

SALVADOR DOMINGO COMECHE

Ingeniero Industrial
Jefe Grupo Estudios. Departamento de Seguridad
del Instituto Territorial de Barcelona.

Implicaciones de la seguridad en el diseño de máquinas.

INTRODUCCION

El objetivo final y básico de toda máquina de transformación, desde el simple destornillador a una sofisticada máquina transfer programada, es el de facilitar, sustituir, incrementar y posibilitar *la capacidad de elaborar productos por el hombre.*

Dependientemente de su complejidad y grado de automatización, la máquina precisa de uno o varios operarios que la manejan y gobiernan. Este conjunto hombre-máquina, tiene como fin básico el producir.

Ahora bien, la consecución del fin "*producción*" está preñado de condiciones socio-económicas que influyen en la parte auxiliar del conjunto productivo que hemos denominado máquina. Y como consecuencia lógica en la concepción y diseño de la misma.

Los condicionantes socio-económicos son variables en el tiempo, de forma, que cada etapa histórica define, o es definida, por unos *determinados condicionantes* lo que se ha traducido en que cada etapa histórica ha tenido una "forma" de diseñar la máquina con unos grados de integración hombre-máquina coherentes con sus condicionantes históricos. La observación de una máquina producida en la primera

revolución industrial y de otra producida en la actualidad, pone de manifiesto el abismal camino recorrido por la forma de diseñar, independiente del desarrollo tecnológico.

En el cuadro adjunto se aprecian algunos aspectos de los condicionantes, forma de diseño, que previamente se han dado a lo largo de la historia reciente:

<u>OBJETIVO</u>	<u>CONDICIONANTES económico-sociales</u>	<u>FORMA DISEÑO</u>
Producción	Productividad	Diseño FUNCIONAL
	Reducción penosidad trabajo	Diseño ERGONOMICO
	Respecto a la integridad física del hombre	Diseño bajo criterios de SEGURIDAD DEL TRABAJO
	Calidad de vida	Diseño FORMAL (estético).

Inicialmente el objetivo único de la máquina era producir y las máquinas respondían efectivamente a un diseño FUNCIONAL con la limitación de la tecnología del momento. LA ERGONOMIA y LA SEGURIDAD DEL TRABAJADOR eran aspectos digamos "desconocidos". Resultará ilustrativo pensar que a mediados del siglo XIX, en el Llano de Barcelona, el 4 % de la mortalidad de la población era producida por los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, precediendo en el negro ranking de mortalidad a enfermedades como el cáncer, partos, hepáticas, viruela, senilidad, etc.

Esta situación ha variado sustancialmente respecto a nuestros días. La Ergonomía bajo la triple vertiente de aumentar la productividad, proporcionar mayor Seguridad al operario y reducir la penosidad del trabajo, ha realizado considerables avances en el diseño de máquinas, si bien el camino por recorrer es todavía muy largo. La participación de la Seguridad del operario en el diseño de la máquina también ha avanzado muchos enteros en nuestro país, si bien estamos muy rezagados respecto a los países de Europa Occidental.

Bajo este contexto histórico, el presente trabajo pretende colaborar a difundir la importancia presente, y sobre todo futura, que requiere la Seguridad del hombre que maneja la máquina.

Esta difusión ha de ser pragmática para ser operativa. Por ello, aparte de los condicionantes filosóficos y económicos se incluyen una serie de principios, e ideas generales a tener en cuenta por todo diseñador proyectista de máquinas o herramientas.

No se trata de dar un manual de soluciones, objeto difícil, sino consignar unas reflexiones sobre diversos aspectos de problemas de Seguridad detectados en máquinas a través de su accidentabilidad. Estos principios aplicados por el proyectista-diseñador en la fase de proyecto de la máquina darán como fruto unas condiciones de trabajo seguras.

EL DISEÑO DE MAQUINAS BAJO EL PRISMA DE LA SEGURIDAD DEL TRABAJO

Salvando el aspecto fundamental del diseño FUNCIONAL y ERGONOMICO, la actual etapa histórica exige prestar gran atención al diseño bajo el prisma de la SEGURIDAD DEL TRABAJO, que aunque inmerso en el amplio concepto de ergonomía requiere y permite un tratamiento independiente.

Aparte de la consideración ética que nos exige preservar la integridad física de toda persona, máxime en el desarrollo de su trabajo, existen motivos económicos (directos e indirectos) que afectan a las personas físicas o jurídicas implicadas en el proceso de diseño de máquinas, como son:

- a) Responsabilidades legales derivadas de accidentes de trabajo ocurridos en máquinas deficientemente protegidas. Este factor cobra importancia progresiva, siendo previsible que en un futuro próximo y al amparo del perfeccionamiento de la legislación sobre protección de máquinas, la cadena de responsabilidades legales se extienda al circuito "Fabricante-Comercializador-Utilizador de la máquina" como ocurre ya en el continente europeo.
- b) La comercialización exterior de determinadas máquinas encuentra trabas adicionales para el fabricante español, ya que al existir en los países

europes una rígida normativa referente a las condiciones mínimas de Seguridad de las máquinas, obliga al fabricante a introducir modificaciones costosas o a prescindir de mercados. Incluso por desconocimiento de esta normativa, máquinas situadas en la frontera han sido rechazadas por los Servicios de Inspección del país destinatario, por no satisfacer dicha maquinaria las normas de Seguridad exigibles.

- c) Una máquina proyectada en origen con protecciones que la hagan segura, no sólo no disminuye la productividad sino que permite incrementarla sin riesgo para el operario.

Debe tenerse muy presente que una máquina *segura* se logra en la fase de diseño de la misma. Las reformas, modificaciones o añadidos que se pueden introducir para remediar a posteriori riesgos inherentes a su concepción, son a la postre soluciones deficientes, costosas, incómodas, difíciles de llevar a cabo y antiestéticas.

Estas consideraciones permiten apreciar la gran importancia presente y sobre todo futura que el aspecto de la SEGURIDAD DEL TRABAJO imprime a la concepción y diseño de la máquina, ya que sólo en esta fase pueden lograrse máquinas seguras, es decir, con mínimo riesgo de accidente para el operario que las maneja o circunda.

DONDE SE PRODUCEN LOS ACCIDENTES EN MAQUINAS

Las lesiones de los accidentes de trabajo se producen cuando sobre una parte del cuerpo humano se concentra una cierta energía durante breve tiempo. Según la cantidad de energía intercambiada y la parte del cuerpo en que se concentra, derivará una mayor o menor gravedad del accidente.

En máquinas generalmente la energía puesta en juego es cinética y se manifiesta por una velocidad de ciertas masas. Es evidente entonces que toda pieza móvil que pueda entrar en contacto con el cuerpo humano es causa de accidente: Los ejes, engranajes, poleas, herramientas, móviles, cabezales, piezas en movimiento etc. accesibles pueden ser origen de accidente. Si estos elementos presentan protuberancias, esquinas, bordes cortantes etc. que pueden concentrar la transmisión de energía por estos puntos, incrementan el riesgo de producir accidentes. Este riesgo se manifiesta de variadas formas, según sea la máquina.

- De atrapamiento (engranajes, correas, volantes, cadenas, cuchilla en cizallas, matriz en prensas, etc.)
- Cortante o lacerante (protuberancias de ejes, herramientas, sierra de cinta, de disco, etc.)
- Punzante (destornillador, taladro, etc.)
- Abrasiva o de erosión (muelas, rectificadoras, etc.)
- Proyectiva (proyección de chispas y virutas, rotura de muelas, sierras, correas, etc.).

Otros riesgos presentes en las máquinas, aunque de importancia inferior al anterior son:

- Choques y golpes con partes estáticas de la máquina. No dependen sólo de la máquina sino del entorno. Sin embargo las aristas vivas, protuberancias, ángulos, etc. de la máquina agravan el riesgo.
- Contacto eléctrico indirecto por defectos a masa de la instalación eléctrica interna de la má-

quina. Es un riesgo general pero de grado muy variable según las condiciones de trabajo. Es particularmente grave en maquinaria portátil y siempre que se trabaja en condiciones húmedas.

Estos riesgos se traducen en accidentes cuando se produce un desajuste hombre-máquina. Es evidente que en muchos casos este desajuste se debe al hombre; pero la causa primaria de los accidentes en máquinas son, en lo que respecta a la máquina:

- Accesibilidad de órganos o masas en movimiento (protección nula o deficiente).
- Sistema de gobierno inadecuado (puesta en marcha y paro).

Hay otras causas, no imputables a la máquina, sino a su entorno como:

- Dificultad de movimiento del operario por espacio exíguo.
- Acumulación de materiales.
- Suciedad (que puede ser producido por la máquina al salpicar virutas, refrigerantes, lubricantes).

El conocimiento insuficiente de la máquina por el operario y los ritmos de trabajo excesivos son también factores importantes en la producción de accidentes:

No es factible por la extensión que requiere el entrar en detalles estadísticos sobre la accidentabilidad. Sin embargo unas cifras de referencia permiten centrar el problema:

- En la provincia de Barcelona se producen más de 200.000 accidentes de trabajo con baja al año.
- Los accidentes en máquinas de transformación se aproximan al 20 % del total (El porcentaje para accidentes graves alcanza el 25%). No se incluyen las herramientas manuales.
- Las máquinas-herramientas para metal con arranque de viruta suponen casi el 9% del total de accidentes.
- Las herramientas manuales producen un 7% del total de accidentes.

Cada tipo de máquina tiene unos riesgos definidos, variando sustancialmente de unas máquinas o grupos de máquinas a otras. Por ejemplo los accidentes en cizallas tienden a ser atrapamientos con amputación de dedos o manos, en tanto que en muchas son preferentemente accidentes en ojos por proyección de viruta a alta temperatura.

Un grupo de máquinas con accidentabilidad relativamente homogénea es el de máquinas-herramientas para metal con arranque de viruta (incluyendo muelas). Como ejemplo, la accidentabilidad de este grupo se distribuye de la siguiente forma (en las actuales condiciones de protección en que se encuentran estas máquinas):

a) Según forma de accidente	% accidentes
Proyección de partículas o piezas	43
Golpes o choques	25
Atrapamientos	17
Abrasión	5
Otras formas	10
	<hr/> 100

(1) La Ordenanza General de Higiene y Seguridad del Trabajo (O.M. de Marzo 1971), contempla la normativa legal existente.

b) Por localización en el agente material (máquina)

	% accidentes
Virutas o partículas	43
Útiles	24
Piezas a mecanizar	21
Elementos máquina (platos, mordazas, etc.)	6
Otra localización	6
	<hr/> 100

c) Por ubicación de la lesión

	% accidentes
Manos	42
Ojos	40
Brazos	8
Tronco	3
Pies	3
Piernas	2
Cabeza (excepto ojos)	2
	<hr/> 100

Es evidente la importancia de los accidentes por proyección de partículas con producción de lesiones en ojos, y su importancia requiere tenerla presente en el proyecto de estas máquinas.

PRINCIPIOS DE PROTECCION DE MAQUINAS

Resulta difícil y arriesgado establecer unas reglas de protección válidas y aplicables a la generalidad de máquinas en su multitud de variantes posibles (1). Sin embargo, hay algunas consideraciones a tener presentes en el proceso de diseño de una máquina.

A fin de facilitar la ordenación, vamos a considerar zonas o componentes dentro de una máquina:

- **Organos de Transmisión:** Conjunto de mecanismos cuya misión es la de producir, transformar y transmitir la energía precisa para realizar la labor productiva: ejes, poleas, engranajes, etc.
- **Zonas de operación:** Lugar en que la máquina ejecuta su trabajo útil sobre una pieza, mediante la energía que el sistema de transmisión comunica al elemento activo de la máquina: herramienta, molde, cuchillas, etc. o a la pieza.
- **Organos de Mando:** Conjunto de mandos, reguladores, frenos, etc., que permiten gobernar la máquina a voluntad.
- **Sistemas de Transmisión de fluidos:** Conducciones de corriente eléctrica, neumática, etc.
- **Señalización:** Colores y simbolismos utilizados para facilitar la indentificación de funciones, movimientos, etc., de los distintos componentes y zonas de la máquina.

ORGANOS DE TRANSMISION

En los sistemas de transmisión, generalmente no es necesario operar con frecuencia, por lo que la protección idónea y siempre factible es la instalación de resguardos fijos que encierren a las piezas móviles, total y permanentemente (ejes, poleas, engranajes, etc.)

Por necesidades de mantenimiento pueden ser practicables, si bien en estos casos, conviene prever el

sistema que obligue a su cierre o colocación antes de que la máquina pueda ponerse en marcha.

La resistencia del resguardo (material y dimensiones), debe asegurar una protección eficaz durante toda la vida de la máquina por lo que se les debe prestar la misma atención que a otro componente funcional de la máquina.

Si se adoptan resguardos provistos de aberturas (mallas, enrejado, etc.) las dimensiones de éstas deben asegurar que introduciendo el dedo o la mano no se alcance la pieza en movimiento. Ello se puede conseguir combinando la dimensión menor de la abertura con la distancia del resguardo a la pieza (línea de peligro). En la figura adjunta se consigna un gráfico que proporciona directamente esta relación. (Ver figs. 1 y 2).



PUNTO DE OPERACION

La protección del punto de operación de una máquina no es generalizable, requiriendo cada tipo de

máquina una solución distinta, por ser diferentes la forma de trabajar la máquina y los riesgos a proteger. Se pueden aplicar resguardos fijos, resguardos móviles o dispositivos de Seguridad (célula fotoeléctrica, doble mando dispositivos de enclavamiento, etc.)

Por ejemplo, la protección del pisador y de la cuchilla de una cizalla, podría admitir cualquiera de estos tres sistemas.

En cualquier caso, debe asegurarse que la protección sea efectiva y que no genere otros riesgos.

En la cizalla citada como ejemplo:

- Si se proyecta un resguardo fijo, debe tener unas aberturas máximas, que no permita la lesión de la mano, (ver fig. 2 de dimensiones de las aberturas).
- Si se proyecta un resguardo móvil, se debe enclavar de forma que necesariamente tenga que estar en posición correcta antes de que la cuchilla inicie el descenso.
- Sólo podrá utilizarse la célula fotoeléctrica como protección si la cuchilla puede detenerse instantáneamente, cualquiera que sea la fase del ciclo en que se encuentre, cuando se interrumpe el haz luminoso. De otra forma sería inefectiva.

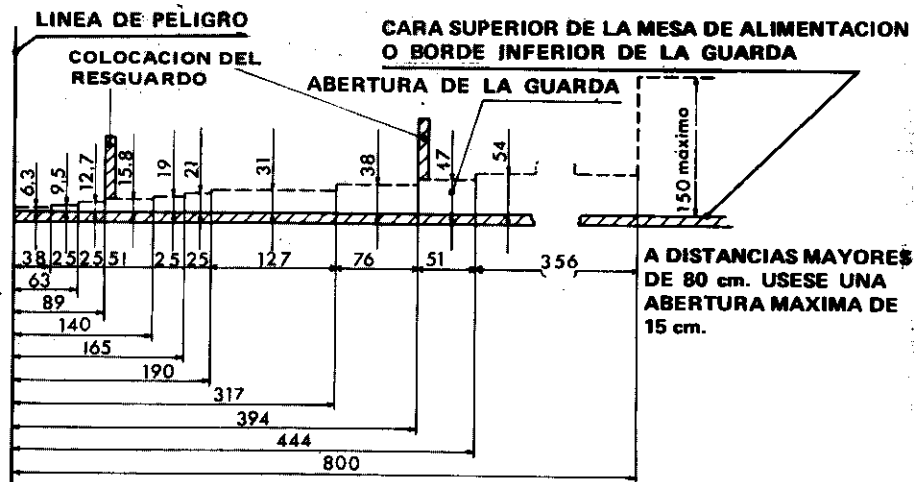
En las máquinas-herramientas para metal con arranque de viruta, debería generalizarse la instalación de pantallas transparentes articuladas o corredizas, que protegieran de la proyección de virutas y refrigerantes. Debe preverse la necesidad de cambio de la pantalla por el envejecimiento causado por la abrasión.

ORGANOS DE MANDO

La importancia del diseño de los mandos de las máquinas en general y en particular de las herramientas portátiles es de primer orden. Gran cantidad de accidentes se producen, o agravan, por un incorrecto diseño de los mismos según criterios de Seguridad, independientemente de que dicho diseño sea aceptable bajo un prisma funcional, ergonómico o estético.

Es evidente, que la importante misión de gobernar una máquina, se hace a través de sus órganos de mando:

Figura 2
ABERTURA DEL RESGUARDO.
DISTANCIA A LA LINEA DE PELIGRO



- De puesta en marcha
- De maniobra
- De paro

que se pueden resolver a base de:

- Pulsadores
- Interruptores
- Palancas, etc.

con una infinita gama de soluciones con formas, tamaños, modo de accionamiento, emplazamiento sobre la máquina, etc., a decidir por el proyectista-diseñador.

Suponiendo resueltas las cuestiones relativas a funcionalidad, un correcto diseño de los mandos exige tener en cuenta los siguientes aspectos fundamentales, con el fin de prevenir accidentes:

a) Mandos de puesta en marcha o maniobra

- Un mando de puesta en marcha o maniobra sólo poder accionarse por un acto consciente del operario que gobierna la máquina. Es decir, debe desecharse toda solución de mando que permita su accionamiento intempestivo o involuntario.

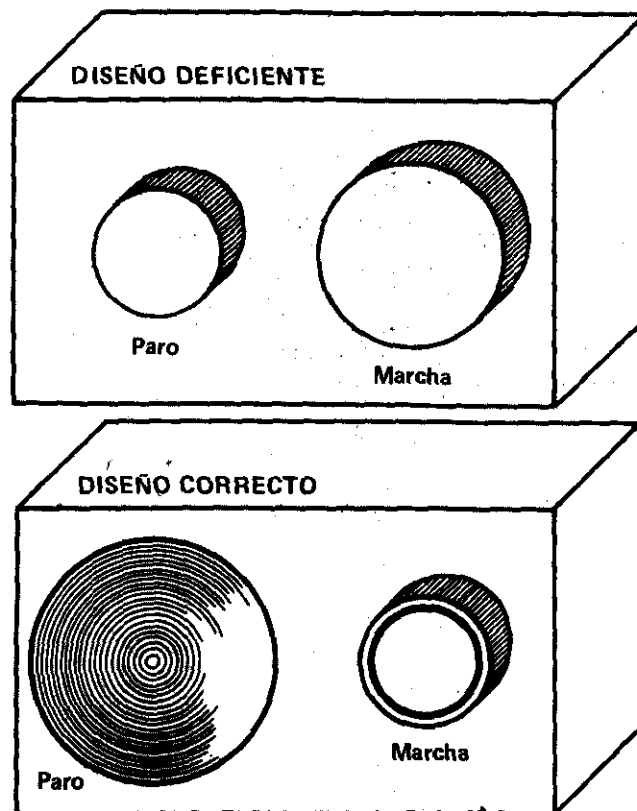
Por ejemplo; un pulsador que sobresalga de un panel de mando horizontal, puede ser accionado con el antebrazo al apoyarse en el panel, por un cuerpo

que cae, por un peso abandonado provisionalmente sobre el mismo, etc.

Este ejemplo y muchos otros similares, permiten establecer una serie de principios a tener en cuenta en el diseño de mandos de puesta en marcha o maniobra:

- Los pulsadores deben estar empotrados en la bancada o panel de mandos o bien disponer de un cilindro rígido protector.
- Los pulsadores de tracción son preferibles a los pulsadores de compresión.
- El tamaño de los pulsadores debe ser lo más pequeño posible para exigir el uso de los dedos.
- Un diámetro máximo de 25 mm. es el máximo aconsejable. Tamaños superiores permiten accionarlos con otros miembros distintos a la punta del dedo. (ver fig. 3).
- La ubicación de los mandos debe ser ergonómicamente cómoda. Se debe evitar la ubicación en puntos que obliguen a posiciones del operario con riesgos de otros elementos móviles de la máquina.
- Son preferibles los paneles de mandos verticales o inclinados a los horizontales. Estos últimos facilitan los accionamientos involuntarios, incluso con diseño correcto, por objetos punzantes diversos, codos, etc.
- No son convenientes los mandos a pedal, siendo preferibles los mandos manuales. En cualquier caso, el tamaño del pedal debe ser lo mínimo

Figura 3
PULSADORES PARA MANDOS ELECTRICOS



posible, compatible con el ancho del pie y estar protegido en su parte superior contra accionamientos involuntarios o imprevistos.

- Los mandos por pedal corrido a lo largo de la máquina, no son convenientes bajo ningún concepto por contravenir los principios de seguridad antedichos.
- En maquinaria portátil los mandos deben ser sensitivos, es decir que al abandonarlos desconecten la máquina. Esto se desprende de la alta peligrosidad de estas máquinas portátiles, empuñadas por el operario y normalmente con difícil protección, lo que potencia sus riesgos de accidente y justifican la medida anterior.
- En máquinas de gran riesgo con prensas mecánicas, cizallas etc. puede ser necesario por seguridad al agrupar mandos (por ejemplo doble mando) de manera que la forma de accionar los mandos *aleje* al operario de la zona de riesgo.

b) Mandos de paro de emergencia

Además del mando normal de paro para la detención de la máquina al finalizar un trabajo, las máquinas de gran inercia que continúan girando después de estar desconectadas precisan de un paro rápido o de emergencia para asegurar la detención inmediata, cuando se ha producido un accidente o cuando se aprecia que se producen situaciones de las que se pueden derivar consecuencias negativas. Por ejemplo los tornos deberían disponer siempre de un freno (que se puede diseñar como paro de emergencia), que permita al tornero detener el plato con seguridad y no obligarle a esperar a que se pare por sí solo o a utilizar la mano como freno.

Los mandos de paro de emergencia, al contrario que los de puesta en marcha, deben poder accionarse con gran facilidad ya que cuando se precisa de su uso, una décima de segundo puede tener un valor incalculable. Por ello es necesario tener en cuenta al diseñar los mandos de paro de emergencia: (Figura 3).

- Que sean de gran tamaño, sobresaliendo de la máquina y fácilmente identificables.
- Ubicados en puntos fácilmente accesibles.
- En máquinas grandes con panel de mandos centralizados o máquinas con puestos de trabajo móviles, deben disponerse varios mandos de paro puntuales (pulsadores) o mejor un mando de paro corrido a lo largo de la máquina, que asegure la posibilidad de accionamiento rápido.

TRANSMISION DE FLUIDOS

Las conducciones de fluidos (corriente eléctrica, aire comprimido, aceite, etc.) muchas veces se proyectan al final ubicándose "donde y como se pueden", no prestándoseles corrientemente excesiva atención.

La proximidad de las conducciones al suelo, las aristas pronunciadas, el movimiento relativo conducción-soporte, las afectan muy negativamente si su resistencia o aislamiento no se han dimensionado generosamente.

En el caso de los circuitos eléctricos se traduce en defectos a masa con riesgo de electrocución. Son frecuentes las máquinas que "pican" al tocarlas, en especial en ambientes húmedos. Este defecto en máquinas portátiles es muy grave y se traduce en frecuentes accidentes mortales.

Por ello toda máquina debe ser convenientemente protegida, siempre en función de su previsible uso:

- Maquinaria portátil con doble aislamiento efectivo. En ocasiones se presenta como doble aislamiento lo que es sólo un buen aislamiento simple.
- Circuitos de mando a 24 ó 50 volt.
- Protección de las conducciones contra las proyecciones de fluidos o agresiones mecánicas, etc.

SEÑALIZACION

Un aspecto complementario que coadyuga a la Seguridad de uso de una máquina es la señalización, ya sea la inherente a la máquina propiamente dicha como a la señalización del entorno (pasillos, zona de trabajo, zonas de acumulación, materiales, etc.)

En lo que respecta a la máquina, deben sobresalir con claridad aquellos puntos que se consideren de interés: mandos, instrucciones, puntos móviles, conducciones de fluidos, etc.

Soslayando el caso de las máquinas en que el colorido es factor importante en su comercialización (maquinaria portátil de uso doméstico) las máquinas en general deben tener un color base que permita *sobresalir* a los colores de Seguridad.

Los colores base más recomendables para el conjunto de la máquina son, el gris-azulado o el verde.

Como colores de Seguridad deben utilizarse el rojo, el verde y el amarillo-naranja.

Un aspecto importante es el de señalización de mandos. Desgraciadamente, la normalización en este campo no resuelve el problema de forma definitiva por ser escasa y contradictoria. A este respecto, sólo podemos aconsejar el uso de los siguientes colores (para pulsadores):

Pulsadores de puesta en marcha de la máquina: verde.

Pulsadores de paro o paro de emergencia: rojo.
Pulsadores de maniobras (excluye los anteriores): color optativo excepto rojo o verde.

CONSIDERACIONES FINALES

Los accidentes en máquinas, si bien nunca podrán ser erradicados totalmente, sí pueden ser reducidos a cotas, que podríamos considerar de Seguridad aceptable. Si bien con lentitud, la labor de Organismos Oficiales, especialmente del Servicio Social de Higiene y Seguridad del Trabajo, así como los imperativos de mercado, van haciendo cambiar la Seguridad de las máquinas de nuestras fábricas.

De cualquier forma conviene resaltar que son los fabricantes de maquinaria los más directos responsables de la Seguridad de las máquinas. Una máquina segura se consigue en la fase de proyecto. Las modificaciones posteriores, con el fin de dotarla de elementos de Seguridad, es una mala solución al problema. En este sentido se nota la falta de una normativa específica, que exija, previamente a su venta y uso, la homologación de determinadas máquinas catalogadas como de alta peligrosidad, tal como se hace en la mayoría de los países europeos. Ello exigiría la publicación de una reglamentación específica para cada una de estas máquinas por parte de los Organismos Competentes.