

# METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE SALAS DE CONTROL

LUINI LEONARDO HURTADO CORTÉS<sup>1</sup>

## Resumen

*Una acertada utilización del análisis de Factores Humanos (FH), contribuye de forma primordial al desarrollo de diseños de sistemas tecnológicos altamente especializados, como lo son las Salas de Control (SDC) para la supervisión de procesos o sistemas. El buen desempeño de las funciones que realizan los operarios en una SDC, depende de la Interacción Humano-Máquina (IHM). La calidad del diseño de una SDC, depende de la exactitud del método adoptado por el tratamiento de los FH con respecto a la automatización, control supervisor e interacciones dinámicas humanas.*

*Un modelo Cognitivo Simple (MCS), basado en la combinación de la Ergonomía Cognitiva (EC) con la Ingeniería, para estudiar el comportamiento humano en actividades de supervisión con miras al diseño de SDC, comprende cuatro fases de modelamiento: un paradigma del comportamiento humano, una clasificación relacionada con las acciones humanas erróneas y su relación con el ambiente de trabajo, y un procedimiento para la aplicación de la metodología en el diseño de SDC.*

*El presente artículo pretende mostrar una metodología de diseño de SDC, adoptando el modelo MCS involucrando el concepto de usabilidad y accesibilidad de producto, a fin de lograr la satisfacción en el contexto de la supervisión de procesos o sistemas.*

*Palabras clave: Factores Humanos, Interacción Humano-Máquina, Ergonomía Cognitiva, Usabilidad.*

## Abstract

*A guessed right utilization of the analysis of Human Factors (HF), contributes of basic form to the development of designs of technological highly specializing systems, since they it are the Rooms of Control (SDC) for the supervision of processes or systems. The good performance of the functions that the workmen realize in a SDC, there depends on the Human-Machine Interaction (HMI). The quality of the design of a SDC, depends on the accuracy of the method adopted as HF's treatment with regard to the automation, control supervisor and dynamical human interactions.*

*A Cognitive Simple Model (CSM) based on the combination of the Cognitive Ergonomics (CE) with the Engineering to study the human behavior in activities of supervision with a view to SDC's design, includes four phases of modeling: a paradigm of the human behavior, a classification related to the human erroneous actions and the relation with the environment of work, and a procedure for the application of the methodology in SDC's design.*

*This paper tries to show a methodology of SDC's design, adopting the model CMS involving the concept of usability and accessibility of product, in order to achieve the satisfaction in the context of the process supervision or systems.*

*Keywords: Human Factors, Human-Machine Interaction, Cognitive Ergonomics, Usability.*

## INTRODUCCIÓN

La automatización se ha establecido para trabajar, cooperativamente, con humanos para cumplir un objetivo, y debe ser considerada como uno de los muchos recursos disponibles, para el operador humano, en quien recae la responsabilidad de la dirección y manejo completo de la planta. Desde este punto de vista, a menudo es llamada Automatización Orientada al Humano (AOH) [6], y usualmente se acepta como pauta fundamental para el diseño de nuevas SDC.

Desafortunadamente, los sistemas actualmente automatizados no parecen cumplir su papel como un equipo cooperativo, y

por ende son necesarios cambios para optimizar los diseños y así mejorar la coordinación y la cooperación entre humanos y máquinas.

En la industria, nos encontramos con frecuencia, procesos que deben que ser controlados por seres humanos. La interacción de las personas encargadas del control de las operaciones, se

<sup>1</sup> Profesor Adjunto, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Colombia.

lleva a cabo dentro de las llamadas Salas de Control (SDC), en ellas se puede encontrar un ejemplo de la importancia de un buen Diseño Orientado al Humano.

En una SDC, generalmente se dispone de un gran número de dispositivos automáticos que funcionan bajo condiciones normales. La eficacia de las decisiones tomadas en su diseño se comprueba en situaciones de alto riesgo, ya que cuando sucede un evento inesperado, el ser humano es el que tiene que tomar control sobre el proceso, interactuando directamente con los dispositivos.

El diseño de SDC ha sufrido un cambio de filosofía en los últimos años, debido a la importancia de la Interacción Humano-Máquina (IHM) y, por tanto, de la contribución de la Ergonomía Cognitiva (EC) en este contexto.

La EC, se encarga de describir e integrar todos los procesos cognitivos que son responsables de la adquisición, almacenamiento y uso de la información que está disponible, para que la persona pueda realizar el trabajo y de esta manera ayudar a que el diseño del sistema sea el apropiado para el ser humano, mejorando su bienestar y evitando los temibles errores humanos.

La correcta utilización del análisis de Factores Humanos (FH), contribuye de forma primordial al desarrollo de diseños de sistemas tecnológicos altamente especializados, las SDC para la supervisión de procesos, son uno de ellos. En particular, el problema de los HF afecta tres elementos principales de dichos sistemas de trabajo, a saber: la automatización del lazo de control, el papel de supervisión del operador, y la naturaleza dinámica de la IHM y de la Interacción Humano-Humano (IHH). Estos tres elementos están interconectados fuertemente.

La tarea de un operario en una sala de control consiste en supervisar lo que ocurre, conocer el estado del sistema, reprogramarlo, tomar el control de los procesos automatizados cuando sea necesario, intervenir cuando se requiera, y planificar las acciones futuras a corto y largo plazo [1]. Estas funciones tienen relación con los procesos cognitivos humanos y su correcto funcionamiento depende de la Interacción Humano-Máquina. Cuando el operario interactúa con la planta, normalmente modifica el estado del proceso o implementa un nuevo procedimiento. Esto requiere de una fuerte IHM. Sin embargo, frecuentemente existe una variedad de sistemas complejos, bajo la supervisión de un número ilimitado de operarios, que exigen que la comunicación y todas las IHH, sean tenidas en cuenta para el diseño de nuevas SDC.

La calidad del diseño de una SDC, depende de la exactitud del método adoptado por el tratamiento de FH con respecto

a la automatización, control supervisor e interacciones dinámicas humanas.

Una metodología basada en la combinación de la EC con la Ingeniería, para estudiar el comportamiento humano, en actividades de control supervisor, con el fin de diseñar SDC comprende cuatro fases de modelamiento [7]:

1. Un paradigma del comportamiento humano.
2. Una clasificación relacionada con las acciones humanas erróneas.
3. La clasificación de las acciones humanas erróneas y su relación con el ambiente de trabajo y,
4. Un procedimiento para la aplicación de la metodología en el diseño de SDC.

Veámoslos con mayor detalle a continuación:

### 1. El Paradigma del Comportamiento Humano:

La naturaleza cíclica de la cognición demanda la aparición de fases diferentes de trabajo mental, combinando los estímulos externos, con el razonamiento de eventos pasados y la anticipación de la evolución de los procesos, antes de que una decisión sea tomada y varias acciones sean llevadas a cabo. Se ha establecido un modelo de cognición [8], que consiste de cuatro etapas, las cuales muestran en la figura 3:

- Percepción/Observación
- Interpretación (identificación/diagnóstico).
- Decisión (planeación y toma de decisión); y
- Ejecución de un plan.

Todas estas funciones están ligadas a la memoria, su finalidad es representar el proceso básico de recolección de información y conocimientos por la experiencia. La arquitectura del Modelo Cognitivo Simple (MCS), se describe como un proceso secuencial de decisión que se hace a través de los tres niveles de la conducta conocidos como “Habilidad”, “Regla” y “Conocimiento”.

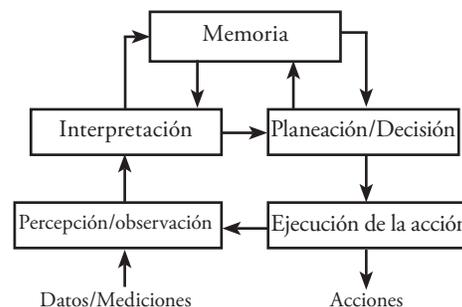


Figura 3. Modelo Cognitivo Simple

Las cuatro funciones del modelo representan los requisitos mínimos para el desarrollo de una simulación de procesos cognitivos y de comportamiento.

## 2. Una clasificación relacionada con las acciones humanas erróneas:

Una clasificación del comportamiento humano erróneo, tiene que estar asociada con el paradigma de modelamiento en aras de determinar la combinación apropiada de las características del ambiente de trabajo, con las diferentes funciones del modelo cognitivo.

La clasificación de interés para la arquitectura del modelo anterior, se ha caracterizado por dos problemas principales: la atención al comportamiento humano erróneo (lógica entre las causas y las consecuencias a todos los niveles del comportamiento humano) debido a “la carga excesiva de trabajo”, “la tensión”, “los miedos”, etc; y las manifestaciones de sus efectos (comportamiento), como “retrasos”, “omisiones”, “repeticiones”, etc. Los procesos cognitivos son los resultados de un cierto trabajo de la mente, y sus causas son los factores internos y externos que afectan la actividad mental.

Hay una correspondencia lógica entre los efectos del comportamiento erróneo en cualquier nivel del modelo, con las causas del comportamiento erróneo al nivel inmediatamente siguiente.

## 3. La Clasificación y el Ambiente de Trabajo:

La correlación de la anterior clasificación con el ambiente de trabajo se aplica en dos direcciones: a través de factores externos que afectan el comportamiento humano y a través de las manifestaciones de tal comportamiento. Las causas relacionadas al sistema, o externas, son dinámicamente generadas por la continua evolución de los accidentes y varían sustancialmente según el área de aplicación.

El analista de FH tiene la función de examinar el ambiente de trabajo,

el diseño, y el sistema de control, para definir las posibles causas y formas de comportamiento. De esta manera, el planteamiento teórico del modelo y la clasificación, son complementados con datos exactos y reales correspondientes al sistema en el estudio. En otros términos, debe desarrollarse una base de datos de un análisis exacto del ambiente de trabajo, con el fin de definir las causas contextuales y las manifestaciones de la conducta errónea.

## PROCEDIMIENTO PARA APLICAR LA METODOLOGÍA

El paso final corresponde al procedimiento para la aplicación de la metodología en el diseño de SDC. El referente tomado para este paso, se denomina: “Modelo de Proceso de la Ingeniería de la Usabilidad y la Accesibilidad (MPIUA)” [2], que nos proporcionará la manera de proceder organizadamente para poder obtener usabilidad en el diseño de una SDC, como un producto interactivo. Se trata de un procedimiento multidisciplinar que tiene sus raíces en otros saberes básicos: la psicología cognitiva, la psicología experimental, la etnografía y la ingeniería de software.

La usabilidad está definida como la medida en la que un producto se puede usar por determinados usuarios para conseguir objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción, en un contexto de uso especificado [3]. El MPIUA dirigido al diseño de SDC involucra en una serie de actividades (ver figura 1) que se pueden clasificar como:

- Requisitos de Usabilidad de SDC.
- Objetivos de Usabilidad de SDC.
- Actividades Diseño de SDC.
- Actividades de evaluación de los objetivos de usabilidad de SDC.

Veámoslos más detalladamente.

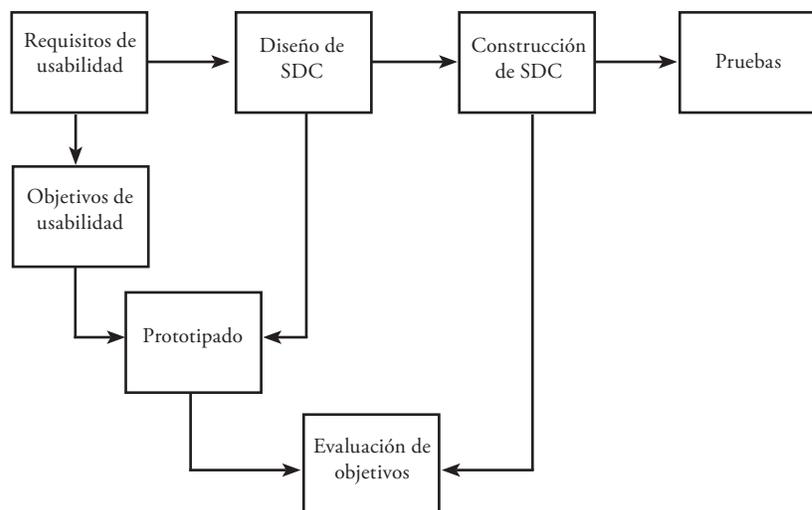


Figura 1. Actividades de diseño de SDC usando la MPIUA.

### Requisitos de Usabilidad de SDC

En esta fase, se establecen los servicios que una SDC debe proporcionar y las restricciones bajo las cuales está expuesta. Esto se realiza a través de un Análisis Etnográfico, el cual nos permite observar y describir la población objetivo en una

SDC (los operarios), para determinar sus aspectos culturales. Entre los aspectos más relevantes, se destacan:

- 1) El perfil del operario: las características más relevantes de los operarios de una SDC son muy diversas, p. e.: el grado de conocimiento o uso de los equipos, la experiencia profesional, el nivel de estudios, la experiencia en el puesto o tipo de trabajo, el entorno social, etc.
- 2) El análisis contextual de tareas: para llegar a especificar y entender los objetivos de los operarios en el ambiente de trabajo, de una SDC, debe realizarse un estudio de las tareas que actualmente realizan, cómo las realizan, y cuales patrones de trabajo utilizan.
- 3) Los actores: es muy importante para poder modelar las tareas de supervisión, identificar los diferentes tipos de actores relevantes que intervienen en una SDC, éstos pueden identificarse basándose en dos diferentes tipos de variables:
  - Características psicológicas, como estilos cognitivos o habilidades espaciales; y
  - Características relacionadas con las tareas, por ejemplo, el nivel de conocimiento de la tecnología utilizada en una SDC.
- 4) Los roles: indican clases de actores, los cuales tienen asignados ciertos subconjuntos de tareas, ya sea por elección propia o como resultado de la organización.
- 5) La organización: hace referencia a la relación que existe entre actores y roles en el contexto de las tareas a realizar en una SDC, y describe la estructura jerárquica y de delegación de responsabilidades entre roles, así como el papel de los actores en los diferentes roles.
- 6) Los objetos: cada cosa que sea relevante en las actividades del Control Supervisor, en una cierta situación, es un objeto en el sentido del análisis de tareas. Por ejemplo, indicaciones, mensajes, contraseñas, firmas, etc.
- 7) La plataforma: se relaciona con el estudio y documentación de la plataforma tecnológica escogida para estructurar una SDC, las posibilidades que ofrece y las restricciones tecnológicas.
- 8) El perfil del entorno: el entorno suele influir directamente en la manera en que se realiza el trabajo de supervisión, por lo que deberá tenerse en cuenta dicho factor a la hora de realizar el diseño de una SDC, pues las tareas necesarias para su consecución pueden variar dependiendo del concepto mental que se pueda tener.

### Objetivos de Usabilidad de SDC

De las actividades anteriores se obtienen objetivos específicos que reflejan cualitativamente los requisitos de usabilidad de una SDC, además de un mínimo de objetivos cuantitativos para que el operario pueda disponer de un buen funcionamiento del sistema. Estos objetivos serán fundamentales en la fase de diseño y sobretodo en la evaluación, para garantizar un alto grado de usabilidad de una SDC. Los objetivos básicos de la usabilidad en SDC se pueden enumerar de la siguiente manera:

- 1) Facilidad de aprendizaje:
  - Minimizar el tiempo necesario que se requiere desde el desconocimiento de las actividades de Control Supervisor, hasta su total comprensión.
  - Proporcionar ayuda a usuarios novatos en la utilización de los dispositivos presentes en la SDC, de modo que les permita llegar a un nivel de conocimiento y uso máximo del sistema.
- 2) Consistencia: una SDC es un sistema consistente si todos los mecanismos que se utilizan son siempre usados de la misma manera en cualquier momento. Algunas recomendaciones para diseñar sistemas consistentes, son:
  - Seguir guías de estilo siempre que sea posible.
  - Diseñar con un aspecto común.
  - No hacer modificaciones si no son necesarias.
  - Añadir nuevas técnicas al conjunto preexistente, en lugar de cambiar las ya conocidas y/o probadas.
- 3) Flexibilidad: se refiere a las múltiples maneras en que el operario y el proceso intercambian información con los artefactos de la SDC. Los parámetros que miden la flexibilidad son:
  - Control del operario:
    - Permitir a los operarios dirigir las actividades de supervisión.
    - Permitir a los operarios no estar forzados a trabajar para el proceso.
    - Volver a los operarios inteligentes para que resulte obvio el cómo proceder.
  - Como dar control al operario:
    - Dar a los operarios la posibilidad de poder corregir.
    - Dar a los operarios control para empezar y acabar las operaciones siempre que sea posible.
  - Migración de tareas: está relacionada con la transferencia del control entre el operario y el sistema. Tanto el operario como el sistema han de poder pasar de una tarea a otra o fomentarla, de manera que pueda ser completamente interna o compartida entre los dos.
  - Capacidad de sustitución: permitir que valores equivalentes puedan ser substituidos, eliminando cálculos innecesarios al operario, minimizando errores y esfuerzo cognitivo.

- Adaptabilidad: consiste en la adecuación automática al sistema. Las decisiones para poder hacerlo están basadas en la experiencia del operario y/o en la observación de la repetición de ciertas secuencias de tareas de supervisión.
- 4) Recuperabilidad: es el grado de facilidad con que el sistema instalado en una SDC, le permite, a un operario, corregir una acción una vez se halla reconocido un error.
  - 5) Tiempo de respuesta: Se define, generalmente, como el tiempo que necesita el proceso para expresar los cambios de estado señalados por el operario.
  - 6) Disminución de la carga cognitiva: Esto significa que los operarios:
    - Deben confiar más en los conocimientos que en la memoria.
    - No tienen que recordar abreviaciones y códigos muy complicados.

#### Actividades Estructuradas del Diseño de SDC

**Diseño:** La finalidad esencial del diseño de Salas de Control es proporcionar el soporte necesario a las personas en su trabajo diario: la Supervisión de procesos. Uno de los aspectos más importantes en las DSC radica en la interacción con el operario. Los dispositivos (hardware y software), facilitan al operario el acceso a los recursos del sistema. Estos determinarán en gran medida la percepción e impresión que el operario tendrá del diseño.

El operario no debe interesarse en la estructura interna de un determinado diseño de SDC, sino en cómo usarla. Debe empezarse con la idea clara de cómo se quiere la sala y cómo serán las interacciones con el operario, para después desarrollar las especificaciones funcionales que sirvan de guía al diseño posterior. Teniendo como base los requisitos de la fase anterior y los objetivos obtenidos de la misma, se rediseñarán las tareas del operario para racionalizar la organización del trabajo y explotar las capacidades que la automatización proporciona. En esta fase no interviene diseño alguno, ya que sólo se trata de estructurar la parte funcional de la información obtenida del análisis de requisitos de usabilidad.

Las actividades del diseño de SDC son:

- Análisis de tareas: consiste en el proceso de analizar la forma como los operarios realizan sus trabajos, las cosas que hacen, las cosas sobre las cuales o con las cuales actúan y las cosas que necesitan conocer. Existen varios métodos para realizar el análisis de tareas, los cuales se diferencian entre sí básicamente por el grado de formalismo de su notación y por su poder de expresión y finalidad. Todos ellos parten de un objetivo, unas tareas a realizar para el alcance de tal objetivo y una serie de acciones ó pasos a seguir para estructurar el orden y el cómo deben ejecutar dichas tareas.

- Modelo conceptual: es una descripción de la sala propuesta en términos de un conjunto integrado de ideas y conceptos sobre lo que ésta debe hacer, sobre cómo debe comportarse y como debe parecer, para que sea comprensible por los operarios de la forma en que se ha propuesto. El desarrollo de un modelo conceptual, implica previsualizar la sala propuesta, basándose en las necesidades del operario y otros requisitos identificados. Se pueden distinguir diferentes clases de modelos conceptuales, pero agrupados o clasificados en dos grandes grupos:
  - Modelos Conceptuales basados en las actividades: interactuando con SDC, los operarios suelen verse envueltos en tareas no excluyentes, como: Instruir, Conversar, Manipular y Explorar.
  - Modelos Conceptuales basados en los objetos: estos tienden a ser más específicos que los anteriores ya que se basa en equipos o artefactos utilizados en el contexto de la Supervisión.
- Estilo: La definición de un estilo garantiza la coherencia visual y funcional de una SDC. Es aconsejable, incluso, que una vez definido el estilo, se documente debidamente para que sirva de guía para todo diseño, teniendo en cuenta que casi todos evolucionan con el tiempo (nuevas funcionalidades, nuevas capacidades, etc.). Existen algunos estándares, como ANSI, ISO, DIN, MIL-STD, NASA-STD, creados para proteger la uniformidad y la línea de productos desarrollados, mejorando, con ello, la eficiencia del operario y aseguran la coherencia y la consistencia a lo largo del diseño. En algunos casos también existen estándares específicos, que recogen aspectos particulares del cliente final. Suelen tener mayor importancia cuando se trata de actividades específicas como SDC de plantas nucleares, de estaciones espaciales, cabinas de aeronaves, etc.
- Diseño detallado: esta fase es el resultado de la evolución lógica de las fases anteriores luego de haber sido prototipadas y evaluadas como mínimo una vez, aunque el número de iteraciones necesarias para definir esta fase dependerá enormemente de la magnitud del proyecto. Se procede a realizar un diseño de SDC que recoge todas las referencias agrupadas en tareas anteriores con el mayor detalle posible hasta disponer de una versión definitiva.

**Prototipado:** El concepto de prototipado engloba todas las herramientas que permiten realizar simulaciones por los diseñadores de SDC. El esquema del modelo de proceso no marca ninguna pauta para indicar a los diseñadores en qué situaciones deberán recurrir al uso de una determinada o determinadas técnicas para simular el funcionamiento de una SDC, como tampoco limita a estos a poder realizar un primer prototipo en la fase inicial del proyecto, incluso antes de realizar cualquier análisis de tareas, si es que creen conveniente hacerlo. Esto es así porque el modelo propuesto intenta garantizar que se cumplan los pasos necesarios para disponer de un producto altamente usable a la hora que dota al diseñador de un alto grado de libertad para que decida cuando y como deberá aplicar las diferentes técnicas.

Los prototipos responden cuestiones y dan soporte a los diseñadores a la hora de escoger entre varias alternativas. Es más, sirven para una gran variedad de propósitos como por ejemplo para probar la fiabilidad técnica de una idea, clarificar requisitos que quedaron imprecisos, etc. Las actividades del Prototipado de SDC, son:

- Los escenarios: son una forma de reflejar las actividades cotidianas de los operarios en el contexto de la Supervisión. Destacan objetivos sugeridos por la apariencia y comportamiento del proceso; qué es lo que los operarios quieren hacer con él; qué procedimientos se usan, cuales no se usan, se realizan o no satisfactoriamente y que interpretaciones hacen de lo que observan. Los escenarios tienen dos elementos característicos: la configuración, que sitúa la acción donde se desenvuelve, con que elementos, características iniciales, etc., y los actores, que son los que realizan la acción.
- Prototipos en papel: se basa en la utilización de lápiz, papel y tijeras; en definitiva instrumentos que se puedan utilizar para describir un diseño en un papel. Este sistema permite una gran velocidad y flexibilidad a la hora de hacer los prototipos, a la vez que se trata de una técnica “altamente económica” puesto que se trabaja con materiales muy básicos. La técnica del prototipaje en papel consiste en dibujar, sin entrar en grandes detalles estéticos, las SDC que se van a evaluar.
- Maquetas: son objetos contruidos normalmente con materiales muy básicos, como por ejemplo madera o cartón, que sirven de herramienta con el fin de evaluar una parte física de una Sala de Control.
- Gráficos de históricos: consiste de una serie de ilustraciones que le muestran al operario, la evolución de la situación mientras está interactuando con el proceso. Esta técnica suele acompañar a los escenarios con lo que se consigue una mayor precisión y sobretodo aporta un mayor grado de información para su posterior evaluación. Algunas herramientas de diagramación que pueden utilizarse son: narrativa, flowchart, texto procedimental y vídeos.

**Construcción:** es el momento en que se ven concretadas en mayor o menor grado las expectativas puestas en el producto. Si el cliente se trata de una organización, el grado de satisfacción dependerá de que personas dentro de la estructura jerárquica de dicha organización examinaran los resultados. De todas formas cabe indicar que la percepción que el usuario final del producto tiene un peso específico enorme a la hora de indicar si el producto será aceptado o no.

El éxito total de la SDC desarrollada dependerá de dos factores muy importantes. Por un lado, que el operario se

sienta cómodo, es decir, que no le resulte complicado usarla, que recuerde fácilmente donde están las diferentes opciones y sus funcionalidades, etc., y por otro lado, que los responsables obtengan los resultados esperados.

### Aspectos Ergonómicos en el Diseño de SDC

Ergonomía Física: el objetivo final de la ergonomía en el diseño de SDC, es configurar el puesto de trabajo para que sea más seguro, cómodo y productivo. Para ello la ergonomía tiene que auxiliarse de diferentes disciplinas que le proporcionan la información necesaria para obtener el puesto de trabajo con los atributos requeridos: ingeniería, medicina, psicología y sociología son probablemente las disciplinas que contribuyen de forma más directa, específicamente, se tienen:

- La antropometría: El diseño de SDC se realiza atendiendo a las acciones que deben ejecutarse para una determinada tarea y al tipo de acciones que el operario puede ejecutar con un margen suficiente de seguridad y comodidad. La antropometría es la ciencia que estudia las medidas del cuerpo humano tomando como referencias las estructuras anatómicas principales. El número de medidas antropométricas varía en función de la precisión deseada y de los fines buscados. Una lista, comprendiendo 24 parámetros se ofrece en la tabla 1.

Altura poplítea. (AP)	Altura de caderas (muslos) sentado (RRS)
Distancia sacro-poplítea.(SP)	Altura subescapular, sentado (AS)
Distancia sacro-rótula (SR)	Altura iliocrestal (AI)
Altura muslo asiento (MA)	Distancia vertical
Altura muslo-suelo (MS)	Ancho codo-codo (CC)
Altura rodilla suelo (RS)	Profundidad de pecho (PP)
Altura codo asiento (CA)	Profundidad de abdomen (PA)
Distancia codo-mano (CM)	Anchura de hombros (HH)
Alcance máximo del brazo adelante (Amab)	Altura hombros-suelo de pie (HSp)
Alcance mínimo del brazo adelante (Amib)	Altura codo-suelo, de pie (CSp)
Altura ojos-suelo sentado (OSs)	Altura ojos-suelo, de pie (Osp)
Altura hombros asiento (HA)	Ancho de tórax (AT)
	Estatura (E)

**Tabla 1.** medidas antropométricas

Los datos antropométricos además de estar afectados por la población de referencia pueden cambiar a lo largo del tiempo, de aquí la importancia de realizar estudios antropométricos con la suficiente frecuencia para tener bases de datos actualizadas. Entre las principales variables que afectan los parámetros del

hombre medio están la edad y el sexo, aunque puedan influir otras variables como el grupo étnico o variables sociales diferentes como el grupo económico. Probablemente el factor de variación más analizado en antropometría es el sexo. Los datos absolutos obtenidos para hombres y mujeres indican que los valores son mayores para los hombres. En la tabla 2, se observan tales diferencias.

	Hombres	Mujeres	Dif.	Rel.
Peso	70,30	57,48	12,55	1,22
Estatura	1.685,97	1.581,23	104,74	1,07
Altura del nivel de los ojos	1.582,52	1.478,90	103,62	1,07
Altura del nivel de los hombros	1.401,00	1.311,67	89,33	1,07
Altura del nivel de los codos	1.073,88	1.011,24	62,64	1,06
Alcance máximo vertical mano	2.103,40	1.956,45	146,95	1,08
Alcance máximo frente mano	768,71	713,70	55,01	1,08
Longitud del brazo	341,46	322,45	19,01	1,06
Longitud del antebrazo	275,40	252,68	22,72	1,09
Longitud cadera-rodilla	506,55	504,66	189	1,00
Altura al nivel de las rodillas	482,96	452,98	29,98	1,07

Funciones que Mejor hace el Hombre	Funciones que Mejor hace la Máquina
Recepción de amplia gama de estímulos	Operaciones de rutina
Generación de esquemas percibidos	Operaciones rápidas y precisas
Retención de alto volumen de percepción	Respuesta inmediata a señales
Capacidad de juicio	Trabajos de considerable fuerza y precisión
Improvisación	Capacidad de recobro de mucha información
Respuestas originales	Cálculos rápidos y precisos
Cambio de procedimientos	Sensible a estímulos fuera del registro humano
	Insensibilidad a factores humanos patógenos

Tabla 3. Interacción Hombre-Máquina

- El diseño en función de la población: El diseño de SDC raramente se hace atendiendo a una sola persona, es demasiado costoso y los puestos de trabajo no suelen ser unipersonales. En el caso de que así fuera se procedería tomando las medidas antropométricas de la persona en cuestión. El diseño unipersonal es raro y lo habitual es que el diseño de SDC se realice para un grupo o población. En éste caso hay varios sistemas de diseño.
  - Diseño para los extremos: se efectúa cuando se tiene en cuenta las medidas antropométricas extremas del grupo en cuestión. Por ejemplo, si se trata de decidir la distancia a la que hay que situar un mando de control se tendría en cuenta la distancia más corta del brazo de los miembros del grupo, de forma que todos lo puedan alcanzar sin problemas.
  - Diseño ajustable. es el tipo de diseño que se realiza cuando se quiere que cada operario de un puesto de trabajo adapte las medidas con las que tiene que trabajar, de forma que le permitan la máxima seguridad y comodidad de operaciones.
  - Diseño promedio. en este caso el diseño se efectúa atendiendo a los parámetros antropométricos del hombre medio anteriormente expuestos.
- La Interacción Hombre-Máquina IHM: en la situación del actual desarrollo tecnológico, pueden establecerse tres tipos básicos de entornos o tipo de interacción con el propio trabajo: manual, mecánico y automático. Para el diseño de SDC se tiene en cuenta un entorno automático. Los sistemas automáticos son aquellos en los que la IHM es muy escasa, ya que la propia máquina realiza el proceso de autocontrol necesario para su operación. Sin embargo, un automatismo total es prácticamente inexistente ya que siempre es necesaria alguna forma de supervisión y control externo por parte del hombre. El diseño adecuado de la IHM supone el análisis previo de las funciones y tareas que ejecuta mejor la máquina y las que realiza mejor el hombre. Cada uno de los elementos de la IHM tiene sus partes fuertes. La tabla 3 reúne alguna de ellas.
  - El espacio de trabajo: es el lugar donde se realizan las tareas de supervisión. En algunos casos es fijo, en otros casos es móvil debiendo ejecutarse en diferentes lugares. La determinación del espacio de trabajo debe atenderse a posturas, movimientos y visibilidad espacial.
  - La posición en el trabajo: la posición del puesto de trabajo en una SDC es uno de los aspectos más importantes de su diseño ergonómico. Las posiciones posibles en un puesto de trabajo son múltiples, pero mientras algunas son cómodas y requieren poco esfuerzo, otras hacen más difícil e inseguro trabajo y con el tiempo son causa de molestias cuando no de accidentes o lesiones. Las posiciones de trabajo más cómodas son de pie y sentado. No obstante cada posición tiene sus ventajas e inconvenientes. Cuando la posición es de pie y el trabajo es estático hay un gasto de energía considerable en el mantenimiento del equilibrio y una circulación sanguínea insuficiente. Sin embargo la posición de pie es más

conveniente cuando se tienen que hacer movimientos que implican el uso de fuerza. La posición de sentado supone una modificación de la columna vertebral que deja de tener su forma normal (lordosis) para adoptar una forma más tensa y contraída (cifótica), aquí se debe tener en cuenta el diseño del asiento, lo más conveniente es que su altura sea regulable entre 32 y 50 cm. Con profundidad entre 40 y 50 cm. La anchura debe ser calculada atendiendo al máximo de cadera de las personas que vayan a sentarse. El respaldo debe suministrar apoyo a la zona lumbar, el plano medio del asiento no debe superar un ángulo de tres grados respecto a la horizontal y el respaldo los 100 grados respecto al asiento. Se sugiere que la planta del pie se apoye cómodamente en el suelo y que la rodilla forme un ángulo de 90°. Otros elementos a considerar son el apoyabrazos, el soporte y acolchamiento (distribuye de forma equilibrada la presión del cuerpo). En cuanto al soporte o apoyo sobre el suelo, su característica más importante es que sea estable (se recomienda cinco puntos de apoyo móviles).

- Los planos de trabajo: la altura del operario es el criterio más relevante cuando se trata de establecer la altura del plano de trabajo que se debe efectuar con las manos en una SDC. La altura media recomendada es para un hombre de 170 cm, por ello, en la medida que sea posible, los planos de trabajo deberían ser modificables y adaptables en una amplitud de más de 20 cm y menos de 30 cm. El uso de los planos de trabajo sentado sigue una lógica semejante a la anterior. De nuevo se pueden distinguir tres tipos de trabajo: de precisión, mecanográfico o similar y de lectoescritura.
- Las áreas de trabajo: el área o espacio de trabajo conveniente en una SDC es aquel en el que se realizan los movimientos pertinentes y necesarios sin que ello suponga gastos energéticos excesivos o esfuerzos notables. Los movimientos normales son aquellos que se realizan con los brazos paralelos al tronco y los antebrazos en un ángulo de 90°.
- Dispositivos informativos visuales: existen diferentes formas de transmitir visualmente la información necesaria para la interacción en una SDC. El criterio de selección a seguir es el de eficacia y sencillez. La transmisión de la información depende de algunos parámetros físicos como la visibilidad y legibilidad del mensaje transmitido. Existen siete tipos básicos de dispositivos visuales.
  - Alarmas: Suelen ser pilotos luminosos que se activan. Frecuentemente se utiliza el sistema de parpadeo más que el encendido para atraer más rápidamente la atención. Su encendido indica una llamada de atención que debe ser atendida inmediatamente. En función de su importancia pueden llevar añadida una alarma sonora complementaria.

–Indicadores: Se diferencian de las alarmas en que su encendido no implica una acción inmediata, sino la transmisión de una información que debe ser tenida en cuenta, por ejemplo, de que se está realizando una acción sobre el proceso.

–Símbolos: Son señales convencionales que transmiten una información o norma que debe cumplirse. Los símbolos son muy eficaces ya que su interpretación requiere menos conocimientos y transmiten de forma intuitiva la información pretendida.

–Escritura: Con frecuencia el lenguaje escrito acompaña a la información suministrada por los símbolos para aclararlo o para insistir en su mensaje. En el contexto de los dispositivos visuales, el escrito debe ser breve y claro, si es posible en sentido afirmativo, dotado de una buena legibilidad.

–Contadores: Son dispositivos que informan de un número o valor con el que se debe operar. Como tales expresan directamente el número o valor en cuestión, la altura o profundidad puede ser un ejemplo. No se aconsejan para procesos de cambios muy rápidos.

–Diales y cuadrantes: Son los dispositivos visuales más complejos y pueden tomar diferentes formas: circulares, semicirculares, rectangulares, cuadrados etc. Los hay de dos tipos indicadores móviles con una escala fija, como el cuentarrevoluciones o escalas móviles con un indicador fijo.

–Pantallas: Tienen una gran extensión de uso. Las más conocidas son las pantallas de los monitores de computador, que se exponen en otra parte. Además, otras pequeñas pantallas o displays juegan un papel informativo de retroalimentación del comportamiento del proceso para el operario.

- Dispositivos auditivos: tienen la ventaja de que no requieren una ubicación fija del operario en una SDC y son más resistentes a la fatiga. Para que puedan escucharse debidamente deben de tener un volumen de 10 dB por encima del ruido ambiental. Suelen utilizarse preferentemente cuando tienen una función colectiva, como una sirena. Su uso suele complementar a los dispositivos visuales, los acompañan cuando hay una sobrecarga visual y cuando se quiere llamar inmediatamente la atención.
- Dispositivos táctiles: se usan en lugares con una iluminación deficiente, cuando el número de controles es muy elevado y se corre el riesgo de confusión o para ser utilizados por personas que tienen problemas de visión. Ayudan a aumentar la flexibilidad del sistema.
- El control de la interacción: La IHM en la SDC tiene como función controlar los procesos que se desarrollan a fin de poder alcanzar el objetivo previsto y obtener los resultados esperados, al menos dentro de unos límites. Las funciones básicas que desarrollan los controles son las de iniciar o

detener un proceso, fijar los valores discretos con los que se quiere trabajar, especificar un valor continuo con el que se quiere operar, cambiar el tipo de proceso o introducir nuevos datos en un sistema.

Los tipos de controles que pueden ser utilizados para ello son múltiples: palancas, volantes, pedales, manivelas, perillas, selectores rotativos, interruptores y botones de diverso tipo y forma de activación. Es importante la selección del tipo de control a utilizar pues de ello depende su eficacia. Así la selección de los controles debe seguir el principio de no sobrecargar ninguna extremidad. Según la precisión de la operación el control se debe asignar a las manos o a los pies, dejando para los pies los controles menos precisos y que más fuerza deben aplicar. Así como las manos pueden accionar varios controles sin riesgo de error, el uso de controles por medio de los pies debe usarse de forma limitada. La figura 2 expone los criterios a seguir en la selección de los controles.

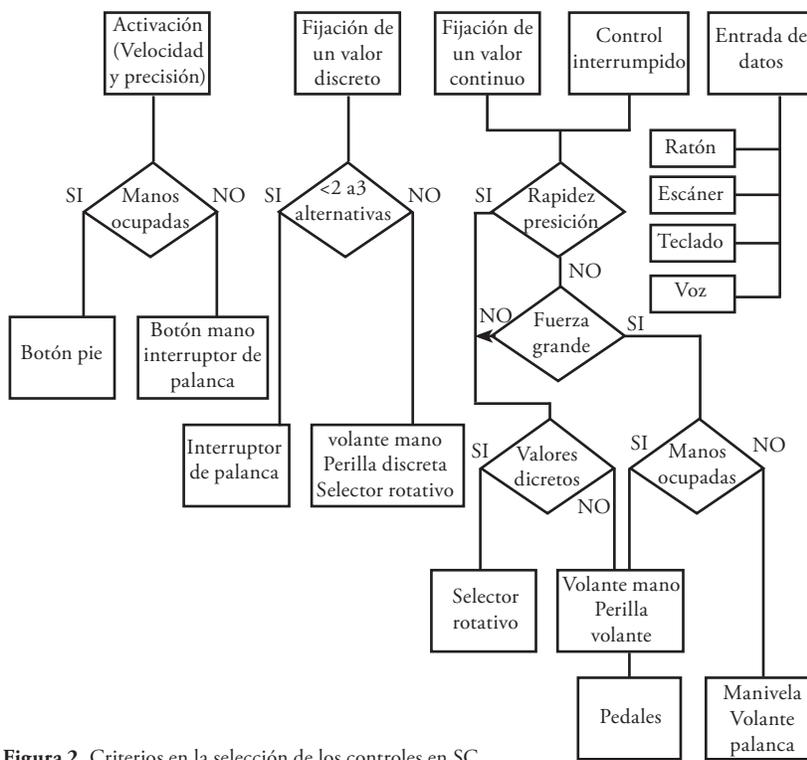


Figura 2. Criterios en la selección de los controles en SC.

El primer requisito de los controles es que su uso sea sencillo y minimicen las posibilidades de error. El ideal de cualquier control es que una vez conocida su función, su utilización sea intuitiva o al menos permita un aprendizaje seguro y rápido. La compatibilidad estudia estos aspectos desde diferentes puntos de vista. Existen cuatro aspectos de la compatibilidad que es necesario tener en cuenta: espacial, de movimientos, temporal y cultural.

La compatibilidad espacial o geométrica se refiere a la correspondencia espacial entre los dispositivos informativos y sus controles correspondientes. La relación entre ellos debe ser fácilmente percibida de forma que al manejar un control se sepa a que indicador corresponde.

La compatibilidad de movimientos se refiere a la correspondencia entre el movimiento que se debe efectuar en los controles y el sentido marcado por los

indicadores correspondientes, de forma que indicador y control vayan en el mismo sentido. En nuestra cultura los valores de la escala deben aumentar de izquierda a derecha o de abajo a arriba y los mandos de los controles deben accionarse en el mismo sentido. Así, una perilla girará a la derecha para aumentar un valor, y una palanca se accionará hacia arriba cuando se desea aumentar los índices de referencia.

La compatibilidad temporal se refiere a la velocidad de reacción que se establece entre el indicador y el control. La relación entre la información del indicador y la necesidad de respuesta del usuario no debe sobrepasar la capacidad de reacción motriz media.

La compatibilidad temporal depende del tiempo de reacción, que se define como el tiempo entre la recepción de una señal y la rapidez de ejecución posible de la respuesta adecuada. Con frecuencia el tiempo de reacción no es una variable crítica porque la información no es urgente y simultáneamente relevante y depende de muchos factores como la edad, el entrenamiento, el tipo de señal recibida, la fatiga etc. Existen dos tipos de tiempo de reacción, el simple, que depende de una señal del tipo ausencia-presencia, y el tipo complejo que depende de una información con diferentes alternativas. Existen algunas referencias que tratan de establecer el tiempo de reacción en función del tipo de señal recibida, que se resumen en la tabla 4.

SENTIDO	TRS-TRC (ms)
Tacto	110-155
Audición	120-160
Visión	150-200
Temperatura	150-200
Olfato	200-500
Dolor	200-1000

Tabla 4. Tiempos de reacción simple y complejo en función de la naturaleza estimular



### Actividades de evaluación de los objetivos de usabilidad

Una vez la SDC ha sido instalada y puesta en funcionamiento durante un cierto periodo denominado habitualmente como fase de pruebas, se recogen las impresiones, mejoras, defectos, etc., de los operarios. A partir de dichas impresiones se hacen las mejoras y retoques que se crean oportunas, dejando la Sala nuevamente en fase de prueba por parte del operario hasta tener una satisfacción total. Se podría pensar que como el sistema se ha desarrollado siguiendo el modelo de proceso orientado al operario, esta etapa debería ser innecesaria a este nivel del modelo, pero existen cuatro razones que deben tener en cuenta este factor:

- Proporcionar una entrada para el mantenimiento y posibles mejoras de la SDC.
- Proporcionar una entrada para la implementación de futuras revisiones de la SDC.
- Proporcionar una entrada para el diseño y desarrollo de elementos relacionados que serán utilizados por los mismos operarios o de características similares.
- Incrementar el autoaprendizaje en cuanto a la usabilidad (toda nueva experiencia supone un incremento de conocimientos nuevos o mejora de los ya adquiridos).

Para ello se realiza lo siguiente:

- 1) Evaluación: el objetivo de los prototipos de SDC no tendría sentido si no fuese porque estos van a ser evaluados para poder comprobar de antemano el funcionamiento del sistema. El prototipo es una herramienta muy útil para hacer participar al operario en el desarrollo y poder evaluar el producto ya en las primeras fases del diseño (modelo del ciclo de vida basado en prototipos). La actividad de evaluación de SDC es la Inspección. La Inspección: Aglutina un conjunto de métodos para evaluar la Sala, en las que hay unos expertos conocidos como evaluadores, que explican su grado de usabilidad basándose en la inspección o examen del mismo. Existen varios métodos que se enmarcan en la clasificación de evaluación por inspección. Los más importantes son el Heurístico (validación de reglas de usabilidad), el Recorrido de la Usabilidad Plural (debate entre participantes sobre prototipos), el Recorrido Cognitivo (evaluación de la facilidad de aprendizaje) y por estándares.
- 2) Pruebas: En los métodos de usabilidad por prueba, operarios representativos trabajan en tareas utilizando la SDC (o el prototipo) y los evaluadores utilizan los resultados para ver cómo ésta soporta a los operarios con sus tareas. Los principales métodos de evaluación por prueba son:
  - Medida de las Prestaciones: este método tiene como primer objetivo el mejorar la usabilidad de la SDC gracias a la realización de pruebas con operarios, personas o grupos reales realizando labores habituales también reales.
  - Thinking Aloud (pensando en voz alta): en este método, se les pide a los operarios que expresen en voz alta sus

pensamientos, sentimientos y opiniones mientras que interactúan con el sistema (o un prototipo del mismo). es muy útil en la captura de un amplio rango de actividades cognitivas. Se realiza con operarios únicos que expresan libremente todo lo que piensan sobre el diseño y la funcionalidad de la SDC.

- Interacción Constructiva: este sistema puede ser visto como una variante del anterior puesto que se trata de hacer lo mismo pero en vez de operarios únicos aquí se trabaja con grupos de dos operarios hablando entre sí. La principal ventaja radica en que como los operarios tienen que hablar entre ellos, salen a la luz más ideas que en el anterior, ya que al ser uno solo podían quedar cosas en su mente. Suele aportar más y mejor información que el anterior.
- Test Retrospectivo: esta técnica realmente es un complemento de las demás, ya que se trata de realizar alguno de los métodos anteriores, grabarlo en vídeo y analizar dicha grabación posteriormente. El hecho de hacerlo así permite pasar varias veces la cinta y examinar todos y cada uno de los detalles sin que pase ninguno por alto.
- Método del Conductor: en los métodos anteriores el operario suele ir a su ritmo y el evaluador analiza los resultados a posteriori. En este método el evaluador conduce al usuario en la dirección correcta durante el uso del sistema.

### CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

Dado que en nuestro medio no estamos familiarizados con el desarrollo de este tipo de trabajos, máxime cuando los responsables de la dirección de una empresa que desempeña actividades de Supervisión, no tienen el interés de evaluar el impacto producido por un mal diseño y por ende un mal desempeño del operario en una SDC, la aplicación de ésta guía puede crear desconcierto en los directores que la podrían verla como una pérdida de tiempo y dinero para la empresa y un obstáculo en las labores cotidianas de los operarios de la Supervisión.

Es necesario generar toda una infraestructura organizacional hacia el desarrollo de un portafolio para la realización de las actividades concernientes a la aplicación de guías como ésta, como un aporte hacia la productividad. Dicha infraestructura deberá contar con los recursos humanos especialmente en las tareas de:

- Diseño de documentos (como guías, formatos, etc.) para la toma de la información de campo.
- Recopilación de información de campo.
- Tratamiento y análisis de la información de campo recopilada.
- Presentación de propuestas concretas hacia el diseño o rediseño de SDC, como producto de la evaluación.

La inversión en una empresa que ofrezca estos servicios puede ser alta, ya que se requiere de la necesidad de contar con varios profesionales especializados en diferentes disciplinas, que estén en capacidad de integrar los métodos de diseño convencional con las actividades planteadas en ésta guía.

Por otro lado durante el desarrollo de la guía, el personal encargado de las labores de supervisión por su desconocimiento del tema, puede no estar a gusto, y no estarían dispuestos a colaborar, con el peligro de tomar información errada que no conlleve a obtener buenos resultados.

Una posibilidad, sería el desarrollo de paquetes de software donde se apliquen los conceptos planteados, como por ejemplo un CAD con una herramienta relacionada con la ergonomía tanto física como cognitiva, ello ayudaría a mejorar los nuevos diseños.

---

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sheridan, T. B. Supervisory control. En G. Salvendy (Ed.), Handbook of human factors and ergonomics (2nd edition). New York: Wiley. 1997.
- [2] <http://www.usabilityfirst.com/intro/index.txt>.
- [3] Nielsen, J. Usability engineering. AP Professional, Boston, MA, 1993.
- [4] Cañas, José Juan. Ergonomía cognitiva. <http://www.psicologia-online.com/articulos/2004/ergonomia.shtml>.
- [5] Cañas, José Juan. Ergonomía Cognitiva: El estudio del Sistema Cognitivo Conjunto. [http://www.tid.es/presencia/boletin/bole24/bol24\\_art04.htm](http://www.tid.es/presencia/boletin/bole24/bol24_art04.htm).
- [6] Boy, Guy A. Cognitive Functions Analysis. European Institute of Cognitive Sciences and Engineering. Ablex Publishing Corporation. Stamford, Connecticut, London, England. 1999. p. 50.
- [7] Cacciabue, P. C. Human Error Risk Management For Engineering Systems: A Methodology For Design, Safety Assessment, Accident Investigation And Training. ELSEVIER, Reliability Engineering & System Safety. 2003.
- [8] Cacciabue, P. C., & Hollnagel, E.: Simulation of cognition: Applications. In J. M. Hoc, P. C. Cacciabue & E. Hollnagel (Eds.). Expertise and Technology: Cognition and Human-Computer Interaction. Hillsdale, NJ: LEA. 1995.