azucareras. En URL: http://www.cta.uva.es/CTANEW/espanol/proyectos/Si simuladores/Frame_Simuladores.htm
- De Arquer, I., Nogareda, C. (2006). NTP 544 Estimación de la carga mental de trabajo: el método TLX. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, En URL: http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_544.htm

- De Prada, C., Grossmann, I., Sarabia, D., Cristea, S. (en fase de publicación). Nonlinear predictive control of a mixed continuous batch process. *Journal of Process Control*.
- Ergotec (2008). Ergónomos y expertos en factor humano. En URL: <http://www.ergotec.es/>
- Genero, M., Piattini, M., Calero, C. (eds) (2004). *Metrics for software conceptual models*. Imperial Collage Press, Londres.
- Green, M. y Green, M. (2008). Human centred design. Noruega. En URL: <http://www.hcd.no>
- Granollers, T., Lorés, J. y Cañas, J.J. (2005). *Diseño de sistemas interactivos centrados en el usuario*. Editorial UOC, Colección Informática, nº 43, Barcelona
- Federal Aviation Administration (1996). Human factors design guide for acquisition of commercial-off-the-shelf subsystems, non-developmental items, and developmental systems (DOT/FAA/CT-96/01). Atlantic City International Airport, DOT/FAA Technical Center
- Ferrándiz, M. (2005). Diseño ergonómico de una sala de control industrial. Memoria del proyecto final de carrera. Universidad Politécnica de Cataluña. En URL: <http://biblioteca.upc.es/PFC/arxiu/migrats/40473-1.pdf>, (2005)
- Holstom, C. (2000) Human factors and control centre issues. What lessons we have learned. Institute for Energy Technology, OECD Halden Reactor Project.
- ISO International Organization for Standardization (2004). Ergonomic design of control centres, parts I, II, III, IV. En URL: <http://www.iso.org>
- iWare (2008). Operador training. Knowledge Management Solutions. En URL: <http://iware.camweb.com>
- Lidwell, W., Holden, K., Butler, J. (2005). *Principios universales de diseño*. Editorial Blume, Barcelona.
- Martínez, E. y de Prada, C. (2003). Control inteligente de procesos usando aprendizaje por interacción. XXIV Jornadas de Automática, León, Septiembre.
- Merino, A., Pelayo, S., Rueda, A., Alves, R., García, A., Acebes, F., de Prada, C., Gutiérrez, G., García, M. (2003). Un simulador de alcance total para la formación de los operarios de sala de control de factorías azucareras. XXIV Jornadas de Automática, León. En URL: <http://www.cea-ifac.es/actividades/jornadas/XXIV/documentos/si/200.pdf>
- NASA (1995). Man system integration standards, NASA-STD-3000. En URL: <http://msis.jsc.nasa.gov/>
- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Academic Press. Boston, MA.
- Nimmo, I. (2004). Designing control rooms for humans. *Control Magazine*.
- Normey-Rico, J.E. y Camacho, E.F. (2006). Predicción para control: una panorámica del control de procesos con retardo. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, Vol 3, Núm. 4, pp. 5-25, Octubre
- Norros, L. y Nuutinen, M. (2005). Performance-based usability evaluation of a safety information and alarm system. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol 63, nº 3, pp. 328-361, Septiembre
- Norsok Standard (2006). I-002 Safety automation system. Norwegian Technology Centre Oscarsgt. 20, Postbox 7072 Majorstua N-0306 Oslo. En URL: <http://www.olf.no> y <http://trends.risoe.dk/detail-organisation.php?id=52#corpus>
- Noyes, J y Bransby M. (2001). *People in control. Human factors in control room design*. IEE Control Engineering Series 60, Londres.
- Ozen, C. y Basoglu, N. (2006). Impact of man-machine interaction factors on enterprise resource planning (ERP) software design. PICMET 2006 Proceedings, 9-13 Julio, Estambul, Turkia, p. 2335-2341.
- Ponsa, P. y Díaz, M. (2007). Creation of an ergonomic guideline for supervisory control interface design. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*, LNCS 4562, pp.137-146.
- Puig, V., Quevedo, J., Escobet, T., Morcego, B., Ocampo, C. (2004). Control tolerante a fallos (parte II). Mecanismos de tolerancia y sistema supervisor. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, Vol 1, nº 2, pp. 5-21, Julio.
- Ramírez, D.R., Gruber, J.K., Alamo, T., Bordons, C., Camacho E.T. (2008). Control predictivo min-máx de una planta piloto. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, Vol 5, Núm. 3, pp. 37-47, Julio
- Rasmussen, J., Petersen, A. y Goodstein, L. (1994). *Cognitive systems engineering*. New York, Wiley and sons.
- Reason, J. (1990). *Human error*. New York, Cambridge University Press.
- Rodríguez, M.A., León, J. (2002). Control predictivo basado en el modelo de un horno industrial. *Revista Colombiana de Física*, Vol 34, No 1, ISSN: 0120-2650, Colombia. En URL: <http://calima.univalle.edu.co/revista/>
- Rodríguez, A. (2007). *Sistemas SCADA*. Editorial Marcombo, Ediciones Técnicas.
- Rodríguez, R., Aguilera, R. Fernández F. (2004). Introducción de sistema automatizado para la optimización del proceso de planificación corriente y perspectiva de la zafra. *Revista Santiago*, nº 104, p. 123-134, ISSN: 0048-9116, Cuba. En URL: <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/stgo/>
- Santos, R.A., Normey-Rico, J., Merino, A., Acebes, L.F., de Prada, C. (2008). Distributed continuous process simulation: an industrial case study. *Computers and Chemical Engineering*, Vol 32, 6, Junio, pp. 1195-1205
- Shepherd, A. (2001). Training for control room tasks. Capítulo 6 del libro *People in Control: human factors in control room design*. Noyes y Bransby Editores, Reino Unido.
- Sheridan, T.B. (1992). *Telerobotics, automation and human supervisory control*. M.I.T. Press.
- Shneiderman, B. y Plaisant, C. (2006). *Diseño de interfaces de usuario: estrategias para una interacción persona-computadora efectiva*. Pearson, Addison Wesley, cuarta edición, Madrid.
- Smith, K. y Walker, B. (2004). Integrating ergonomics. ISA Automation West Conference, Training and Exhibition. *Intech*. Marzo, Estados Unidos, p. 38-41. En URL: <http://www.isa.org/intech>
- Stanton, N.A., Ashleigh, M., Roberts, A.D., Xu, F. (2003). Virtuality in human supervisory control: assessing the effects of psychological and social remoteness. *Ergonomics*, Vol 46, 12, pp. 1215-1232.
- Vilanova, R. y Gomà A. (2006). A collaborative experience to show how the University can play the industrial role. 7th IFAC Symposium on Advances in Control Education, Junio, Madrid, URL: <http://www.dia.uned/ace2006>
- Villena, J. (2003). Reunión técnica sobre diseño de las salas de control – aspectos ergonómicos. ISA España, Madrid.
- U.S. Nuclear Regulatory Commission (2002). NUREG-0700, Human-system interface design review guidelines. Office of Nuclear Regulatory Research, Washington DC 20555-0001. En URL: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr0700/nureg700.pdf>