

# Aproximaciones al diseño ergonómico de máquinas

FRANCISCO MATA CABRERA

Los protocolos de diseño de ingenieros y proyectistas deben incluir de forma sistemática los aspectos ergonómicos y, en general, de seguridad

## Introducción

Con carácter general, se persigue que un diseño sea viable técnica y económicamente. Estas dos suelen ser las referencias destacadas, aunque hay otras tanto o más importantes como son la variable ambiental (sostenibilidad), la estética y, por supuesto, la ergonómica. Incluso debería ser considerada también una variable ética (código deontológico profesional).

Se analizan en este artículo los aspectos ergonómicos a tener en cuenta en el proceso de diseño de las máquinas. En suma, se trata de integrar en el diseño los requerimientos humanos en cuanto a la seguridad y la salud del futuro operador o manipulador de la máquina. Este planteamiento es siempre deseable frente a la adecuación posdiseño.

Como se sabe, la mejor manera de prevenir es eliminar o minimizar los riesgos en el origen. En el caso que nos ocupa, se trata de realizar diseños compatibles con la seguridad, reduciendo riesgos y ofreciendo medidas de protección integradas en el propio diseño. Entendemos, pues, que la variable ergonómica debe ser prioritaria en el proyecto de diseño de cualquier máquina o equipo industrial.

Este enfoque ergonómico del diseño precisa de formación específica dirigida

a los ingenieros de diseño. Sólo desde la concienciación y no desde la coacción (a pesar de las exigencias normativas) se conseguirá esta “disposición natural” y la consideración de la variable ergonómica como un objetivo en sí misma.

La *tabla 1* resume las responsabilidades del diseñador y de los usuarios de la máquina (empresario y operador).

Todas estas cuestiones serán abordadas a continuación.

## Ergonomía y diseño

Con la proliferación de normativas sobre prevención de riesgos laborales y la necesidad de atajar las consecuencias que para la seguridad y la salud del trabajador se derivan del uso de las máquinas, comenzó a cobrar especial importancia la ergonomía como disciplina unitaria, a caballo entre la fisiología y la técnica, entre la biomecánica y la medicina, hasta llegar a ser considerada como una parcela de gran trascendencia en la prevención.

Del mismo modo que en los proyectos de construcción o de obra pública se hace necesario incorporar un estudio de seguridad y salud (estudio básico o proyecto), también es prioritario integrar en los proyectos de diseño de máquinas y equipos industriales los aspectos relativos a la prevención y a la seguridad. Cier-

tamente, se trata de la fase de diseño en la que cabe actuar en la línea de proponer aquella alternativa que elimine o minimice ciertos riesgos específicos, o bien aceptar ciertos riesgos pero proponer las medidas de protección adecuadas.

La ergonomía estudia la relación del hombre con las máquinas, cómo se comunica, interactúa y trabaja con ellas. Esta relación tiene generalmente cuatro vertientes: visual, auditiva, táctil y postural.

## Criterios de diseño

El objetivo es diseñar y construir máquinas seguras; ahora bien, la seguridad absoluta no existe, dependiendo el nivel de riesgo de la gravedad y de la probabilidad de ocurrencia. Los referentes de seguridad a tener en cuenta en los protocolos de diseño son los siguientes:

- Determinación de los límites de la máquina: espaciales, temporales, de uso
- Identificación sistemática de las situaciones peligrosas en las diferentes fases y modos de funcionamiento de la máquina: montaje, utilización, mantenimiento, mala utilización...
- Reducción de los riesgos mediante prevención intrínseca:
  - evitando aristas cortantes, ángulos agudos, partes salientes



- manteniendo las fuerzas de accionamiento en niveles bajos
- reduciendo la inercia (masa) de los elementos móviles
- evitando ruido y vibraciones
- utilizando acciones mecánicas de desplazamiento definido
- utilizando bajas tensiones y protecciones eléctricas adecuadas
- observando las peculiaridades del ambiente específico de trabajo de la máquina (atmósferas explosivas, etc.)
- protección frente a los peligros que no pueden ser evitados
- información y advertencia de los riesgos residuales

#### **Diseño dimensional**

En el campo de la ergonomía, es preciso concebir el tamaño de las máquinas, en particular el de las zonas de trabajo, de modo que las posturas que deba adoptar el operador no le ocasionen molestias o dolencias más serias. Variables como la altura, la máxima extensión de las extremidades o requerimientos como la posibilidad de alternar posturas (flexibilidad) deben ser considerados. La utilización de datos antropométricos permitirá incorporar estas variables en el diseño, lo que evitará la apresurada toma de medidas en la fase de operación (en

muchos casos prohibitivas) y especialmente consecuencias negativas para la salud humana. Por ello, es importante que las dimensiones de la máquina se puedan acoplar a las del operador o tener capacidad de regulación dentro de los márgenes indicados por los datos antropométricos.

- Las posturas inadecuadas dan lugar a:
- sobrecargas en articulaciones, ligamentos y músculos de los miembros superiores
  - lesiones músculo-esqueléticas acumulativas: lumbalgias, dolores de cuello y espalda, tendinitis, síndrome del túnel carpiano
  - mayor riesgo de accidentes

Previo al diseño, debe hacerse un estudio pormenorizado de las tareas que va a realizar la máquina y aquellas que deberá controlar el operador, con el fin de identificar posturas de trabajo, tiempo de actividades, ciclos de repetición, etc., y orientar así el proceso de diseño.

En el diseño de herramientas manuales o bien en accionamientos de máquinas autónomas es preciso adaptar la forma y el peso de manera que la mano (o toda la extremidad superior) sufra lo menos posible.

Pero no solamente hemos de referirnos a la incidencia de patrones mús-

culo-esqueléticos, sin duda los más representativos.

#### **Condiciones ambientales**

No podemos obviar, entre otros, los aspectos relativos a la iluminación del plano de trabajo. En algunos casos será necesario prever una iluminación localizada o autónoma de la propia máquina, con independencia de la iluminación general del local de trabajo.

También debe ser analizada la temperatura nominal de servicio de las partes próximas al operador, circunstancia que amén del diseño de sistemas de refrigeración, imprescindibles por razones de tipo técnico, hará necesario disponer las carcasas aislantes oportunas a fin de mitigar tanto los efectos directos (quemaduras) como los indirectos (malestar, dolor de cabeza, falta de concentración, etc.).

Las condiciones ambientales más críticas desde el punto de vista de la seguridad del operador son la generación de ruido y vibraciones. Es inherente a cualquier mecanismo y a cualquier máquina como conjunto autónomo de mecanismos, la existencia de pequeños desajustes en términos de desequilibrios, desalineaciones de ejes y holguras, que son foco precursor de problemas directos, como desgastes, e inducidos, como vibra-

ciones y ruidos. Conocido es el efecto nocivo de las vibraciones, que pueden afectar a una parte diferenciada de organismo (mano-brazo) e incluso al cuerpo en su totalidad. Problemas de tipo nervioso, trastornos gástricos, cardiovasculares e incluso musculares pueden tener su origen en una exposición prolongada a vibraciones.

El ruido, por su parte, desencadena serios problemas auditivos si se superan determinados límites o niveles de exposición, pero también trastornos nerviosos e incluso afectivos.

Es evidente, pues, la necesidad de adoptar medidas de diseño para minimizar estas consecuencias para la salud del operador. Entre ellas, citamos algunas:

- empleo de ajustes adecuados, dotados de sistemas elásticos
- diseño de bancadas y bastidores para absorber las vibraciones
- utilización de sistemas de suspensión elásticos para evitar la transmisión de las oscilaciones al suelo (las vibraciones transmitidas desde el plano de apoyo son poco deseables)
- realización del correcto análisis dinámico de los sistemas móviles de la máquina, procediendo al equilibrado para compensar inercias cuando fuere necesario
- determinación de velocidades críticas en ejes y árboles, acotando así la máxima velocidad de trabajo
- diseño de dispositivos antivibratorios en máquinas especiales como cribas mecánicas, herramientas neumáticas, etc.
- implementación de sistemas de diagnóstico y monitorizado de vibraciones, medida interesante desde el punto de vista del funcionamiento de la máquina, manteniendo constantes los parámetros de diseño (mantenimiento predictivo-disponibilidad-fiabilidad), pero también desde el punto de vista de la prevención

Otros condicionantes de tipo ambiental, aunque específicos de ciertas máquinas, son la emisión de radiaciones y la

presencia de un grado de humedad excesivo. En el primer caso, se debe prever la pantalla protectora adecuada y fijar los tiempos máximos de exposición segura, de acuerdo con el tipo de radiación y los niveles de emisión previstos. En cuanto a la humedad, puede ocasionar trastornos de tipo respiratorio, músculo-esquelético e incluso irritabilidad, etc.

Medidas de seguridad, aunque no estrictamente ergonómicas, que también deben ser incorporadas durante el proceso de diseño son las relativas a la protección de los órganos en movimiento, tales como transmisiones flexibles por correas, de uso generalizado en las máquinas, mediante carcasas protectoras; árboles, engranajes y, por su puesto, las zonas de trabajo, que son las más críticas. En este sentido, citamos como ejemplos las pantallas protectoras y resguardos en tornos, taladradoras, centros de mecanizado, etc.

#### Diseño de indicadores y mandos

La interacción entre la máquina y el operador viene marcada por los diferentes mandos, indicadores o dispositivos de control, a los que hay que prestar gran atención en el diseño, buscando siempre:

- ubicación adecuada en las zonas de mejor visión (indicadores) o alcance (mandos)
- facilidad de manejo mediante formas y dimensiones adecuadas
- funcionamiento intuitivo

La previsión y el adecuado diseño de sistemas de control de los accionamientos, como frenos de emergencia mediante pedal, pulsadores tipo "seta", etc., resultan imprescindibles en la totalidad de las máquinas.

La incorporación de la electrónica y la automática al diseño mecánico tradicional ha permitido solventar numerosos problemas técnicos, conseguir diseños más compactos y aumentar los rendimientos de operación. Pero también ha posibilitado el control de variables de proceso, como velocidades, temperaturas, presiones, etc., a través de sencillos indicadores,

que tienen singular relevancia desde el punto de vista de la seguridad en el manejo de los equipos. En esta línea, es posible integrar sistemas de autodiagnóstico que detectan fallos básicos de funcionamiento y que pueden avisar al operador mediante indicadores de alarma e incluso provocar la parada e inmovilización de la máquina.

Los indicadores, auditivos o visuales, pueden tener diferentes funciones, a saber:

- indicar estado
- identificar función
- dar instrucciones
- transmitir advertencias
- mostrar información cuantitativa o cualitativa

Los mandos o controles son los sistemas que manipula el operador para conseguir determinadas respuestas en la máquina. En el diseño ergonómico de estos dispositivos es preciso tener en cuenta diferentes variables, como son:

- capacidad del operador (fuerza, percepción, antropometría, etc.)
- *feedback* (confirmación)
- resistencia
- textura
- eliminación de activación accidental

#### Manual de instrucciones

La definición en el manual de instrucciones de la máquina de los procedimientos de transporte, puesta en servicio, manejo y mantenimiento ayudará también a mitigar en cierta medida las consecuencias negativas de determinados riesgos específicos no eliminados por completo en el diseño (peligros residuales). La elaboración de un manual sencillo, inteligible y completo es responsabilidad del fabricante y directamente de quien proyecta la máquina. El listado de precauciones y la indicación de medidas encaminadas al mantenimiento de las condiciones óptimas de funcionamiento deben ser exhaustivos y precisos. En este sentido es muy importante la formación y el entrenamiento del operador antes de asumir el manejo rutinario de la máquina. En ocasiones, la falta de formación o la presentación inadecuada de ésta lleva a la adquisición de vicios y a la aparición de riesgos foráneos, derivados de un mal uso. Sobre la propia máquina se materializará cierta información relevante en forma de marcas, pictogramas, además de las correspondientes señales visuales y acústicas.

#### Aplicación: diseño ergonómico de un vehículo

A modo de ejemplo, analizamos finalmente algunos de los criterios a tener

Tabla 1. Responsabilidades en materia de prevención de riesgos.

	Prevención	Protección	Información
Medidas de seguridad adoptadas por el diseñador	Prevención intrínseca	Protección en el diseño	Diseño de sistemas de información para la utilización
Medidas de seguridad adoptadas por el empresario		Suministro de equipos de protección individual	Formación Supervisión
Medidas de seguridad adoptadas por el operador		Utilización de equipos de protección individual	Procedimientos de trabajo seguros Sistemas de permiso de trabajo

en cuenta en el proceso de diseño "ergonómico" de un vehículo, como máquina (o, más propiamente, sistema de máquinas) con la que todos estamos familiarizados; dejando claro, no obstante, que cada tipo de vehículo presenta una problemática específica (turismos, industriales, minería, agrícolas, etc.):

- asientos regulables (distancia a pedales de mando, posición de la espalda, amortiguadores en determinados vehículos)
- volante regulable en altura
- dirección asistida
- posición de indicadores (espacio visual) y dispositivos de mando (luces, limpia, etc.)
- diseño de puertas de acceso
- posición y regulación de espejos retrovisores
- climatización, insonorización, etc.

Todos estos factores no sólo tienen incidencia directa en la salud y la comodidad (confort) de los ocupantes del vehículo sino también en la seguridad vial.

Actualmente, los procesos de diseño suelen estar bastante automatizados y la simulación (realidad virtual) consti-

tuye una poderosa herramienta al servicio del ingeniero de diseño para estudiar la interacción máquina-operador (vehículo-conductor) y reajustar los parámetros de diseño hasta conseguir optimizar todas las variables.

### Conclusiones

No es posible un diseño al margen de las consideraciones ergonómicas. La integración de los aspectos ergonómicos, y en general de la seguridad, en los protocolos de diseño es un objetivo básico en el que todos debemos trabajar.

Apostamos, pues, por la necesidad de concienciación del colectivo de ingenieros de diseño en la línea de realizar los diseños optimizando las variables técnica, económica y estética, pero muy especialmente también la *variable preventiva* (medioambiental y seguridad). Sólo así podremos hablar propiamente de "diseños de calidad".

### Bibliografía

- Shigley, J.E., *Diseño en ingeniería mecánica*, Mc Graw Hill, México, 2002.
- Castany, J., *Principios de diseño en el proyecto de máquinas*, Prensas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza (España), 1999.

Sánchez, A., Monografías del Master en Prevención de Riesgos Laborales, Instituto AMYCA de Formación, Murcia (España), 2003.

Cascajosa, M., *Ingeniería de vehículos*, Tebar, Madrid (España), 2000.

Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los equipos de trabajo.

Real Decreto 1435/1992, de 27 de noviembre, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva 89/382/CEE.

Directivas 98/37/CE y 98/79/CE.

## AUTORES

**Francisco Mata Cabrera**  
Francisco.MCabrera@uclm.es

Ingeniero Técnico Industrial, Ingeniero técnico de Minas e ingeniero mecánico. Master en Evaluación de Impacto Ambiental y Prevención de Riesgos Laborales. Profesor Asociado de la Universidad de Castilla-La Mancha en el Área de Ingeniería Mecánica, Subdirector de Ordenación Académica e Investigación de la Escuela Universitaria Politécnica de Almadén. Asesor técnico y redactor de la Editorial Edebé. Autor de varios artículos y libros.

6 - 11 MARZO, 2006 BIENAL MÁQUINA HERRAMIENTA PABELLÓN 6 - STAND I / 28

¡Garantía de  
**5 años!**



# BOGGE

## COMPRESORES DE AIRE



Tornillo



Tornillo  
Compacto



Pistón

- Amplia gama:
- De tornillo
- De pistón
- Centrífugos
- Lubricados con aceite o exentos de aceite.
- Accesorios.
- Componentes de máxima calidad.
- Eficaz servicio post-venta.
- Experiencia de más de 95 años.

¡Consúltenos!

Líderes en Alemania.  
Apreciados en todo el mundo.

### FILIAL EN ESPAÑA:

Avda. de los Pirineos, 9 - Nave 8  
28700 San Sebastián de los Reyes (Madrid)  
Teléf.: 91 659 18 15 - Fax: 91 659 18 14  
iberica@boge.com - www.boge.com  
Deleg. Cataluña: Prat Llobregat (Barcelona)  
Deleg. Norte: Castro Urdiales (Cantabria)

# BOGGE

## KOMPRESSOREN