

# 58

Directores del capítulo  
*Kenneth Gerecke y  
 Charles T. Pope*

### Sumario

Análisis de sistemas <i>Manh Trung Ho</i> . . . . .	58.2	Requisitos técnicos para sistemas relacionados con la seguridad basados en dispositivos eléctricos, electrónicos y programables <i>John Brazendale y Ron Bell</i> . . . . .	58.67
Seguridad de las herramientas portátiles y de mano <i>Departamento de Trabajo de EE.UU. - Occupational Safety and Health Administration; dirigido por Kenneth Gerecke</i> . . . . .	58.5	Vuelco <i>Bengt Springfeldt</i> . . . . .	58.71
Partes móviles de máquinas <i>Tomas Backström y Marianne Döös</i> . . . . .	58.8	Caídas desde alturas <i>Jean Arteau</i> . . . . .	58.74
Defensas de máquinas <i>Departamento de Trabajo de la Occupational Safety and Health Administration; dirigido por Kenneth Gerecke</i> . . . . .	58.12	Espacios confinados <i>Neil McManus</i> . . . . .	58.77
Detectores de presencia <i>Paul Schreiber</i> . . . . .	58.24	Principios de la prevención: manipulación de materiales y tráfico interno <i>Kari Häkkinen</i> . . . . .	58.82
Dispositivos para controlar, aislar y conmutar energía <i>René Troxler</i> . . . . .	58.29		
Aplicaciones relacionadas con la seguridad <i>Dietmar Reinert y Karlheinz Meffert</i> . . . . .	58.32		
Software y ordenadores: sistemas híbridos automatizados <i>Waldemar Karwowski y Jozef Zurada</i> . . . . .	58.37		
Principios del diseño de sistemas de control seguros <i>Georg Vondracek</i> . . . . .	58.43		
Principios de seguridad para máquinas herramienta CNC <i>Toni Retsch, Guido Schmitter y Albert Marty</i> . . . . .	58.51		
Principios de seguridad para robots industriales <i>Toni Retsch, Guido Schmitter y Albert Marty</i> . . . . .	58.59		
Sistemas de control de seguridad eléctricos, electrónicos y programables <i>Ron Bell</i> . . . . .	58.62		

## ● ANALISIS DE SISTEMAS

Manh Trung Ho

Un *sistema* se define como un conjunto de componentes interdependientes combinados de tal manera que ejecuten una función dada en determinadas condiciones. En este sentido, una máquina es un ejemplo tangible y especialmente claro de sistema; pero hay otros, en los que intervienen hombres y mujeres que trabajan en equipo o en un taller o en una fábrica, mucho más complejos y no tan fáciles de definir. El término *seguridad* indica ausencia de peligro o riesgo de accidente o daño. Para evitar ambigüedades, se utilizará el término general de *incidente no deseado*. La seguridad absoluta, en cuanto a imposibilidad de que se produzca un incidente más o menos desafortunado, es inasequible. Lo que ha de perseguirse para ajustarse a la realidad es reducir al mínimo (no eliminar totalmente) la probabilidad de que se produzcan incidentes no deseados.

Un sistema sólo se considera seguro o inseguro en función de los resultados que se esperan realmente del mismo. Teniendo esto en cuenta, el nivel de seguridad de un sistema se define así: "Para cualquier conjunto dado de incidentes no deseados, el nivel de seguridad (o inseguridad) de un sistema está determinado por la probabilidad de que estos incidentes se produzcan durante un período de tiempo dado". Para ilustrar lo anterior, cabe citar como ejemplos de interés los incidentes no deseados siguientes: fallecimientos múltiples, muerte de una o varias personas, lesiones graves, lesiones leves, daños ambientales, efectos perjudiciales a seres vivos, destrucción de plantas o edificios y daños materiales graves o limitados.

### Objeto del análisis de los sistemas de seguridad

El objeto del análisis de un sistema de seguridad es determinar los factores que influyen en la probabilidad de que ocurran incidentes no deseados, estudiar cómo se producen y, por último, elaborar medidas preventivas para reducir su probabilidad.

La fase analítica del problema se divide en dos aspectos principales:

1. identificación y descripción de los *tipos* de disfunción o ajuste defectuoso,
2. identificación de las *secuencias* de disfunciones que, combinadas entre sí o con incidentes más "normales", conducen finalmente al propio incidente no deseado, y evaluación de su probabilidad.

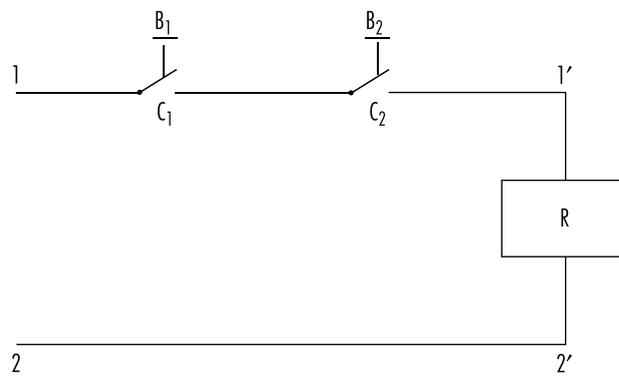
Una vez estudiadas las diversas disfunciones y sus consecuencias, los analistas de seguridad de sistemas se ocupan de las medidas preventivas. La investigación en este campo se basa directamente en los hallazgos previos y sigue los dos aspectos principales del análisis de la seguridad de sistemas.

### Métodos de análisis

El análisis de la seguridad del sistema se hace antes o después del acontecimiento (a priori o a posteriori); en ambos casos, el método utilizado puede ser directo o inverso. El análisis a priori se hace antes del incidente no deseado. El analista selecciona varios incidentes e intenta descubrir las diversas fases que pueden conducir a ellos. Por el contrario, un análisis a posteriori se hace después de haberse producido el incidente no deseado. Su objeto es prestar orientación para el futuro y, en concreto, sacar conclusiones útiles para posteriores análisis a priori.

Aunque aparentemente un análisis a priori es mucho más valioso que uno a posteriori, ya que aquél precede al incidente, ambos son complementarios. Se empleará un método u otro en función de la complejidad del sistema y de lo que ya se conozca

Figura 58.1 • Circuito de control de dos botones.



sobre la cuestión. Cuando se trata de sistemas tangibles, como las máquinas o las instalaciones industriales, la experiencia previa sirve normalmente para preparar un análisis bastante detallado a priori. Aun así, el análisis no es necesariamente infalible, por lo que le beneficiará un análisis a posteriori basado esencialmente en un estudio de los incidentes que se producen durante la operación. En cuanto a los sistemas más complejos en los que intervienen personas, como los turnos de trabajo, los talleres o las fábricas, un análisis a posteriori es aún más importante. En tales casos, la experiencia previa no basta para llevar a cabo un análisis a priori detallado y fiable.

Es posible transformar un análisis a posteriori en otro a priori si el analista va más allá del proceso concreto que ha originado el incidente en cuestión y examina los diversos casos que razonablemente pueden conducir a dicho incidente o a otros similares.

Otra forma de transformar un análisis a posteriori en uno a priori es dar prioridad no ya al suceso que se pretende prevenir con el análisis, sino a incidentes menores, como los problemas técnicos, los daños en materiales y los accidentes potenciales o menos graves, cuya importancia por sí mismos es relativamente escasa, pero que pueden constituir señales de aviso de incidentes más graves. En tales casos, aunque realizado después de incidentes menores, el análisis será a priori con respecto a incidentes más graves que no han ocurrido aún.

Hay dos métodos posibles para estudiar el mecanismo o la lógica que subyace tras la secuencia de dos o más sucesos:

1. El método *directo*, o *inductivo*, que comienza por las causas a fin de predecir sus efectos.
2. El método *inverso*, o *deductivo*, que examina los efectos y retrocede hacia las causas.

La Figura 58.1 es un esquema de un circuito de control que requiere la pulsación simultánea de dos botones ( $B_1$  y  $B_2$ ) para excitar la bobina del relé ( $R$ ) y poner en marcha la máquina. Es un ejemplo que ilustra, en términos prácticos, los métodos *directo* e *inverso* utilizados en el análisis de seguridad de sistemas.

### Método directo

En el *método directo*, el analista comienza por *a)* hacer una lista de fallos, disfunciones y desajustes; *b)* estudiar sus efectos, y *c)* determinar si esos efectos son una amenaza para la seguridad. En el caso de la Figura 58.1, cabe la posibilidad de que ocurran los fallos siguientes:

- rotura del cable entre 2 y 2';
- contacto no intencionado en  $C_1$  (o  $C_2$ ) como consecuencia de un bloqueo mecánico;
- cierre accidental de  $B_1$  (o  $B_2$ ),
- cortocircuito entre 1 y 1'.

Tabla 58.1 • Posibles disfunciones de un circuito de control de dos botones y sus consecuencias

Fallos	Consecuencias
Rotura del cable entre 2 y 2'	Imposible arrancar la máquina*
Cierre accidental de B <sub>1</sub> (o B <sub>2</sub> )	Sin consecuencias inmediatas
Contacto en C <sub>1</sub> (o C <sub>2</sub> ) como resultado de un bloqueo mecánico	Sin consecuencias inmediatas pero posibilidad de que arranque la máquina pulsando simplemente el botón B <sub>2</sub> (o B <sub>1</sub> )**
Cortocircuito entre 1 y 1'	Excitación de la bobina del relé R—arranque accidental de la máquina***

\* Incidente con una influencia indirecta en la fiabilidad del sistema

\*\* Incidente responsable de una reducción importante del nivel de seguridad del sistema

\*\*\* Incidente peligroso que es necesario evitar

Véase texto y Figura 58.1

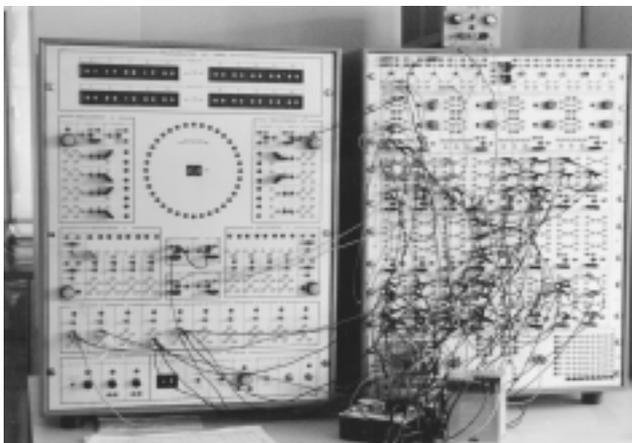
El analista deduce entonces las consecuencias de estos fallos y las expresa en forma tabular (Tabla 58.1).

En la Tabla 58.1 las consecuencias peligrosas o susceptibles de reducir seriamente el nivel de seguridad del sistema, se designan con signos convencionales, como \*\*\*.

*Nota:* En la Tabla 58.1, una rotura del cable entre 2 y 2' (como se muestra en la Figura 58.1) es un incidente que no se considera peligroso, ya que este incidente no tiene efectos directos sobre la seguridad del sistema; ahora bien, la probabilidad de que ocurra incide directamente sobre la fiabilidad del sistema.

El método directo es especialmente adecuado para la simulación. En la Figura 58.2 se muestra un simulador analógico diseñado para estudiar la seguridad de circuitos de control de prensas. La simulación del circuito de control permite verificar que mientras no se produzca ningún fallo, el circuito es realmente capaz de asegurar la función asignada sin infringir los criterios en materia de seguridad. Además, el simulador permite al analista introducir fallos en los diversos componentes del circuito, observar sus consecuencias y distinguir así los circuitos que han sido diseñados correctamente (con fallos pequeños o no peligrosos) de los que no. Los análisis de seguridad de este tipo también se hacen con un ordenador.

Figura 58.2 • Simulador para el estudio de circuitos de control de prensas.



### Método inverso

En el *método inverso*, el analista hace una labor retrospectiva, remontándose desde el incidente no deseado o accidente hasta los diversos acontecimientos previos para determinar cuál permite que no se produzca el incidente. En la Figura 58.1, el último incidente que debía haberse evitado es la puesta en marcha no intencionada de la máquina.

- La puesta en marcha de la máquina puede haberla causado la activación incontrolada de la bobina del relé (R).
- La activación de la bobina, a su vez, puede ser el resultado de un cortocircuito entre 1 y 1' o del cierre simultáneo y no intencionado de los interruptores C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>.
- El cierre no intencionado de C<sub>1</sub> puede ser consecuencia de un bloqueo mecánico de C<sub>1</sub> o de la pulsación accidental de B<sub>1</sub>. A C<sub>2</sub> puede aplicársele un razonamiento similar.

Los resultados de este análisis se representan en un diagrama en forma de árbol (de ahí que el método inverso se denomine también "análisis del árbol de fallos"), como el que se muestra en la Figura 58.3.

El diagrama sigue las operaciones lógicas, de las cuales las más importantes son las operaciones "O" e "Y". La operación "O" significa que [X<sub>1</sub>] ocurrirá si ocurre [A] o [B] (o ambas). La operación "Y" significa que antes de que pueda ocurrir [X<sub>2</sub>], tienen que haber ocurrido [C] y [D] (véase la Figura 58.4).

El método inverso se utiliza muy a menudo en el análisis a priori de sistemas tangibles, sobre todo en las industrias química, aeronáutica, espacial y nuclear. También ha resultado ser de gran utilidad como método para investigar accidentes industriales.

Aunque son muy distintos, los métodos directo e inverso son complementarios. El método directo está basado en un conjunto de fallos o disfunciones, y el valor de un análisis de este tipo depende por tanto de la relevancia de las distintas disfunciones que se hayan considerado al comienzo. Desde este punto de vista, el método inverso parece ser más sistemático. Suponiendo que el analista sabe qué tipos de accidentes o incidentes ocurren, en teoría puede aplicar este método y buscar de manera retrospectiva todas las disfunciones o combinaciones de disfunciones susceptibles de provocarlos. Ahora bien, puesto que no necesariamente se conocen de antemano todos los comportamientos peligrosos de un sistema, pueden descubrirse por el método directo aplicándolo, por ejemplo, por simulación. Una vez descubiertos los peligros, se analizan con más detalle mediante el método inverso.

### Problemas del análisis de seguridad de sistemas

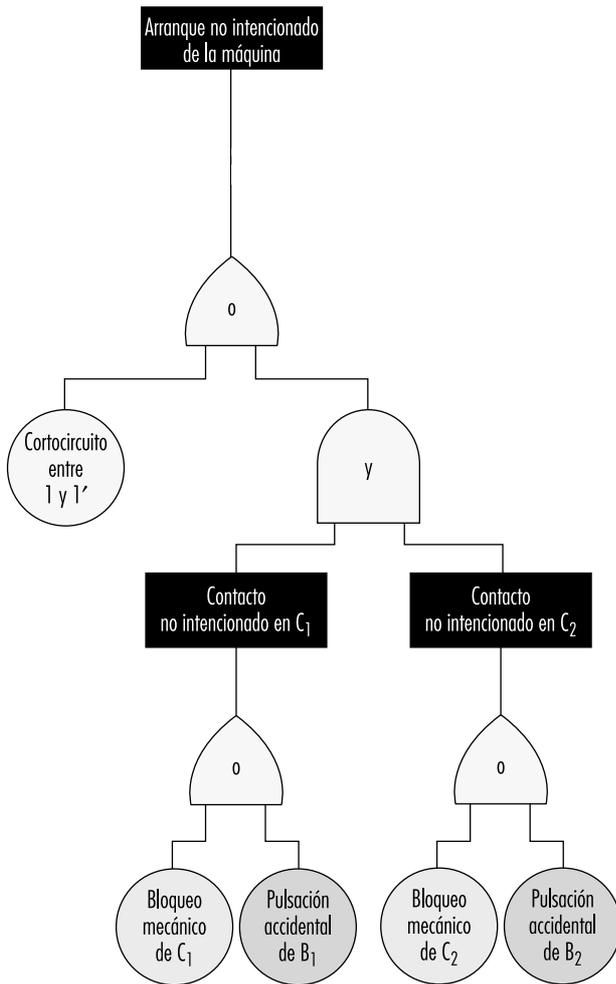
Los métodos analíticos descritos anteriormente no son simples procesos mecánicos que se aplican automáticamente y a partir de los cuales se sacan conclusiones útiles que hacen mejorar la seguridad del sistema. Lejos de ello, los analistas encuentran diversos problemas durante su trabajo, y la utilidad de sus análisis depende en gran medida de la forma de solucionarlos. Algunos de esos problemas se explican a continuación.

#### Conocimiento del sistema objeto del estudio y de sus condiciones operativas

Los problemas fundamentales en cualquier análisis de seguridad de sistemas son la definición del sistema, de sus limitaciones y de las condiciones en las que se supone que ha de funcionar durante su existencia.

Si el analista considera un subsistema demasiado limitado, el resultado consiste en la adopción de una serie de medidas preventivas aleatorias (una situación en la que todo está pensado para impedir que se produzcan ciertos tipos de incidentes, mientras que se pasan por alto o se subestiman otros peligros

Figura 58.3 • Posible cadena de sucesos.

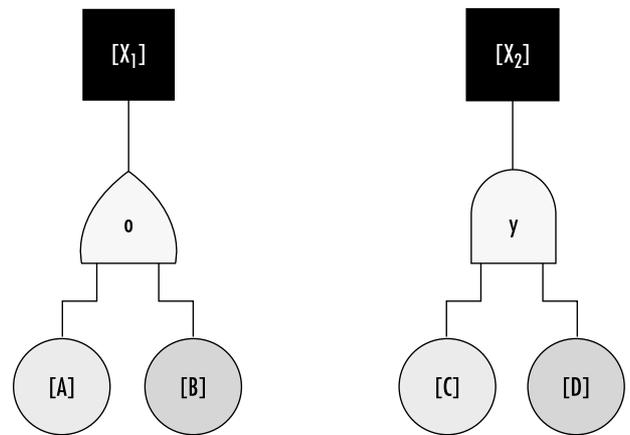


igualmente graves). Si, por el contrario, el sistema es demasiado amplio o general respecto a un problema dado, el resultado pecará de excesiva vaguedad en los conceptos y las responsabilidades, y es posible que el análisis no conduzca a la adopción de medidas preventivas adecuadas.

Un ejemplo típico que ilustra el problema de definir un sistema sometido a estudio es la seguridad de las máquinas o los equipos industriales. En este tipo de situación, es posible que el analista se sienta tentado por considerar únicamente el equipo sin tener en cuenta que hay una o más personas que lo manejan. Aunque es una simplificación que resulta válida en ocasiones, lo que ha de analizarse es no sólo el subsistema de la máquina, sino la totalidad del sistema hombre/máquina en las diversas etapas de la vida del equipo (entre ellas, por ejemplo, el transporte y la manipulación, el montaje, las pruebas y los ajustes, el funcionamiento normal, el mantenimiento, el desmontaje y, en algunos casos, la destrucción). En cada etapa, la máquina forma parte de un sistema específico cuyo objeto, funciones y disfunciones son totalmente distintos de los que tiene en otras etapas. Por tanto, se debe diseñar y fabricar de tal manera que permita la realización de las funciones asignadas en buenas condiciones de seguridad en cada una de las etapas.

De forma más general, cuando los estudios de seguridad se hacen en empresas, hay varios niveles de sistemas: la máquina,

Figura 58.4 • Representación de dos operaciones lógicas.



el puesto de trabajo, el turno, el departamento, la fábrica y la empresa en conjunto. Los posibles tipos de disfunciones y las medidas preventivas pertinentes varían significativamente en función del nivel del sistema considerado. Una buena política preventiva debe dejar margen para las disfunciones que puedan producirse a distintos niveles.

Es posible definir las condiciones de funcionamiento del sistema en términos de cómo se supone que funciona el sistema y las condiciones ambientales a las que está sujeto. La definición ha de ser lo suficientemente realista como para contemplar las condiciones reales en las que el sistema va a funcionar. Un sistema que sólo es muy seguro en unas condiciones de funcionamiento muy restringidas, puede no serlo si el usuario es incapaz de mantenerlo dentro de las condiciones teóricas de funcionamiento. Por tanto, un sistema ha de ser suficientemente sólido para soportar variaciones razonables en sus condiciones de funcionamiento y capaz de tolerar determinados errores sencillos pero previsibles por parte de los operadores.

**Creación de modelos de sistemas**

Para analizar la seguridad de un sistema a menudo suele ser necesario elaborar un modelo. Y ello plantea ciertos problemas que vale la pena examinar.

En el caso de un sistema conciso y relativamente sencillo, como una máquina convencional, el modelo se obtiene casi directamente de las descripciones de los componentes materiales y sus funciones (motores, transmisión, etc.) y de la interrelación de dichos componentes. El número de modos posibles en que puedan fallar los componentes es igualmente limitado.

Las máquinas modernas, como los ordenadores y los robots, que tienen componentes complejos (microprocesadores y circuitos electrónicos con integración a gran escala), plantean un problema especial que no ha sido totalmente resuelto ni por lo que se refiere a la creación de un modelo ni a la predicción de los posibles modos de fallo, debido al gran número de transistores elementales de cada chip y al uso de distintos tipos de software.

Cuando es una organización humana lo que se está sometiendo a análisis, la creación de modelos presenta un interesante problema: la elección y definición de ciertos componentes que no son materiales, en su totalidad o parcialmente. Por ejemplo, un puesto de trabajo concreto puede representarse por un sistema que comprende operarios, software, tareas, máquinas, materiales y entorno. (El componente "tarea" es difícil de definir porque lo que importa no es la tarea especificada, sino la tarea realmente realizada).

Al crear modelos de organizaciones humanas, el analista puede optar por descomponer el sistema en un subsistema de información y uno o más subsistemas de acción. El análisis de los fallos en las distintas fases del subsistema de información (adquisición, transmisión, procesamiento y uso de la información) resulta muy instructivo.

### **Problemas asociados con múltiples niveles de análisis**

Los niveles de análisis múltiples suelen llevar asociados problemas, debido a que al partir de un incidente no deseado, el analista se remonta hasta incidentes cada vez más remotos en el tiempo. La naturaleza de las disfunciones que se producen, al igual que las medidas preventivas, dependen del nivel de análisis considerado. Es importante poder decidir el nivel al cual se interrumpirá el análisis y el nivel al cual deberán tomarse medidas preventivas. Un ejemplo es el caso sencillo de un accidente originado por un fallo mecánico debido a la utilización repetida de una máquina en malas condiciones de funcionamiento. Tal vez el origen se halle en la falta de formación del operador o en una mala organización del trabajo. En función del nivel de análisis, la acción preventiva consistirá en la sustitución de la máquina por otra que soporte condiciones de utilización más severas, en el uso de la máquina sólo en condiciones normales, en cambios en la formación del personal o en una reorganización del trabajo.

La eficacia y el alcance de una medida preventiva depende del nivel al que se aplique. Es posible que los efectos de una acción preventiva en los alrededores inmediatos del incidente sean rápidos y directos, pero sus consecuencias serán limitadas; por otra parte, trabajando de manera retrospectiva y remontándose hasta un punto razonable en el análisis de los acontecimientos, se encuentran disfunciones comunes a numerosos accidentes. Cualquier acción preventiva adoptada a este nivel tendrá un alcance más amplio, pero su efectividad es menos directa.

Al igual que hay varios niveles de análisis, hay también muchas formas de acción preventiva, cada una de las cuales desempeña su propia función en el trabajo de prevención. Se trata de un aspecto muy importante y basta con volver al accidente que estamos considerando para apreciar este hecho. Al proponer la sustitución de la máquina por otra capaz de soportar condiciones más severas se hace recaer sobre la máquina la responsabilidad de la prevención. Decidir que la máquina sólo debe usarse en condiciones normales significa asignar la responsabilidad al usuario. Del mismo modo ésta puede recaer sobre la formación del personal, la organización del trabajo o, de forma conjunta, sobre la máquina, el usuario, la función de formación y la función de organización. Para cualquier nivel de análisis dado, parece ser que un accidente suele ser resultado de la combinación de varias disfunciones o desajustes. El tipo de acción preventiva estará en función de que la acción se aplique a una u otra disfunción, o a varias simultáneamente.

## ● SEGURIDAD DE LAS HERRAMIENTAS PORTATILES Y DE MANO

*Departamento de Trabajo de EE.UU. -  
Occupational Safety and Health  
Administration; editado por Kenneth Gerecke*

Las herramientas son tan corrientes en nuestra vida que en ocasiones se hace difícil recordar que entrañan peligros. Todas las herramientas se fabrican pensando en la seguridad, pero a veces se produce un accidente antes de que se adviertan los peligros derivados de ellas. Los trabajadores tienen que aprender a reconocer los peligros asociados a los distintos tipos de herramientas y

las precauciones de seguridad necesarias para evitarlos. Deben utilizarse equipos de protección individual apropiados, como gafas o guantes de seguridad, contra los peligros potenciales que entraña el uso de herramientas motorizadas portátiles y de herramientas de mano.

### **Herramientas de mano**

Las herramientas de mano no funcionan con motor y entre ellas se cuentan desde las llaves hasta las hachas. Los mayores peligros que entrañan las herramientas de mano se basan en el uso incorrecto, la utilización de una herramienta inadecuada para el trabajo y el mantenimiento indebido. He aquí algunos de ellos, aunque la lista no es exhaustiva:

- El uso de un destornillador como cincel puede hacer que la punta se rompa y salga proyectada, hiriendo al usuario o a otros empleados.
- Si el mango de madera de una herramienta como un martillo o un hacha está flojo, astillado o agrietado, la cabeza de la herramienta puede salir despedida y golpear al usuario o a otro trabajador.
- Una llave no debe usarse si las mandíbulas están abiertas, ya que puede resbalar.
- Las herramientas de impacto, como los cinceles, las cuñas o los botadores, son inseguras si tienen las cabezas aplastadas, porque cabe la posibilidad de que se partan con el impacto y proyecten fragmentos con bordes afilados.

La empresa es responsable de que el estado de las herramientas y de los equipos facilitados a los operarios sea seguro, pero sobre éstos recae la responsabilidad de utilizar y mantener las herramientas correctamente. Los operarios deben colocar las hojas de sierra, cuchillas y otras herramientas de manera que no se dirijan a las zonas de paso ni a otros empleados que trabajen cerca. Las cuchillas y tijeras deben mantenerse bien afiladas, ya que las que están embotadas son más peligrosas (véase la Figura 58.5).

La seguridad requiere que se mantengan los suelos lo más limpios y secos posible para evitar que se produzcan resbalones accidentales cuando se trabaja o se anda con herramientas peligrosas. Aunque las chispas producidas por las herramientas de mano de hierro o acero no alcanzan normalmente temperaturas suficientes para provocar la ignición, cuando se manipulan o se trabaja con materiales inflamables, pueden utilizarse herramientas antichispa de latón, plástico, aluminio o madera para que no se formen chispas.

### **Herramientas motorizadas**

Las herramientas motorizadas son peligrosas si se usan incorrectamente. Hay varios tipos, que se clasifican normalmente según su fuente de energía (eléctricas, neumáticas, de combustible líquido, hidráulicas de vapor y de pólvora explosiva). Los operarios deben estar cualificados o recibir formación sobre todas las herramientas motorizadas que utilicen en su trabajo, comprender los peligros potenciales que entrañan su uso y, para evitar que se produzcan, observar las precauciones generales de seguridad siguientes:

- No llevar nunca una herramienta colgando del cable o tubo flexible.

Figura 58.5 • Destornillador.



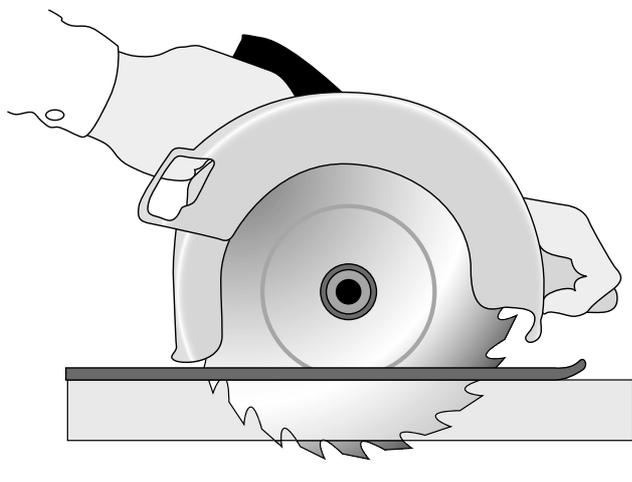
- No tirar nunca del cable o del tubo flexible para desconectar la herramienta de la toma.
- Mantener cables y tubos flexibles alejados de fuentes de calor, aceite y bordes afilados.
- Desconectar las herramientas cuando no estén en uso, antes del servicio y al cambiar accesorios como cuchillas, brocas y cortadores.
- Todos los observadores debe estar a una distancia segura de la zona de trabajo.
- Asegurar el trabajo con mordazas o un tornillo de banco a fin de tener ambas manos libres para manejar la herramienta.
- Evitar la puesta en marcha accidental. El operario no debe mantener el dedo en el botón de arranque mientras transporta una herramienta conectada. Las herramientas con bloqueo de la posición de marcha deben desbloquearse para que no se pongan en marcha automáticamente al restablecer la alimentación.
- El mantenimiento ha de ser cuidadoso y las herramientas deben estar afiladas y limpias para que rindan al máximo. Deben seguirse las instrucciones del manual del usuario sobre lubricación y cambio de accesorios.
- Los operarios deben apoyar firmemente los pies y estar bien equilibrados cuando usen herramientas motorizadas. La ropa de trabajo debe ser adecuada, ya que las ropas sueltas, las corbatas y las joyas pueden quedar atrapadas por las partes móviles.
- Todas las herramientas eléctricas portátiles averiadas deberán ser retiradas y marcadas con una indicación de "No utilizar", para evitar descargas eléctricas.

### Defensas

Las partes móviles peligrosas de las herramientas motorizadas tienen que estar protegidas. Por ejemplo, las correas, los engranajes, los ejes, las poleas, los piñones, los vástagos, los tambores, los volantes, las cadenas y otras partes móviles, con movimiento rotativo o alternativo, tienen que estar protegidas si hay posibilidad de que el usuario entre en contacto con ellas. Cuando sea necesario, deberá haber defensas para proteger al operador y a otras personas contra peligros asociados con:

- el punto de operación;
- los puntos de atrapamiento para la introducción de material;
- las partes con movimiento rotativo o alternativo,
- la proyección de virutas y chispas, así como niebla o pulverización de líquidos para el trabajo con metales.

Figura 58.6 • Sierra circular con defensa.



Las defensas no deben retirarse nunca mientras se utiliza una herramienta. Por ejemplo, las sierras de disco portátiles tienen que estar equipadas con defensas. Una defensa superior debe cubrir toda la hoja de la sierra y una defensa retraíble inferior debe cubrir los dientes de la sierra excepto cuando están en contacto con el material que se está trabajando. La defensa inferior debe volver automáticamente a la posición de cobertura al retirar la herramienta del trabajo. Obsérvense las defensas de la cuchilla de una sierra eléctrica en la Figura 58.6.

### Interruptores de seguridad y controles

A continuación se citan algunos ejemplos de herramientas motorizadas de mano que tienen que estar equipadas con un interruptor de control de "marcha/parada" de contacto momentáneo:

- taladros, terrajadoras y aprietatuercas;
- esmeriladoras horizontales, verticales y angulares con muelas de más de 5,1 cm de diámetro;
- lijadoras de disco y cinta,
- Sierras alternativas y de sable

Estas herramientas pueden estar dotadas también de un bloqueo en posición de funcionamiento, siempre que el desbloqueo se pueda conseguir con un solo movimiento del mismo dedo (o dedos) usado para aplicarlo.

Las siguientes herramientas motorizadas de mano están equipadas únicamente con un interruptor de control positivo "marcha/parada":

- Lijadoras de rodillo;
- lijadoras de disco con discos de 5,1 cm o menos de diámetro;
- esmeriladoras con muelas de 5,1 cm o menos de diámetro;
- alisadoras y cepillos;
- recortadoras de laminado, sacabocados y cizallas,
- sierras de hélice y sierras alternativas con mangos de las hojas de 0,64 cm de anchura o menos.

Otras herramientas motorizadas de mano que tienen que estar equipadas con un interruptor de presión permanente que corta la alimentación cuando se libera la presión, incluyen:

- sierras circulares con un diámetro de disco superior a 5,1 cm;
- sierras de cadena,
- herramientas de percusión sin medios de sujeción adicional positiva.

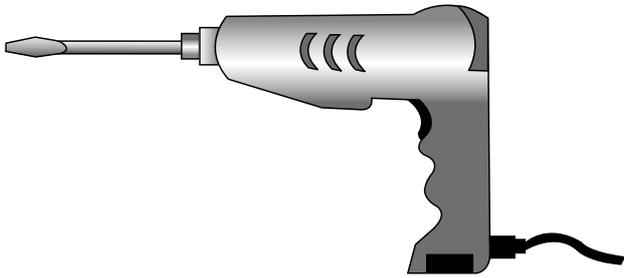
### Herramientas eléctricas

Los usuarios de herramientas eléctricas deben ser conscientes de varios peligros, de los cuales el más importante es la posibilidad de electrocución seguida de quemaduras y descargas leves. En determinadas condiciones, incluso una pequeña corriente puede provocar fibrilación del corazón con resultados mortales. Una descarga también puede provocar la caída de un operario desde una escalera o superficie de trabajo elevada.

Para reducir el riesgo de lesiones a causa de descargas, las herramientas tienen que estar protegidas como mínimo de una de las maneras siguientes:

- *Conectadas a tierra* por un cable de 3 conductores (con un conductor de tierra). Estos cables tienen dos conductores para el paso de corriente y otro para conexión a tierra. Un extremo del conductor de tierra se conecta a la carcasa metálica de la herramienta y el otro se conecta a tierra a través de una patilla del conector. Siempre que se utilice un adaptador para conectar a una toma de dos patillas, el conductor del adaptador deberá conectarse a una tierra conocida. La tercera patilla no debe quitarse nunca del conector (véase la Figura 58.7).
- *Con doble aislamiento*. El usuario y la herramienta están protegidos de dos maneras: a) por el aislamiento normal de los conductores

Figura 58.7 • Taladro eléctrico.



interiores, y *b*) por una carcasa que no puede conducir electricidad al operario en el caso de un fallo de funcionamiento.

- *Alimentadas por un transformador de aislamiento de baja tensión.*
- *Conectadas a través de interruptores del circuito de defecto o fuga a tierra.* Se trata de dispositivos permanentes y portátiles que desconectan instantáneamente un circuito cuando hay fuga a tierra detectada a través del cuerpo del operador o de objetos conectados a tierra.

En el uso de herramientas eléctricas deben seguirse las prácticas generales de seguridad siguientes:

- Las herramientas eléctricas deben ser utilizadas dentro de sus limitaciones de diseño.
- Se recomienda llevar guantes y calzado de seguridad mientras se usan herramientas eléctricas.
- Cuando no estén en uso, deberán guardarse en un sitio seco.
- No deben usarse las herramientas si los cables o conectores están deshilachados, doblados o dañados.
- Las herramientas eléctricas no deben utilizarse en lugares húmedos o encharcados.
- Las zonas de trabajo deben estar bien iluminadas.

### Muelas abrasivas motorizadas

Las muelas abrasivas para esmerilar, cortar y pulir y los cepillos de alambre para pulir crean problemas especiales de seguridad debido a que se pueden desintegrar y proyectar fragmentos

Antes de montar una muela abrasiva debe inspeccionarse cuidadosamente y hacer una prueba de sonido (o timbre) golpeándola ligeramente con un instrumento no metálico ligero para asegurar que no tiene grietas ni defectos. Si la muela está agrietada o el sonido es apagado, puede desintegrarse durante el funcionamiento y por tanto no se debe utilizar. Una muela en buenas condiciones producirá un tono metálico claro o "timbre".

Para evitar que la muela se agriete, el usuario debe asegurarse de que entra libremente en el eje. La tuerca del eje debe apretarse lo suficiente como para sujetar la muela sin deformar la brida. Deben seguirse las instrucciones del fabricante y asegurarse de que la muela montada en el eje no superará las especificaciones correspondientes. Debido a la posibilidad de que se desintegre (explosionando) la muela durante la puesta en marcha, el operario no debe ponerse nunca frente a la muela mientras ésta es acelerada hasta alcanzar la velocidad máxima. Las esmeriladoras portátiles tienen que estar equipadas con defensas para proteger al usuario no sólo de la superficie móvil de la muela, sino también de los fragmentos proyectados en caso de rotura. Además, cuando se utilice una esmeriladora motorizada deberán tomarse las siguientes precauciones:

- Utilizar siempre protección ocular;
- Cortar la alimentación cuando la herramienta no esté en uso,
- No sujetar nunca una esmeriladora de mano en un tornillo de banco.

### Herramientas neumáticas

Las herramientas neumáticas se alimentan con aire comprimido y entre ellas se cuentan las cinceladoras, los taladros, los martillos y las lijadoras. Aunque son varios los peligros potenciales que entrañan, el principal es ser alcanzado por alguno de los accesorios de la herramienta o por algún tipo de elemento de fijación que el usuario esté utilizando con la herramienta. Cuando se trabaja con herramientas neumáticas, la protección ocular es necesaria, y la facial, recomendable. El ruido es otro peligro. El trabajo con herramientas ruidosas, como martillos perforadores, requiere el uso correcto de protecciones auditivas adecuadas.

Cuando utiliza una herramienta neumática, el trabajador debe asegurarse de que está firmemente conectada a la manguera para evitar su desconexión. Un alambre corto o un dispositivo de bloqueo positivo que fije la manguera de aire a la herramienta sirve de protección adicional. Si la manguera de aire tiene un diámetro superior a 1,27 cm, se debe instalar una válvula de seguridad de exceso de caudal en la fuente de aire comprimido para cortar la alimentación automáticamente en caso de rotura de la manguera. En general, con las mangueras de aire deben tomarse las mismas precauciones que con los cables eléctricos, ya que aquéllas están sujetas a daños o golpes accidentales del mismo tipo y también son un obstáculo con el que se puede tropezar.

Las pistolas de aire comprimido no deben apuntar jamás a una persona. Los trabajadores no deben aplicar nunca la boquilla sobre sí mismos ni sobre otras personas. Se debe instalar un clip o retén de seguridad para impedir que accesorios como un cincel de una cinceladora salga despedido involuntariamente del cuerpo de la herramienta. Han de instalarse pantallas para proteger a los trabajadores cercanos contra los fragmentos proyectados por cinceladoras, pistolas remachadoras, martillos neumáticos, grapadoras o taladros neumáticos.

Las pistolas de pulverización sin aire que atomizan pinturas y líquidos a altas presiones (68,9 o más bares) irán equipadas con dispositivos de seguridad ocular manuales o automáticos que impidan la activación hasta que se libere manualmente el dispositivo de seguridad. Los martillos perforadores pesados pueden provocar fatiga y requerir esfuerzos que pueden reducirse mediante el uso de mangos de goma gruesos que permitan sujetarlos con firmeza. Un trabajador que maneje un martillo perforador ha de llevar gafas y calzado de seguridad como protección contra lesiones en el caso de que el martillo resbale o se caiga. También debe utilizar protección facial.

### Herramientas accionadas por combustible

Las herramientas accionadas por combustible utilizan normalmente pequeños motores de combustión interna de gasolina. Los mayores peligros que entraña el uso de estas herramientas son los vapores de combustible, que pueden arder o explotar y emitir gases de escape nocivos. El trabajador tiene que ser cuidadoso y manipular, transportar y almacenar gasolina o combustible sólo en recipientes homologados para líquidos inflamables, de acuerdo con procedimientos apropiados para líquidos inflamables. Antes de rellenar el depósito de una herramienta de este tipo, el trabajador debe parar el motor y esperar a que se enfríe para evitar la inflamación accidental de vapores peligrosos. Si se utiliza una herramienta accionada por combustible en un recinto confinado, es necesaria una ventilación eficaz o un equipo de protección para evitar la exposición a monóxido de carbono. También debe haber extintores en la zona.

### Herramientas accionadas por pólvora explosiva

Son herramientas que funcionan como una pistola cargada y deben tratarse con el mismo respeto y precauciones. De hecho, son tan peligrosas que tienen que ser manejadas por empleados

cualificados o con una formación especial. Cuando se utiliza una herramienta accionada por pólvora, es esencial una protección adecuada para oídos, ojos y cara. Todas las herramientas accionadas por pólvora deben diseñarse para distintas cargas de pólvora, de forma que el usuario pueda seleccionar la carga necesaria para hacer el trabajo sin excesivo esfuerzo.

El extremo de la boca de la herramienta debe tener un escudo protector o defensa perpendicular al cañón para proteger al usuario contra fragmentos o partículas proyectados que pueden suponer un peligro cuando se dispara la herramienta. El diseño debe imposibilitar el disparo mientras esté colocado el dispositivo de seguridad. Para evitar que la herramienta se dispare accidentalmente se requieren dos movimientos distintos para el disparo: uno para poner la herramienta en posición y otro para accionar el gatillo. Las herramientas no deben poder funcionar sin que estén apoyadas contra la superficie de trabajo con una fuerza mínima superior a 2,5 kilos con respecto al peso total de la herramienta.

Si falla el disparo de una herramienta accionada por pólvora, el usuario debe esperar al menos 30 segundos antes de repetir el disparo. Si sigue sin producirse el disparo, deberá esperar al menos otros 30 segundos para que disminuya la probabilidad de explosión del cartucho defectuoso, y retirará después la carga con cuidado. El cartucho defectuoso se introduce en agua o se desecha de una manera segura de acuerdo con los procedimientos establecidos por la empresa.

Si se avería durante el uso una herramienta accionada por pólvora, deberá ser etiquetada y puesta fuera de servicio inmediatamente hasta que sea debidamente reparada. Las precauciones para el uso y manipulación con seguridad de herramientas accionadas por pólvora, incluyen lo siguiente:

- Las herramientas accionadas por pólvora no deben utilizarse en atmósferas inflamables o explosivas excepto con un permiso para trabajos en caliente concedido por una persona autorizada.
- Antes de usar la herramienta, el trabajador debe inspeccionarla para determinar que está limpia, que todas las piezas móviles funcionan libremente y que el cañón no está obstruido.
- La herramienta no debe colocarse jamás de manera que apunte hacia alguien.
- La herramienta no se debe cargar si no va a utilizarse inmediatamente. Una herramienta cargada no debe estar sin vigilancia, sobre todo si está al alcance de personas no autorizadas.
- Las manos han de mantenerse alejadas de la boca del cañón.

Al utilizar herramientas accionadas por pólvora para aplicar elementos de fijación, se deben adoptar las siguientes precauciones:

- No disparar elementos de fijación sobre materiales que puedan ser atravesados por aquéllos.
- No disparar elementos de fijación sobre materiales como ladrillos u hormigón a menos de 7,6 cm de un borde o esquina, y si se trata de acero, esa distancia no será inferior a 1,27 cm.
- No disparar elementos de fijación sobre material muy duro o frágil que se pueda romper, fragmentar o hacer rebotar el elemento de fijación.
- Utilizar una guía de alineación para disparar elementos de fijación en agujeros existentes. No disparar elementos de fijación sobre una zona astillada creada por una fijación incorrecta.

### Herramientas hidráulicas

El líquido utilizado en las herramientas hidráulicas tiene que estar homologado para el uso en cuestión y conservar sus propiedades a las temperaturas más extremas a las que vaya a estar expuesto. No deberán superarse las presiones de funcionamiento seguras recomendadas por el fabricante para tubos flexibles y

rígidos, válvulas, filtros y otros accesorios. Cuando puedan producirse fugas a alta presión en una zona donde haya fuentes de inflamación, como llamas desnudas o superficies calientes, se deberá considerar el uso de líquidos resistentes al fuego como medio hidráulico.

### Gatos

Todos los gatos (de palanca y cremallera, de tornillo e hidráulicos) deben tener un dispositivo que impida que se eleven demasiado. La carga máxima del fabricante debe figurar siempre en un lugar destacado del gato y no debe superarse. Si es necesario, se utilizarán tacos de madera debajo de la base para que el gato quede nivelado y seguro. Si la superficie de elevación es metálica, se coloca un taco de madera dura o equivalente de 2,54 cm de grosor entre la cara inferior de la superficie y la cabeza metálica del gato, para reducir el peligro de resbalamiento. Un gato no debe utilizarse nunca para soportar una carga elevada. Una vez elevada la carga, deben colocarse inmediatamente bloques para soportarla.

Para preparar un gato es necesario comprobar que se cumplen las siguientes condiciones:

1. La base se apoya en una superficie nivelada y firme.
2. El gato está perfectamente centrado.
3. La cabeza del gato se apoya contra una superficie nivelada.
4. La fuerza de elevación se aplica uniformemente.

El mantenimiento correcto de los gatos es esencial para la seguridad. Antes de cada uso, todos los gatos deben inspeccionarse y, periódicamente, lubricarse. Si un gato sufre una carga o choque anormales, deberá ser inspeccionado cuidadosamente para comprobar que no ha sufrido daños. Los gatos hidráulicos expuestos a temperaturas por debajo de cero deben llenarse con un líquido anticongelante adecuado.

### Resumen

Los trabajadores que utilicen herramientas motorizadas y de mano, expuestos a peligros por caída, proyección, abrasión y salpicadura de objetos y materiales, y a peligros por polvos, humos, nieblas, vapores o gases nocivos deberán recibir los equipos personales apropiados para protegerlos contra dichos peligros. Los trabajadores pueden prevenir todos los peligros relacionados con el uso de herramientas motorizadas siguiendo cinco reglas básicas de seguridad:

1. Conservar todas las herramientas en buen estado con un mantenimiento periódico.
2. Utilizar la herramienta adecuada para el trabajo.
3. Examinar todas las herramientas antes de utilizarlas para ver si están dañadas.
4. Utilizar las herramientas de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
5. Seleccionar y utilizar equipos de protección adecuados.

Trabajadores y empresarios tienen la responsabilidad de colaborar para aplicar métodos de trabajo de reconocida seguridad. Si se encuentran ante una herramienta insegura o una situación peligrosa, comunicarán el hecho inmediatamente a la persona responsable.

## PARTES MOVILES DE MAQUINAS

*Tomas Backström y Marianne Döös*

En este artículo se examinan situaciones y cadenas de sucesos que conducen a accidentes susceptibles de atribuir al contacto con partes móviles de las máquinas. Los encargados del funcionamiento y mantenimiento de las máquinas corren el riesgo de ser

víctimas de accidentes graves. Las estadísticas americanas indican que en EE.UU. se producen 18.000 amputaciones y más de 800 fallecimientos cada año, atribuibles a estas causa. Según el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), las lesiones adscritas a la categoría de "pillado por, debajo de o entre" ocuparon el primer lugar entre los tipos más importantes de lesiones profesionales en 1979. En ellas habían intervenido por lo general máquinas (Eherton y Myers 1990). "El contacto con partes móviles de máquinas" figura como el principal incidente con lesiones en algo más del 10 % de los accidentes de trabajo desde que se introdujo esta categoría en las estadísticas suecas de lesiones profesionales en 1979.

La mayoría de las máquinas tienen partes móviles susceptibles de producir lesiones. Estos elementos se pueden encontrar en el punto de operación donde se realiza el trabajo en el material (donde tienen lugar las operaciones de corte, conformación, taladrado o deformación, por ejemplo); en los aparatos que transmiten energía a las partes de la máquina que realiza el trabajo (volantes, poleas, bielas, acoplamientos, levas, ejes, cadenas, cigüeñales y engranajes); en otras partes móviles de las máquinas (volantes de equipos móviles, motorreductores, bombas, compresores, etc.), y en otros tipos de maquinaria, sobre todo en elementos auxiliares de equipos de manipulación y transporte de cargas (piezas de trabajo, materiales, residuos o herramientas).

Todas las partes de una máquina que requieren movimiento para realizar su función pueden contribuir a que se produzcan accidentes con lesiones y daños. Por su parte, los movimientos rotativos y lineales alternativos, así como sus fuentes de energía, entrañan peligros.

**Movimiento rotativo.** Incluso los ejes rotativos lisos pueden enganchar una prenda de vestir y, por ejemplo, arrastrar el brazo de una persona hasta una posición peligrosa. El peligro de los ejes rotativos aumenta si tienen salientes, superficies afiladas o irregulares, como prisioneros, tornillos, ranuras, muescas o bordes cortantes. Las partes rotativas de las máquinas originan "puntos de atrapamiento" de tres formas distintas:

1. Puntos entre dos elementos rotativos que giran en sentido opuesto y tienen ejes paralelos, como engranajes o ruedas dentadas, rodillos de transporte o rodillos de escurrir.
2. Puntos de contacto entre partes rotativas y partes con movimiento lineal, como entre una correa de transmisión y su polea, una cadena y una rueda dentada o un piñón y una cremallera.
3. Los movimientos rotativos pueden entrañar riesgo de cortes y lesiones por aplastamiento cuando están próximos a objetos estacionarios, como por ejemplo, entre un transportador de tornillo y su caja, entre los radios de un volante y el cuerpo de la máquina o entre un muela y una plantilla.

**Movimiento lineal.** Los movimientos verticales, horizontales y alternativos producen lesiones de varias maneras: la parte de una máquina puede empujar o golpear a una persona, que queda atrapada entre esa parte y otro objeto, o sufre un corte producido por un borde afilado, o queda atrapada entre una parte móvil y otro objeto (Figura 58.8).

**Fuentes de energía.** A menudo se utilizan fuentes de energía externas para accionar máquinas que requieren cantidades de energía importantes. Se incluyen aquí fuentes de energía eléctrica, de vapor, hidráulica, neumática y mecánica, todas las cuales, controladas o sin controlar, pueden provocar lesiones o daños graves. Un estudio de los accidentes producidos durante un año (1987 a 1988) entre agricultores de nueve pueblos del norte de la India puso de manifiesto que las máquinas de corte de forraje, todas del mismo diseño, son más peligrosas cuando son accionadas por un motor o tractor. La frecuencia relativa de

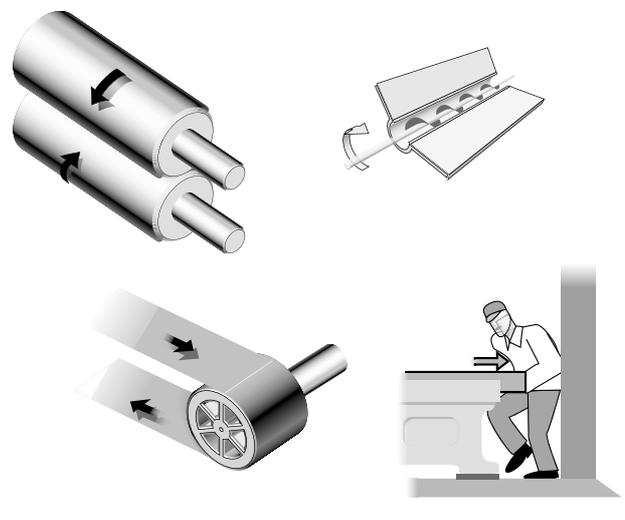
accidentes con más de una lesión leve (por máquina) fue de 5,1 por mil para las cortadoras manuales y de 8,6 por mil para las motorizadas. (Mohan y Patel 1992).

### Lesiones asociadas con movimientos de máquinas

Las fuerzas asociadas con movimientos de máquinas suelen ser elevadas, de lo que se deduce que las lesiones a las que dan lugar son graves. Esta hipótesis la confirman varias fuentes. "El contacto con máquinas o materiales en movimiento representó solo el 5 % de todos los accidentes profesionales, pero supuso el 10 % de los accidentes mortales y graves (fracturas, amputaciones, etc.), según las estadísticas inglesas (HSE 1989). Los estudios realizados en dos plantas de fabricación de vehículos en Suecia apuntan en la misma dirección. Los accidentes debidos a movimientos de máquinas duplicaron los días de baja por enfermedad, en valor promedio, en comparación con los accidentes no relacionados con máquinas. Los relacionados con máquinas difieren también de otros accidentes con relación a la parte del cuerpo lesionada. Los resultados indican que el 80 % de las lesiones sufridas en accidentes por "máquina" afectaron a manos y dedos, mientras que la proporción para "otros" fue del 40 %. (Backström y Döös 1995).

La situación de riesgo en instalaciones automatizadas ha resultado ser distinta (por lo que se refiere al tipo de accidente, a la secuencia de sucesos y a la gravedad de las lesiones) y más complicada (en términos técnicos y en relación con la necesidad de conocimientos especializados) que en instalaciones donde se utiliza maquinaria convencional o clásica. El término *automatizado* se utiliza aquí para referirse a equipos que sin intervención humana directa pueden iniciar el movimiento de una máquina o cambiar su dirección o función. Tales equipos requieren dispositivos sensores (por ejemplo, sensores de posición o microinterruptores) o alguna forma de control secuencial (por ejemplo, un programa de ordenador) para dirigir y supervisar sus actividades. En los últimos decenios se ha utilizado cada vez más el *controlador lógico programable* (CLP) como unidad de control en sistemas de producción. Los pequeños ordenadores son ahora los medios más corrientes utilizados para controlar los equipos de producción en el mundo industrializado, mientras que se emplean cada vez menos otros medios de control, como las unidades electromecánicas. En la industria manufacturera sueca,

Figura 58.8 • Ejemplos de movimientos mecánicos que pueden lesionar a una persona.



el uso de máquinas de control numérico (CN) ha aumentado del 11 al 12 % anual en el decenio de 1980 (Hörte y Lindberg 1989). En la moderna producción industrial, las lesiones producidas por "partes móviles de máquinas" equivalen cada vez más a las producidas por "movimientos de máquinas controladas por ordenador"

La automatización de instalaciones es cada vez más frecuente en la industria y está aumentando sus funciones, que vemos aplicadas a la gestión de almacenes, la manipulación de materiales, los procesos, el montaje y el envasado. La fabricación en serie ha terminado por parecerse a un proceso de producción. Si la alimentación, mecanización y expulsión de las piezas están mecanizadas, el operador ya no tiene que estar en la zona de riesgo durante la producción normal. Estudios de investigación sobre la fabricación automatizada han puesto de manifiesto que los accidentes se producen principalmente en la resolución de problemas que afectan a la producción. Con todo, las personas también interfieren con los movimientos de las máquinas al ejecutar otras tareas, como limpieza, ajuste, reajuste, control y reparación.

Cuando la producción está automatizada y el proceso ya no está bajo el control directo de una persona, el riesgo de que se produzcan movimientos inesperados de las máquinas aumenta. La mayoría de los operadores que trabajan en grupos o líneas de máquinas interrelacionadas han experimentado este tipo de movimientos inesperados, causa de muchos *accidentes de automatización*, o accidente en el que el equipo automático controlaba (o debería haber controlado) la energía determinante de las lesiones. Es decir, que la fuerza que lesiona a la persona procede de la propia máquina (por ejemplo, la energía de una máquina en movimiento). En un estudio de 177 accidentes de automatización realizado en Suecia, se observó que las lesiones fueron causadas por la "puesta en marcha inesperada" de una parte de la máquina en el 84 % de los casos (Backström y Harms-Ringdahl 1984). En la Figura 58.9 se muestra un ejemplo típico de lesión causada por una máquina controlada por ordenador.

Figura 58.9 • Ejemplo típico de lesión causada por el movimiento de una máquina controlada por ordenador.



Un bloque motor es transportado en un transportador con mesas giratorias a dos niveles. El bloque es sujetado por cintas situadas en el nivel superior y las cintas se devuelven, vacías, al nivel inferior. El transportador se detiene de repente. Un mantador ve que uno de los cintas de retorno ha quedado atascado de nuevo en la mesa giratoria. Cuando alcanza la mesa y tira del bloque motor se activa un sensor. La mesa giratoria comienza a girar y le atrapa la mano. (Ilustrador: Tomas Karlsson).

Uno de los estudios mencionados anteriormente (Backström y Döös 1995) demostró que los movimientos de la máquina controlados automáticamente estaban ligados de manera causal a períodos más largos de baja por enfermedad que las lesiones debidas a otros tipos de movimientos de máquinas, siendo el valor promedio o medio cuatro veces superior en uno de los puestos de trabajo. La forma de la lesión de los accidentes de automatización resultó ser similar a la de otros accidentes por máquinas (afecta principalmente a manos y dedos), pero se observó una tendencia a que el primer tipo de lesiones fueran más graves (amputaciones, aplastamientos y fracturas).

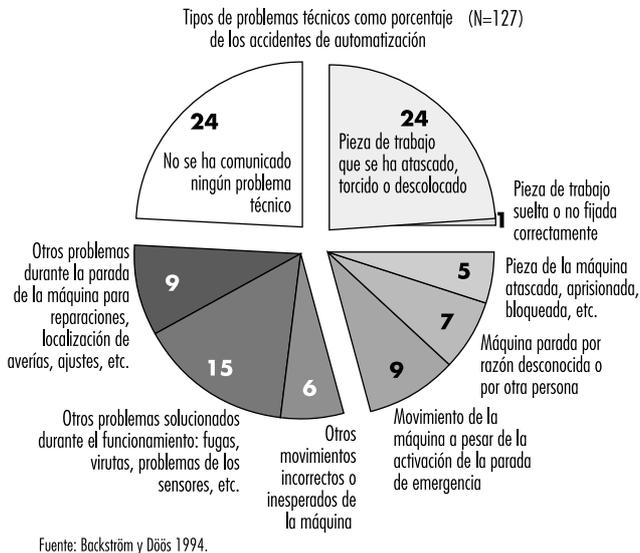
El control por ordenador, igual que el manual, tiene puntos débiles en relación con la fiabilidad. No hay ninguna garantía de que un programa de ordenador funcione sin error. La electrónica, con sus señales de bajo nivel, puede ser sensible a interferencias si no está bien protegida y las consecuencias de los fallos resultantes no siempre son predecibles. Además, es frecuente que se dejen sin documentar cambios en la programación. Un método aplicado para compensar estos puntos débiles es, por ejemplo, utilizar sistemas dobles en los que hay dos cadenas independientes de componentes funcionales y un método para vigilar que esas dos cadenas proporcionan el mismo valor. Si los sistemas dan valores distintos, es porque hay un fallo en uno de ellos. Pero existe la posibilidad de que ambas cadenas de componentes tengan el mismo fallo y que ambas queden fuera de servicio por la misma perturbación, dando entonces una falsa respuesta positiva (puesto que los dos sistemas coinciden). Ahora bien, sólo en muy pocos de los casos investigados ha sido posible seguir un accidente hasta que se produce un fallo en el ordenador (véase más abajo), a pesar de que es corriente que un solo ordenador controle todas las funciones de una instalación (incluso la parada de una máquina como consecuencia de la activación de un dispositivo de seguridad). Como alternativa, se puede considerar la instalación de un sistema ensayado y probado para las funciones de seguridad con componentes electromecánicos.

### Problemas técnicos

En general, un accidente tiene muchas causas: técnicas, individuales, ambientales y de organización. A efectos de prevención, es mejor considerar un accidente no como un suceso aislado, sino como una *secuencia* de sucesos o un proceso (Backström 1996). En el caso de accidentes de automatización se ha observado que los problemas técnicos suelen formar parte de dicha secuencia y que se producen en las primeras fases del proceso o en la cercanía del suceso con lesiones del accidente. Los estudios en los que se han examinado los problemas técnicos involucrados en accidentes de automatización indican que éstos están presentes en el 75 al 85 % de los casos. Al mismo tiempo, en cualquier caso concreto, hay normalmente otras causas, como las de organización. Sólo en la décima parte de ellos se ha encontrado que la fuente directa de la energía que ha dado lugar a las lesiones se podía atribuir a un fallo técnico, como por ejemplo, un movimiento de la máquina, a pesar de encontrarse ésta en posición de parada. En otros estudios se han ofrecido cifras similares. Normalmente, un problema técnico en el equipo hace que el operador tenga que cambiar de tarea (por ejemplo, cambiar la posición de una pieza que estaba colocada incorrectamente). El accidente se produce entonces durante la ejecución de la tarea inducida por el fallo técnico. Una cuarta parte de los accidentes de automatización fueron precedidos por una perturbación del flujo de materiales, como una pieza atascada o colocada en posición incorrecta (véase la Figura 58.10).

En un estudio de 127 accidentes relacionados con la automatización, en 28 de ellos (descritos en la Figura 58.10), se profundizó para determinar los tipos de problemas técnicos que

Figura 58.10 • Tipos de problemas técnicos relacionados con accidentes de automatización (número de accidentes = 127)



intervinieron como factores causales (Backström y Döös, en prensa). Los problemas especificados en las investigaciones de los accidentes fueron debidos sobre todo a componentes atascados, defectuosos o desgastados. En dos casos, un error del programa informático originó el problema, y en otro se debió a interferencias electromagnéticas. En más de la mitad de los casos (17 de 28) los fallos habían estado presentes cierto tiempo sin que se hubieran solucionado. Sólo en 5 de los 28 casos en los que se hacía referencia a una desviación o fallo técnico tenía un defecto que *no* se había manifestado previamente. Algunos defectos habían estado presentes desde la instalación, mientras que otros eran el resultado del desgaste y de los efectos ambientales.

La proporción de los accidentes de automatización ocurridos durante la corrección de una perturbación en la producción viene a estar entre un tercio y dos tercios de todos los casos, según la mayoría de los estudios. En otras palabras: hay un acuerdo general en que el tratamiento de las perturbaciones de la producción es una tarea peligrosa. La variación en la producción de tales accidentes tiene muchas explicaciones, entre ellas las relacionadas con el tipo de producción y con la clasificación de las tareas. En algunos estudios de perturbaciones sólo se han considerado problemas y paradas de máquinas en el curso de la producción normal, mientras que en otros se ha tratado un conjunto más amplio de problemas, por ejemplo los relacionados con la preparación del trabajo.

Una medida muy importante en la prevención de accidentes de automatización es preparar procedimientos para eliminar las causas de las perturbaciones de la producción para que no se repitan. En un estudio especializado de las perturbaciones de la producción en el momento de los accidentes (Döös y Backström 1994), se observó que la tarea más común a la que daba lugar la perturbación era liberar la pieza o corregir su posición porque se había atascado o estaba colocada incorrectamente. Los problemas de este tipo iniciaban una de las dos secuencias de sucesos muy similares: *a)* la pieza era liberada y situada en posición correcta, la máquina recibía la señal de arranque y la persona resultaba lesionada por el movimiento iniciado por la máquina, y *b)* no daba tiempo a liberar la pieza o a cambiar su

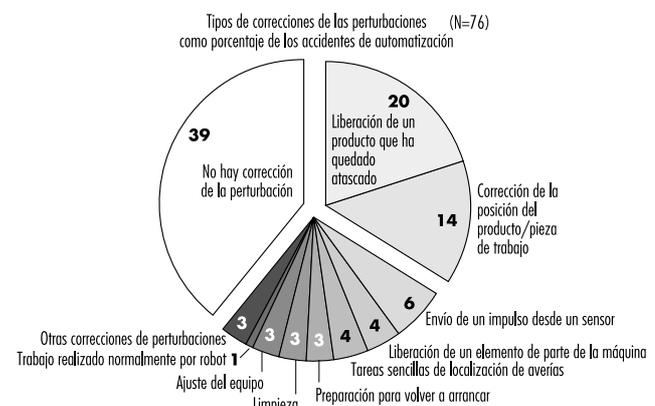
posición antes de que la persona resultara lesionada por un movimiento inesperado de la máquina realizado con más rapidez o fuerza que la esperada por el operador. Otros tratamientos de las perturbaciones implicaban el envío de un impulso por un sensor, la liberación de una parte de la máquina atascada, la realización de operaciones sencillas de seguimiento de fallos y la preparación para volver a arrancar (véase la Figura 58.11).

### Seguridad del trabajador

Las categorías del personal susceptible de sufrir lesiones en accidentes de automatización depende de la organización del trabajo; es decir, del grupo profesional que ejecuta las tareas peligrosas. En la práctica depende de la persona a la que se le asigna la tarea de ocuparse de los problemas y las perturbaciones de forma rutinaria. En la moderna industria sueca, son normalmente los operadores de las máquinas los que solicitan las intervenciones activas. Por este motivo, en el estudio de puestos de trabajo en fabricación de vehículos en Suecia mencionado anteriormente (Backström y Döös, aceptado para publicación), el 82 % de las personas que habían sufrido lesiones con máquinas automatizadas eran trabajadores de producción u operadores. Los operadores presentaban también una frecuencia relativa de accidentes más alta (15 accidentes de automatización por mil operadores y por año) que los trabajadores de mantenimiento (6 por mil). Los hallazgos de los estudios que indican que los trabajadores de mantenimiento se ven más afectados, pueden explicarse, al menos en parte, por el hecho de que en algunas empresas no se permite a los operadores entrar en las zonas de mecanización. En organizaciones con un tipo distinto de organización del trabajo, es posible encomendar la resolución de los problemas que surgen en producción a otras categorías de personal, por ejemplo, a los preparadores.

La medida correctiva que más suele adoptarse a este respecto a fin de aumentar el nivel de seguridad personal, es proteger a la persona contra movimientos peligrosos de la máquina mediante algún tipo de dispositivo de seguridad, como una defensa de la máquina. Aquí, el principio principal es el de la seguridad "pasiva", es decir, una protección que no requiere acción alguna del trabajador. Ahora bien, es imposible juzgar la eficacia de los dispositivos de protección sin un profundo conocimiento de los requisitos reales del trabajo en la máquina en cuestión, forma de conocimiento que normalmente sólo poseen los propios operadores de las máquinas.

Figura 58.11 • Tipos de correcciones de las perturbaciones en el momento del accidente (número de accidentes = 76).



Hay muchos factores que invalidan lo que aparentemente es una buena protección de la máquina. Para realizar su trabajo, es posible que los operadores se vean obligados a desconectar o derivar un dispositivo de seguridad. A esa conclusión se llegó en un estudio (Dóos y Backström 1993), puesto que se había procedido así en 12 de los 75 accidentes de automatización estudiados. A menudo es consecuencia de la tenacidad del operador, que no está dispuesto a aceptar problemas de producción ni retrasos en el proceso a costa de la corrección de las perturbaciones conforme a las instrucciones. Una manera de solucionar este problema es hacer imperceptibles los dispositivos de protección para que no afecten al ritmo de producción, a la calidad del producto o a la ejecución de la tarea. Pero esto no siempre es posible y cuando se producen perturbaciones repetidas en la producción, incluso inconvenientes poco importantes pueden inducir a las personas a no utilizar los dispositivos de seguridad. Una vez más, deben prepararse rutinas para eliminar las causas de las perturbaciones de la producción para que éstas no se repitan. La falta de medios para confirmar que los dispositivos de seguridad funcionan realmente según lo previsto es otro factor de riesgo importante. Conexiones defectuosas, señales de arranque que permanecen en el sistema y dan después lugar a puestas en marcha inesperadas, aumento de la presión de aire y sensores que se han aflojado, pueden ser causas de fallos del equipo de protección.

### Resumen

Como se ha indicado, las soluciones técnicas de los problemas pueden originar nuevos problemas. Aunque son los movimientos de las máquinas (por naturaleza elementos técnicos) los que causan las lesiones, ello no significa que la posibilidad de su erradicación esté solamente en factores puramente técnicos. Los sistemas técnicos seguirán fallando y las personas seguirán cometiendo errores al enfrentarse a situaciones a las que den lugar dichos fallos. Los riesgos seguirán existiendo y sólo se podrán limitar utilizando diversos medios: legislación y control, medidas de organización específicas en empresas (formación, rondas de seguridad, análisis de riesgos e informes de perturbaciones y "cuasiaccidentes"), además de mejoras permanentes y continuadas, como complemento del desarrollo puramente técnico.

## ● DEFENSAS DE MAQUINAS

*Departamento de Trabajo de la Occupational Safety and Health Administration; editado por Kenneth Gerecke*

Al parecer, las partes móviles de las máquinas entrañan tantos peligros potenciales como tipos distintos de máquinas existen. Las defensas son esenciales para proteger a los trabajadores contra lesiones previsibles e innecesarias relacionadas con las máquinas. Por tanto, cualquier parte, función o proceso de máquina que pueda producir lesiones tiene que tener una defensa. Cuando el funcionamiento de una máquina o el contacto accidental con ella puede lesionar al operador o a otras personas próximas, es necesario controlar o eliminar el peligro.

### Movimientos y acciones mecánicas

Los peligros mecánicos se refieren típicamente a partes móviles peligrosas de las tres áreas básicas siguientes:

- *el punto de operación*: punto donde se realiza el trabajo en un material, como corte, conformado, perforación, estampado, taladrado o almacenamiento;

- *aparatos de transmisión de energía*: cualquier componente de un sistema mecánico que transmite energía a las partes de la máquina que realizan el trabajo. Entre los componentes se incluyen volantes, poleas, correas, bielas, acoplamientos, levas, ejes, cadenas, cigüeñales y engranajes,
- *otros elementos móviles*: todos los elementos de la máquina que se mueven mientras está funcionando, como las partes móviles rotativas y alternativas y transversales, los mecanismos de alimentación y las partes auxiliares de la máquina.

Un gran número de movimientos y acciones mecánicas que entrañan peligro para los trabajadores incluyen el movimiento de elementos rotativos, brazos alternativos, correas en movimiento, engranajes acoplados, dientes de corte y cualquier elemento que choque o cizalle. Los distintos tipos de acciones y movimientos mecánicos de este tipo son básicos para casi todas las máquinas y su reconocimiento es el primer paso hacia la protección de los trabajadores frente a los peligros que se puedan presentar.

### Movimientos

Hay tres tipos básicos de movimientos: rotativo, alternativo y transversal.

*Movimiento rotativo*: entraña peligros, ya que incluso los ejes lisos que giran lentamente pueden enganchar la ropa y arrastrar un brazo o una mano a una posición peligrosa. Las lesiones por contacto con elementos giratorios pueden ser graves (véase la Figura 58.12).

Casquillos, acoplamientos, levas, embragues, volantes, extremos de ejes, vástagos y transmisiones horizontales o verticales son ejemplos de mecanismos rotativos corrientes que pueden ser peligrosos. El peligro aumenta si a ellos se añade la presencia de tornillos, muescas, abrasiones y chavetas o prisioneros salientes, como se muestra en la Figura 58.13.

Figura 58.12 • Prensa mecánica de perforar.

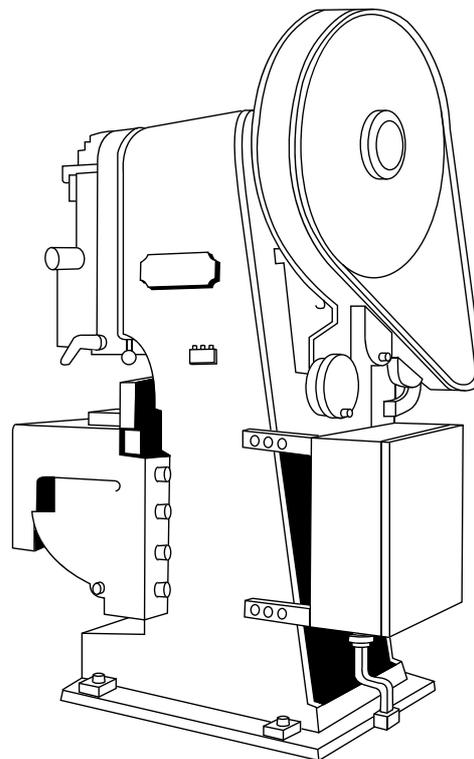
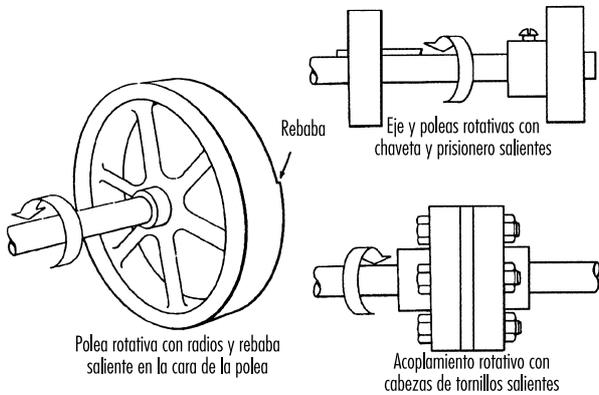


Figura 58.13 • Ejemplos de salientes peligrosos en máquinas rotativas.



*Puntos de atrapamiento interiores:* creados por elementos rotativos de máquinas. Hay tres tipos principales:

1. Elementos con ejes paralelos que giran en sentidos opuestos. Los elementos pueden estar en contacto (creando un punto de atrapamiento) o muy próximos entre sí, en cuyo caso el material alimentado entre los rodillos crea los puntos de atrapamiento. Es un peligro corriente en máquinas con engranajes, molinos de rodillos y calandrias, como se muestra en la Figura 58.14.
2. Otro tipo de punto de atrapamiento es el creado entre partes móviles rotativas y con movimiento tangencial, como el punto de contacto entre una correa de transmisión y su polea, una cadena y una rueda dentada o una cremallera y su piñón, como se muestra en la Figura 58.15.
3. También existen puntos de atrapamiento entre partes giratorias y fijas que dan lugar a una acción de desgarramiento, aplastamiento o abrasión. Ejemplos de esto son los volantes con radios, las manivelas, los transportadores de tornillo, la periferia de una muela abrasiva y el ajuste incorrecto del apoyo o soporte de trabajo, como se muestra en la Figura 58.16.

*Movimientos alternativos:* entrañan peligros porque durante las operaciones de avance, retroceso, ascenso y descenso, un trabajador puede ser golpeado por una parte móvil o quedar atrapado entre ésta y una parte estacionario. En la Figura 58.17 se ofrece un ejemplo.

*Movimiento transversal:* (movimiento en una línea continua recta) su peligro reside en que un trabajador resulte golpeado o

Figura 58.14 • Puntos de atrapamiento corrientes en partes en rotación.

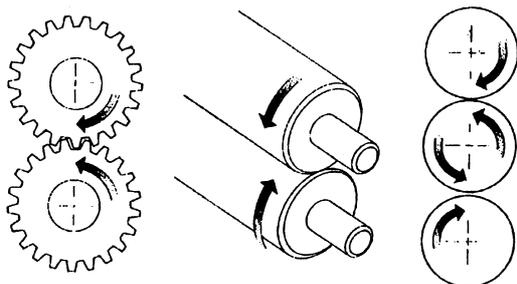
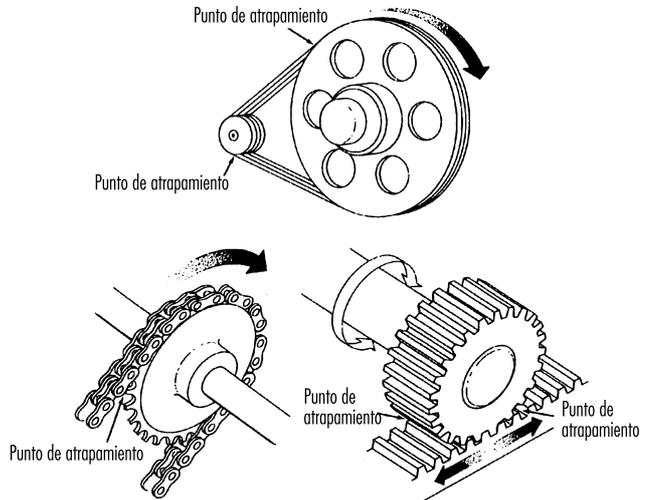


Figura 58.15 • Puntos de atrapamiento entre elementos rotativos y partes con movimientos longitudinales.



atrapado en un punto de atrapamiento o desgarramiento por una parte móvil. En la Figura 58.18 se muestra un ejemplo de movimiento transversal.

**Acciones**

Hay cuatro tipos básicos de acción: corte, perforación, cizallamiento y doblado.

*La acción de corte* supone movimiento rotatorio, alternativo o transversal. Entraña peligros en el punto de la operación donde se pueden producir lesiones en los dedos, la cabeza y los brazos, y allí donde pueden salir proyectados virutas o material residual y chocar con los ojos o la cara del operario. Ejemplos típicos de máquinas con peligros de corte son: sierras de cinta, sierras

Figura 58.16 • Puntos de atrapamiento entre componentes rotativos de máquinas.

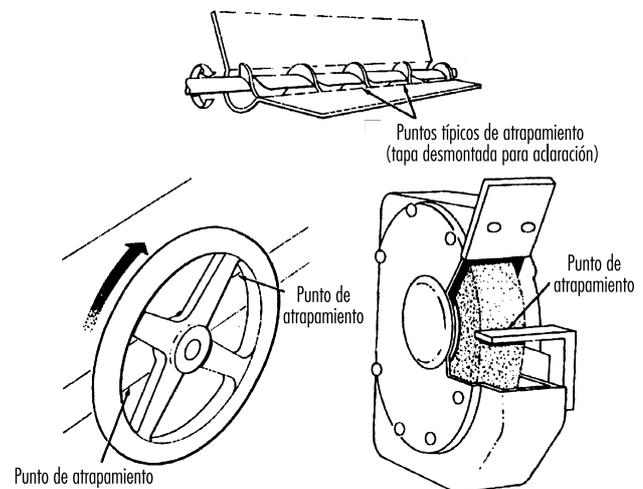
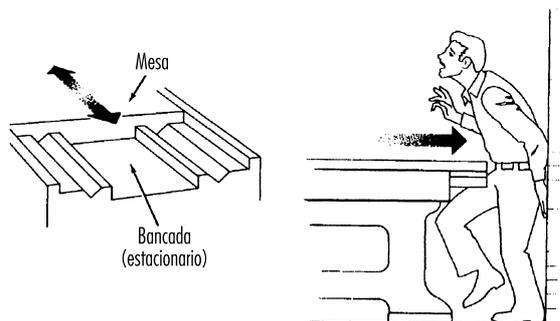


Figura 58.17 • Movimiento alternativo peligroso.



circulares, máquinas de taladrar, tornos y fresadoras (véase la Figura 58.19).

La acción de perforación se produce cuando se aplica fuerza a un elemento deslizante (vástago) con objeto de cerrar, estirar o estampar metal u otros materiales. El peligro de este tipo de acción existe en el punto de la operación cuando se introduce, sostiene o retira el material a mano. Las máquinas típicas que utilizan la acción de perforación son las prensas mecánicas y las máquinas utilizadas para trabajos con hierro (véase la Figura 58.20).

La acción de cizallamiento supone aplicar fuerza a un elemento deslizante o cuchilla para cortar o cizallar metal u otros materiales. Hay un peligro en el punto de la operación donde se introduce, sostiene y retira el material. Ejemplos típicos de máquinas utilizadas para operaciones de cizallamiento son las cizallas mecánicas, hidráulicas o neumáticas (véase la Figura 58.21).

La acción de doblado se produce cuando se aplica fuerza a un elemento deslizante con objeto de conformar, estirar o estampar metal u otros materiales. Hay un peligro en el punto de la operación donde se introduce, sostiene y retira el material. Entre los equipos que utilizan la acción de doblado están las prensas mecánicas, los frenos de prensas y las dobladoras de tubos (véase la Figura 58.22).

### Requisitos de las defensas

Las defensas deben cumplir como mínimo los siguientes requisitos generales para proteger a los trabajadores contra los peligros mecánicos:

*Impedir el contacto.* La defensa ha de impedir que manos, brazos o cualquier parte del cuerpo o de la ropa de un trabajador entre en contacto con elementos móviles peligrosos, eliminando la

Figura 58.18 • Ejemplo de movimiento transversal.

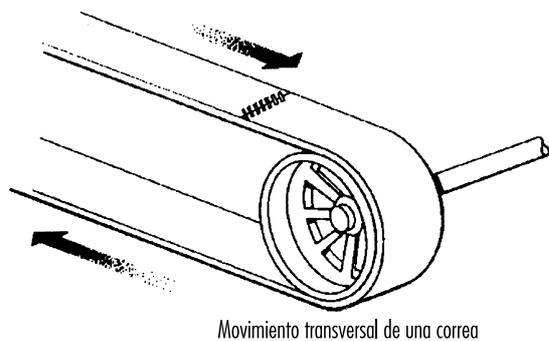
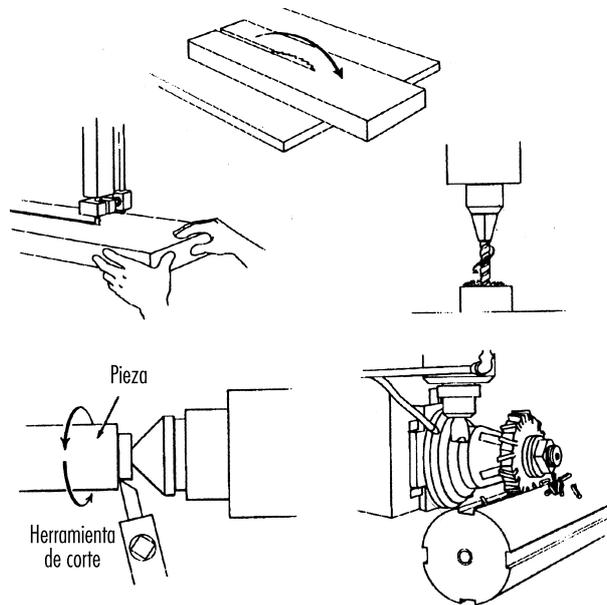


Figura 58.19 • Ejemplos de peligros en el corte.



posibilidad de que los operarios u otros trabajadores pongan alguna parte de su cuerpo cerca de partes móviles peligrosas.

*Proporcionar seguridad.* Los trabajadores no deben poder retirar o manipular con facilidad la defensa. Las defensas y dispositivos de seguridad deben ser de material duradero que soporte las condiciones de uso normal y tienen que estar firmemente fijadas a la máquina.

*Proteger contra la caída de objetos.* La defensa debe impedir totalmente que puedan caer objetos sobre partes móviles que puedan dañar el equipo o convertirse en proyectiles susceptible de golpear o lesionar a alguien.

*No crear nuevos peligros.* Si una defensa crea peligros por sí misma contradice su razón de ser: es posible que ocurra en un punto de cizallamiento, un borde dentado o una superficie

Figura 58.20 • Operación típica de perforación.

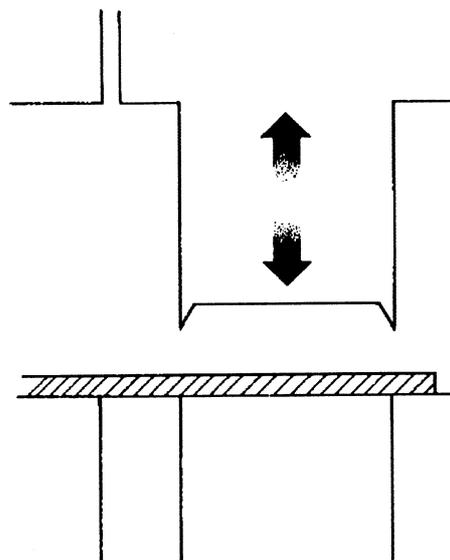
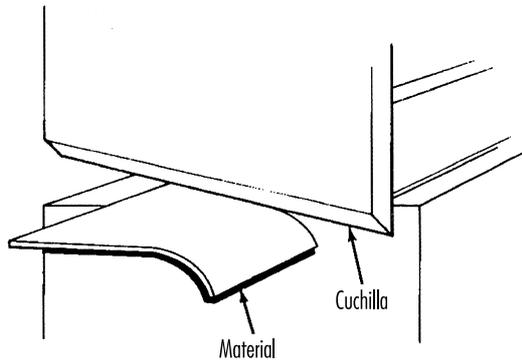


Figura 58.21 • Operación de cizallamiento.



rugosa. Por ejemplo, los bordes de las defensas deben estar enrollados o atornillados de manera que no existan aristas afiladas.

*No crear interferencias.* Si las defensas impiden que los trabajadores ejecuten sus tareas, deberá prescindirse de ellas. A ser posible, los trabajadores lubricarán sus máquinas sin desconectar ni retirar las defensas. Por ejemplo, si se colocan depósitos de aceite fuera de la defensa y se hace llegar una línea hasta el punto de lubricación, se reduce la necesidad de acceso a la zona peligrosa.

### Formación en materia de defensas

Ni el sistema de defensa más elaborado ofrece una protección eficaz a menos que los trabajadores sepan cómo utilizarlo y por qué. Una formación específica y detallada es parte importante de cualquier esfuerzo para implantar protecciones contra los peligros que entrañan las máquinas. Es posible que una protección correcta mejore la productividad y la eficacia, ya que puede suprimir el temor de los trabajadores a sufrir lesiones. La formación sobre las defensas es necesaria para los trabajadores nuevos, y para el personal de mantenimiento e instalación cuando se

Figura 58.22 • Operación de doblado.

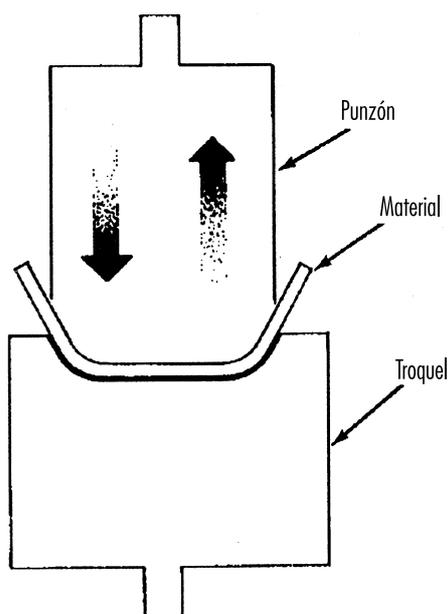
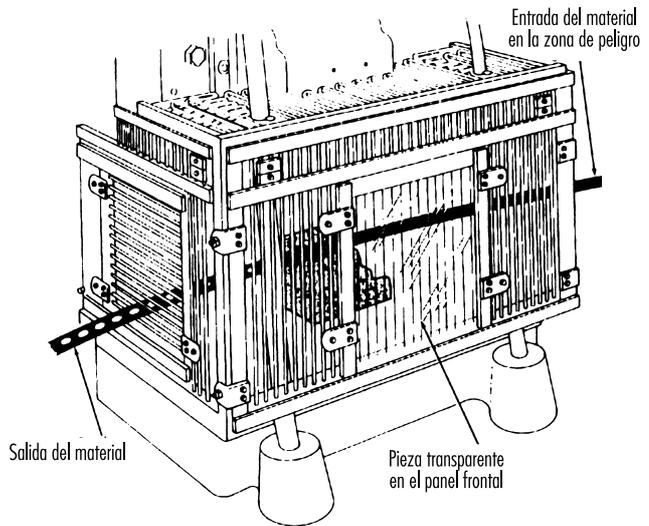


Figura 58.23 • Defensa fija en una prensa mecánica.



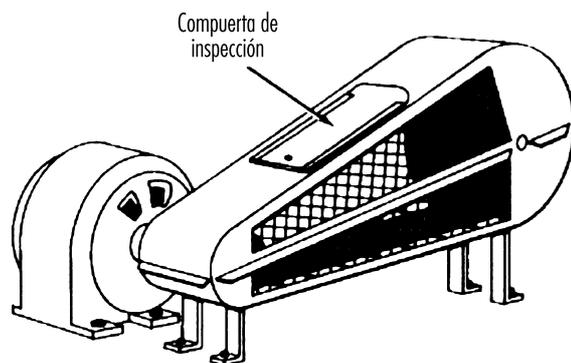
ponen en servicio defensas nuevas o éstas se modifican, y también cuando los trabajadores son asignados a máquinas u operaciones nuevas. Debe incluir instrucción o formación práctica sobre lo siguiente:

- descripción e identificación de los peligros asociados con máquinas concretas y defensas específicas contra cada peligro;
- cómo proporcionan protección las defensas, cómo deben utilizarse y por qué;
- cómo y en qué circunstancias pueden retirarse las defensas y por quién (en la mayoría de los casos, sólo por personal de reparaciones o mantenimiento);
- qué hacer (por ejemplo, informar al supervisor) si una defensa está dañada, falta o no proporciona la protección adecuada.

### Métodos de protección de las máquinas

Hay muchas maneras de proteger las máquinas. El tipo de operación, el tamaño o forma del material, el método de manipulación, la disposición física de la zona de trabajo, el tipo de material y las necesidades o limitaciones de la producción ayudan a determinar el método de protección adecuado para cada máquina específica. El diseñador de la máquina o el encargado de seguridad deben elegir la protección más efectiva y práctica disponible.

Figura 58.24 • Defensa fija que encierra correas y poleas.



Las protecciones se clasifican en cinco tipos generales: a) defensas; b) dispositivos; c) separación; d) operaciones, y e) otras.

### Protección con defensas

Hay cuatro tipos generales de defensas (barreras que impiden el acceso a las zonas de peligro) que son los siguientes:

**Defensas fijas.** Una defensa fija forma parte permanente de la máquina y no depende de partes móviles para ejecutar su función. Puede estar hecha de chapa, rejillas, tela de alambre, barras, plástico o cualquier otro material capaz de resistir los choques y el uso prolongado. Por lo común, son preferibles a los otros tipos debido a su sencillez relativa y permanencia (véase la Tabla 58.2).

En la Figura 58.23, una defensa fija de una prensa mecánica encierra por completo el punto de operación. El material se introduce a través del lateral de la defensa, entra en la zona del troquel y el material de desecho sale por el lado opuesto.

En la Figura 58.24 se muestra una defensa cerrada fija que envuelve las poleas y la correa de una unidad de transmisión. En la parte superior tiene una compuerta de inspección para reducir al mínimo la necesidad de desmontar la defensa.

En la Figura 58.25 se muestran defensas cerradas fijas en una sierra de cinta. Son defensas que protegen a los operadores de las ruedas giratorias y de la cinta de sierra móvil. Lo normal es que únicamente se abran o retiren para cambiar la cinta o para mantenimiento. Es muy importante que estén perfectamente aseguradas mientras la sierra está en uso.

**Defensas con enclavamiento.** Cuando se abren o retiran defensas con enclavamiento, el mecanismo de disparo corta la alimentación y/o desconecta la máquina, que no puede realizar ciclos o ponerse en marcha hasta que se coloca de nuevo la defensa con enclavamiento en su lugar. Ahora bien, ello no significa que la

máquina vuelve a ponerse en marcha automáticamente. Los dispositivos que utilizan estas defensas son eléctricos, mecánicos, hidráulicos o neumáticos o cualquier combinación de ellos. Los enclavamientos no deben impedir, por ejemplo, los movimientos progresivos manuales "de aproximación" mediante mando a distancia, si son necesarios.

En la Figura 58.26 se muestra un ejemplo de defensa con enclavamiento, dispuesta de forma que cubre el mecanismo del batán de la máquina plegadora (utilizada en la industria textil). Es imposible levantar la defensa mientras la máquina está en movimiento, e imposible que la máquina se ponga en marcha mientras la defensa esté levantada.

**Defensas ajustables.** Las defensas ajustables ofrecen flexibilidad para acomodar materiales de distintos tamaños. La Figura 58.27 muestra una defensa cerrada ajustable en una sierra de cinta.

**Defensas autoajustables.** Las aberturas de las defensas autoajustables quedan determinadas por el movimiento del material. A medida que el operador desplaza el material a la zona de peligro la defensa se retira dejando una abertura suficientemente grande para admitir sólo el material. Al retirar el material, la defensa vuelve a la posición de reposo. La defensa (de plástico, metal u otro material apropiado) establece una barrera entre la zona de peligro y el operador, con lo que éste queda protegido. Las defensas autoajustables ofrecen distintos grados de protección.

En la Figura 58.28 se muestra una sierra de brazo radial con defensa autoajustable. Al pasar la hoja a través del material, la defensa asciende y permanece en contacto con el material.

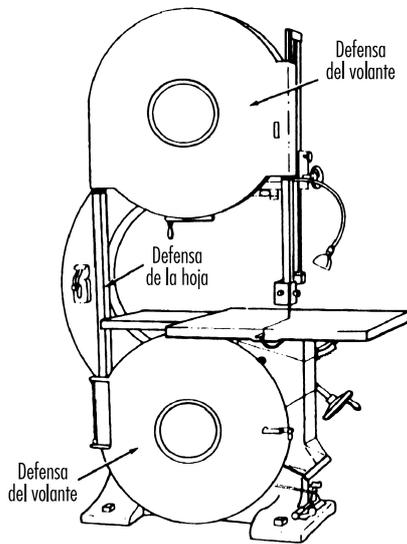
### Protección con dispositivos

Los dispositivos de seguridad detienen la máquina si una mano u otra parte del cuerpo se colocan inadvertidamente en la zona de peligro; limitan el acceso de las manos del operador a la zona de peligro o las retiran de ésta durante el funcionamiento; requieren

Tabla 58.2 • Defensas de máquinas.

Método	Acción de protección	Ventajas	Limitaciones
Fija	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporciona una barrera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Válida para muchas aplicaciones específicas</li> <li>• La construcción en la planta es frecuentemente posible</li> <li>• Proporciona la máxima protección</li> <li>• Necesita un mantenimiento mínimo</li> <li>• Adecuada para alta producción, operaciones repetitivas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede interferir con la visibilidad</li> <li>• Limitada a operaciones específicas</li> <li>• El ajuste y reparación de la máquina requiere con frecuencia su desmontaje, necesitando por tanto otros medios de protección para el personal de mantenimiento</li> </ul>
Enclavada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corta o desconecta la energía e impide el arranque de la máquina estando la defensa abierta; debe requerir la parada de la máquina antes de que el operario acceda a la zona de peligro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporciona la máxima protección</li> <li>• Permite el acceso a la máquina para eliminar atascos sin tener que dedicar tiempo a desmontar defensas fijas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere un ajuste y mantenimiento cuidadosos</li> <li>• Puede ser fácil de desconectar o derivar</li> </ul>
Ajustable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporciona una barrera que se puede ajustar para facilitar diversas operaciones de producción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se puede construir para muchas aplicaciones específicas</li> <li>• Se puede ajustar para admitir varios tamaños de materiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El operador puede acceder a la zona de peligro: la protección puede no ser completa en todo momento</li> <li>• Puede requerir mantenimiento y/o ajuste frecuentes</li> <li>• Puede ser inutilizada por el operador</li> <li>• Puede interferir con la visibilidad</li> </ul>
Autoajustable	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporciona una barrera que se mueve de acuerdo con el tamaño del material que entra en la zona de peligro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay defensas prefabricadas disponibles comercialmente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No siempre proporciona la máxima protección</li> <li>• Puede interferir con la visibilidad</li> <li>• Puede requerir mantenimiento y ajuste frecuentes</li> </ul>

Figura 58.25 • Defensas fijas en una sierra de cinta.



que el operador utilice simultáneamente ambas manos en los controles (manteniendo así fuera de peligro ambas manos y el cuerpo) o crean una barrera que esté sincronizada con el ciclo de la máquina, para impedir el acceso a la zona de peligro durante la parte peligrosa del ciclo. Hay cinco tipos básicos de dispositivos de seguridad:

**Dispositivos detectores de presencia**

A continuación se describen tres tipos de detectores que detienen la máquina o interrumpen el ciclo de trabajo si el trabajador está dentro de la zona de peligro.

El *detector de presencia fotoeléctrico (óptico)* utiliza un sistema de fuentes luminosas y controles que interrumpen el ciclo de funcionamiento de la máquina. Si se interrumpe el campo luminoso, la máquina se para y no realiza el ciclo. Este dispositivo sólo debe usarse en máquinas que puedan parar antes de que el

Figura 58.26 • Defensa enclavada en una máquina plegadora.

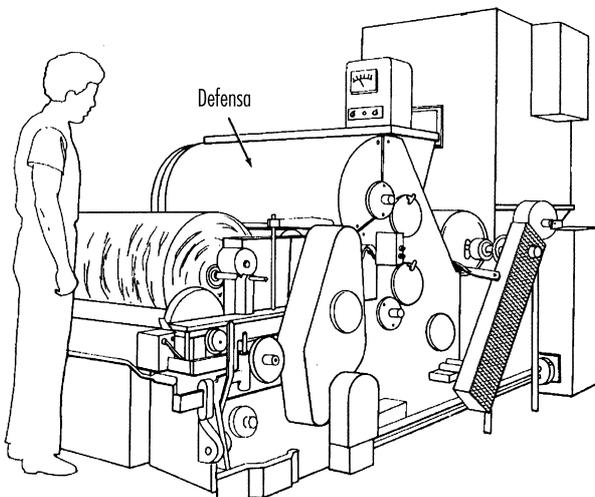
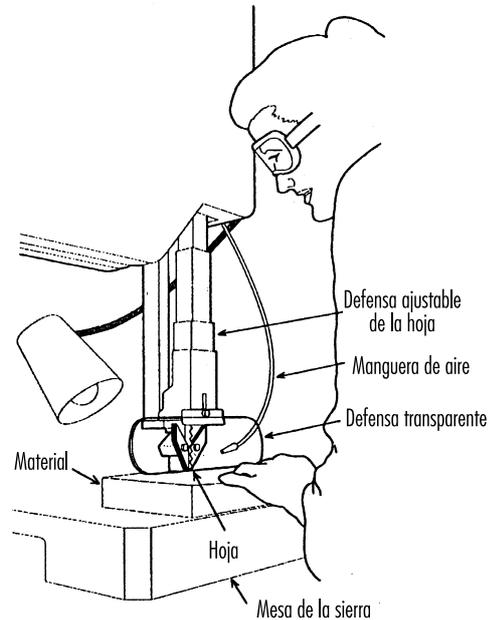


Figura 58.27 • Defensa ajustable en una sierra de cinta.



operador llegue a la zona de peligro. En la Figura 58.29 se muestra un detector fotoeléctrico de presencia utilizado en un plegadora. El dispositivo se puede girar hacia arriba o hacia abajo, según las necesidades de producción.

El *detector de presencia por radiofrecuencia (capacitancia)* utiliza un haz radioeléctrico que forma parte del circuito de control. Cuando se interrumpe el campo de capacitancia, la máquina se detiene y no puede activarse. Sólo debe usarse este dispositivo en máquinas que puedan detenerse antes de que el operador llegue a la zona de peligro, lo que supone que la máquina ha de tener un embrague de fricción u otro medio de parada fiable. En la Figura 58.30 se muestra un detector de presencia de radiofrecuencia montado en una prensa mecánica de rotación parcial.

El *detector electromecánico* tiene una sonda o barra de contacto que desciende una distancia predeterminada cuando el operador inicia el ciclo de la máquina. Si hay alguna

Figura 58.28 • Defensa autoajustable en una sierra de brazo radial.

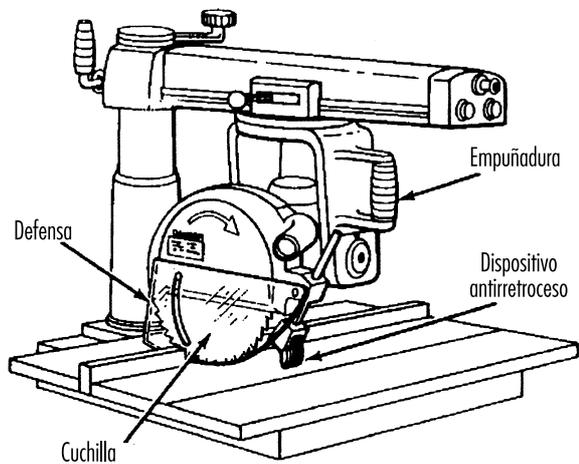
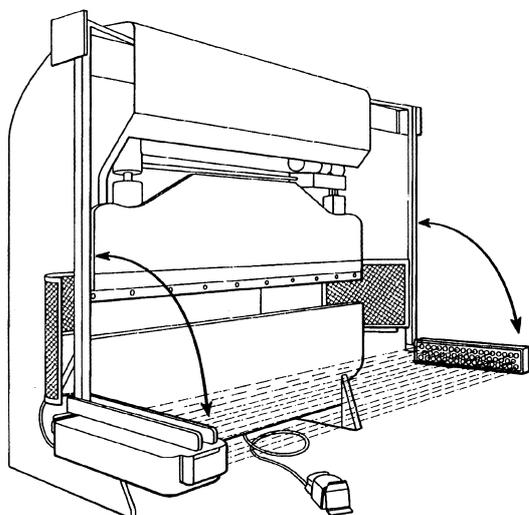


Figura 58.29 • Dispositivo fotoeléctrico de detección de presencia en una plegadora.



obstrucción que impide su carrera completa de descenso, el circuito de control no activa el ciclo de la máquina. En la Figura 58.31 se muestra un detector electromecánico en una máquina sacabocados. También se muestra la sonda detectora en contacto con el dedo del operador.

**Dispositivos de retirada**

Utilizan una serie de cables unidos a las manos, muñecas y/o brazos del operador y se usan sobre todo en máquinas que realizan carreras. Cuando el elemento deslizante o vástago está arriba, el operador tiene acceso al punto de operación. Cuando el elemento deslizante o vástago comienza a descender, un varillaje mecánico asegura la retirada automática de las manos del punto de operación. En la Figura 58.32 se muestra un dispositivo de retirada en una pequeña prensa.

Figura 58.30 • Dispositivo detector de presencia por radiofrecuencia en una prensa mecánica de rotación parcial.

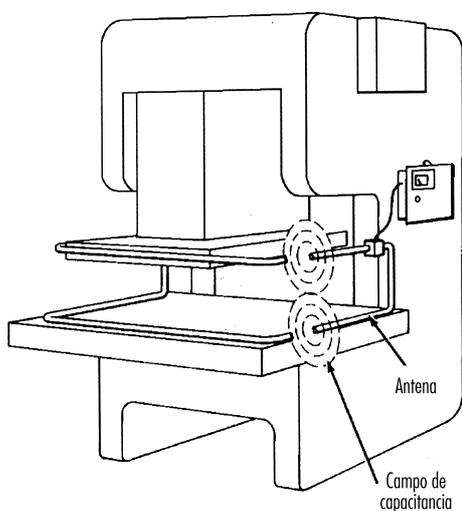
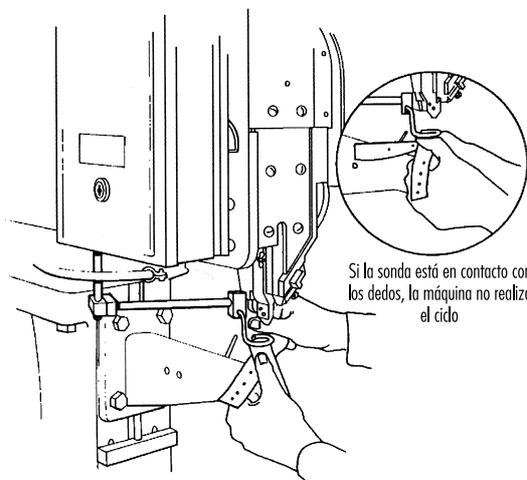


Figura 58.31 • Dispositivo detector electromecánico en una máquina sacabocados.



**Dispositivos limitadores**

En algunos países se han empleado dispositivos limitadores que utilizan cables o correas que unen un punto fijo con las manos del operador. En general, se considera que estos dispositivos no ofrecen protección suficiente, ya que el operador puede prescindir fácilmente de ellos y colocar las manos en la zona de peligro (véase la Tabla 58.3).

**Dispositivos de control de seguridad**

Todos estos dispositivos de control de seguridad se activan manualmente y tienen que rearmarse manualmente para volver a poner en marcha la máquina.

Figura 58.32 • Dispositivo de retirada en una prensa mecánica.

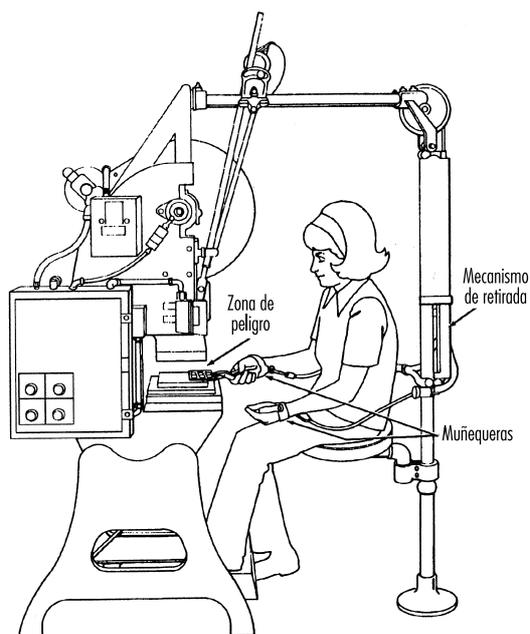
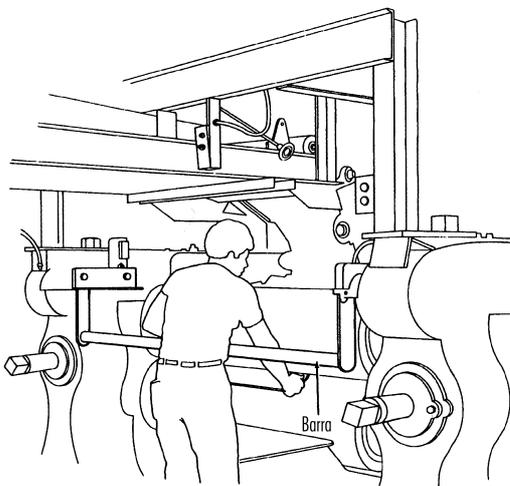


Tabla 58.3 • Dispositivos.

Método	Acción de protección	Ventajas	Limitaciones
Fotoeléctrico (óptico)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La máquina no iniciará el ciclo si se interrumpe el campo luminoso</li> <li>• Cuando el campo luminoso es interrumpido por cualquier parte del cuerpo del operador durante el ciclo de la máquina, se activa inmediatamente el proceso de frenado de la máquina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite mayor libertad de movimientos al operador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No protege contra fallos mecánicos</li> <li>• Puede requerir ajuste y calibración frecuentes</li> <li>• Un exceso de vibraciones puede dañar el filamento de la lámpara y el fallo prematuro de ésta</li> <li>• Limitado a máquinas que se pueden parar sin terminar el ciclo</li> </ul>
Radiofrecuencia (capacitancia)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El ciclo de la máquina no comienza si se interrumpe el campo de capacitancia</li> <li>• Si el campo de capacitancia es perturbado por cualquier parte del cuerpo del operador durante el ciclo de funcionamiento, se activa inmediatamente el frenado de la máquina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite mayor libertad de movimientos al operador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No protege contra fallos mecánicos</li> <li>• La sensibilidad de la antena se tiene que ajustar correctamente</li> <li>• Limitado a máquinas que se pueden parar sin terminar el ciclo</li> </ul>
Electromecánico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Barra de contacto o sonda que recorre una distancia determinada entre el operador y la zona de peligro</li> <li>• La interrupción de este movimiento impide el comienzo del ciclo de la máquina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede permitir el acceso al punto de operación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La barra de contacto o sonda se tiene que ajustar correctamente para cada aplicación y este ajuste se tiene que mantener correctamente</li> </ul>
Retracción o retirada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al comenzar la máquina el ciclo, las manos del operador son retiradas de la zona de peligro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimina la necesidad de barreras auxiliares u otras interferencias en la zona de peligro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limita los movimientos del operador</li> <li>• Puede obstruir el espacio de trabajo alrededor del operador</li> <li>• Requiere ajustes para operaciones específicas y para cada individuo</li> <li>• Requiere inspecciones frecuentes y mantenimiento periódico</li> <li>• Requiere estrecha vigilancia del uso del equipo por el operador</li> </ul>
Controles de disparo de seguridad:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para la máquina cuando es disparado</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Barra para el cuerpo sensible a la presión</li> <li>• Varilla de disparo de seguridad</li> <li>• Cable de disparo de seguridad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sencillez de uso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todos los controles se tienen que activar manualmente</li> <li>• Puede ser difícil activar los controles debido a su ubicación</li> <li>• Protege sólo al operador</li> <li>• Puede requerir aparatos especiales para sujetar la pieza (utillajes, fijaciones)</li> <li>• Puede requerir un freno en la máquina</li> </ul>
Control de dos manos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se requiere el uso simultáneo de las dos manos, impidiendo al operador acceder a la zona de peligro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las manos del operador están en un lugar predeterminado fuera de la zona de peligro</li> <li>• Las manos del operador quedan libres para coger una nueva pieza después de completar la primera mitad del ciclo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere una máquina de ciclo parcial con un freno</li> <li>• Algunos controles de dos manos pueden hacerse inseguros sujetando con el brazo o bloqueando y permitiendo así el funcionamiento con una mano</li> <li>• Protege sólo al operador</li> </ul>
Disparo con las dos manos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El uso simultáneo de las dos manos en controles separados impide que las manos se encuentren en la zona de peligro cuando comienza el ciclo de la máquina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las manos del operador están fuera de la zona de peligro</li> <li>• Se puede adaptar a múltiples operaciones</li> <li>• No hay obstrucción a la alimentación manual</li> <li>• No requiere ajustes para cada operación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El operador puede intentar acceder a la zona de peligro después de disparar la máquina</li> <li>• Algunos disparos se pueden hacer inseguros por sujeción con el brazo o bloqueo, permitiendo así el funcionamiento con una mano</li> <li>• Protege sólo al operador</li> <li>• Puede requerir aparatos especiales (utillajes, fijaciones)</li> </ul>
Compuerta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporciona una barrera entre la zona de peligro y el operador u otras personas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede impedir la entrada en la zona de peligro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede requerir inspecciones frecuentes y mantenimiento periódico</li> <li>• Puede interferir con la capacidad del operador para ver el trabajo</li> </ul>

Figura 58.33 • Barra para el cuerpo sensible a la presión en un molino de goma.



- *Controles de disparo de seguridad:* son controles manuales, como barras de presión, varillas de disparo y cables de disparo, que proporcionan un medio rápido de desactivar la máquina en caso de emergencia.
- *Barras corporales sensibles a la presión:* cuando se presionan desactivan la máquina si el operador o alguien tropieza, pierde el equilibrio o es arrastrado hacia la máquina. La posición de la barra es fundamental, ya que tiene que parar la máquina antes de que una parte del cuerpo llegue a la zona de peligro. En la Figura 58.33 se muestra una barra corporal sensible a la presión situada en la parte delantera de un molino de goma.
- *Dispositivos de varilla de disparo de seguridad:* desactivan la máquina cuando se presionan con la mano. Puesto que tienen que ser accionados por el operador en una situación de emergencia, su correcta colocación es fundamental. En la Figura 58.34 se muestra la varilla de disparo situada encima de un molino de goma.
- *Cables de disparo de seguridad:* se sitúan alrededor del perímetro o cerca de la zona de peligro. El operador tiene que alcanzar el cable con cualquiera de las manos para parar la máquina. En

Figura 58.34 • Varilla de disparo de seguridad en un molino de goma.

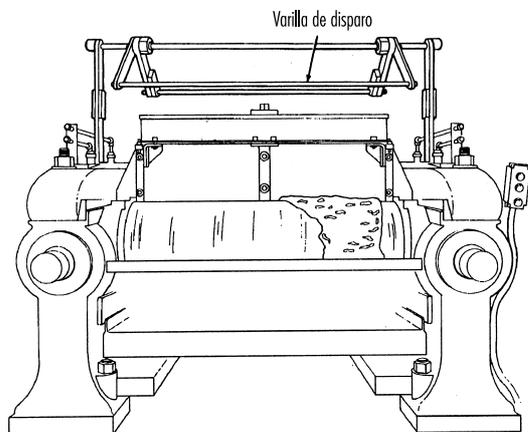
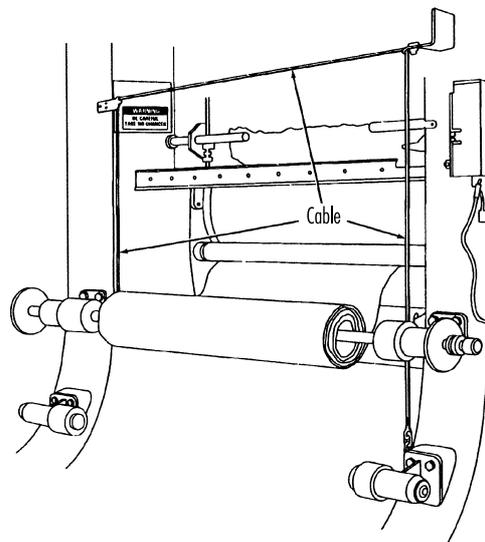


Figura 58.35 • Cable de disparo de seguridad en una calandria.



la Figura 58.35 se muestra una calandria equipada con este tipo de control.

- *Controles con dos manos:* requieren una presión constante y simultánea con ambas manos para que se active la máquina. Cuando se instalan en prensas mecánicas, utilizan un embrague de rotación parcial y un monitor de frenado, como se muestra en la Figura 58.36. Con este tipo de dispositivo, las

Figura 58.36 • Botones de control para las dos manos en una prensa con embrague de rotación parcial.

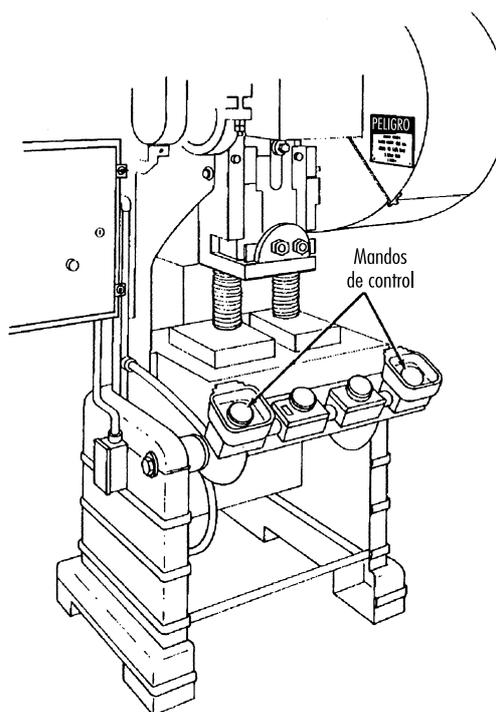
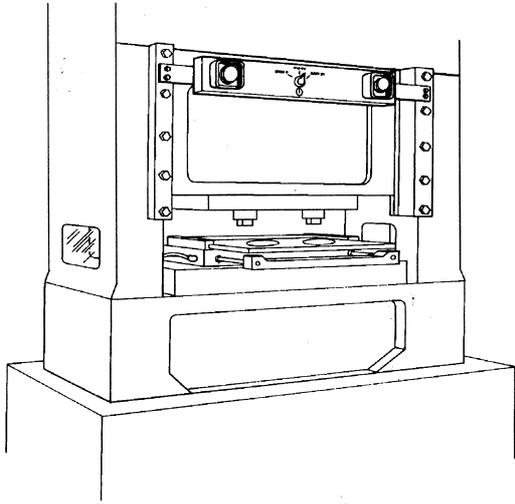


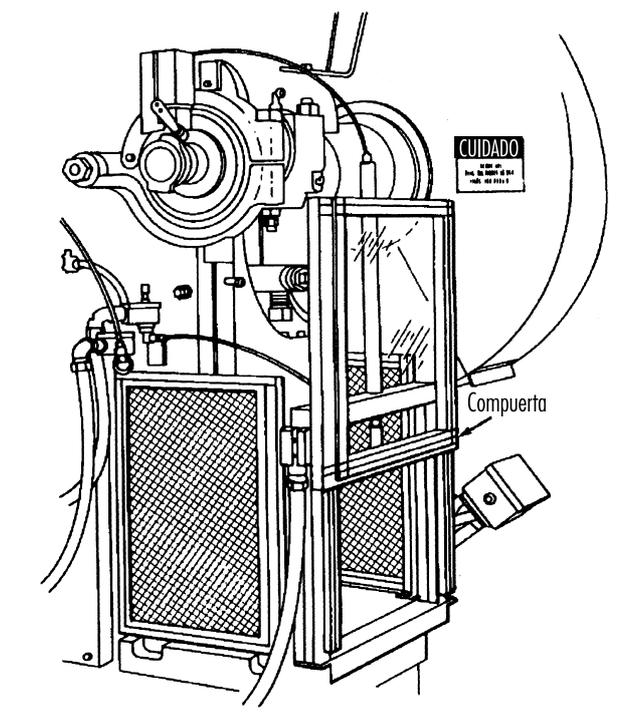
Figura 58.37 • Botones de control para las dos manos en una prensa con embrague de rotación completa.



manos del operador permanecen en un lugar seguro (en los botones de control) y a una distancia segura de la zona de peligro mientras la máquina termina su ciclo final.

- *Disparo con las dos manos*. El disparo con las dos manos que se muestra en la Figura 58.37 se usa normalmente en máquinas equipadas con embragues de rotación completa. Requiere la aplicación simultánea de los dos botones de control por el operador para activar el ciclo de la máquina, tras lo cual las manos quedan libres. Los disparos tienen que hacerse suficientemente alejados del punto de operación para que resulte imposible que el operador pase las manos de los botones o

Figura 58.38 • Prensa mecánica con compuerta.



palancas de disparo al punto de operación antes de que se termine la primera mitad del ciclo. Las manos del operador se mantienen suficientemente lejos para evitar que se pongan de manera accidental en la zona de peligro antes de que el vástago o cuchilla baje hasta la posición inferior.

- *Compuertas*: son dispositivos de control de seguridad que proporcionan una barrera móvil que protege al operador en el punto de operación antes de que se pueda iniciar el ciclo de la máquina. Suelen estar diseñadas para ser utilizadas con cada ciclo de la máquina. En la Figura 58.38 se muestra una compuerta en una prensa mecánica. Si no se permite que la compuerta descienda hasta cerrar por completo, la prensa no funciona. Otra aplicación de las compuertas es utilizarlas como sistema de protección perimetral, en cuyo caso proporcionan protección a los operadores y los transeúntes.

### Protección por posición o distancia

Para proteger una máquina por posición, la máquina o sus partes móviles peligrosas deben situarse de manera que no sean accesibles y no representen un peligro para el operador durante el funcionamiento normal de la máquina. Para ello, se utilizan encerramientos o vallas que limiten el acceso a las máquinas o se sitúan de manera que una parte de la instalación, (por ejemplo, una pared) proteja al trabajador y a otras personas. Otra posibilidad es situar los elementos peligrosos a suficiente altura para que estén fuera del alcance normal de cualquier trabajador. La aplicación de esta técnica de protección precisa de un análisis previo detallado de los peligros de cada máquina y su situación concreta. Los ejemplos que se mencionan a continuación son sólo unas cuantas de las numerosas aplicaciones del principio de protección por posición/distancia.

*Proceso de alimentación*. Es posible protegerlo por medio de la posición, manteniendo una distancia segura que proteja las manos del trabajador. Las dimensiones del material que se va a trabajar pueden proporcionar una seguridad adecuada. Por ejemplo, cuando se maneja una máquina perforadora de un solo

Figura 58.39 • Prensa mecánica con alimentación automática.

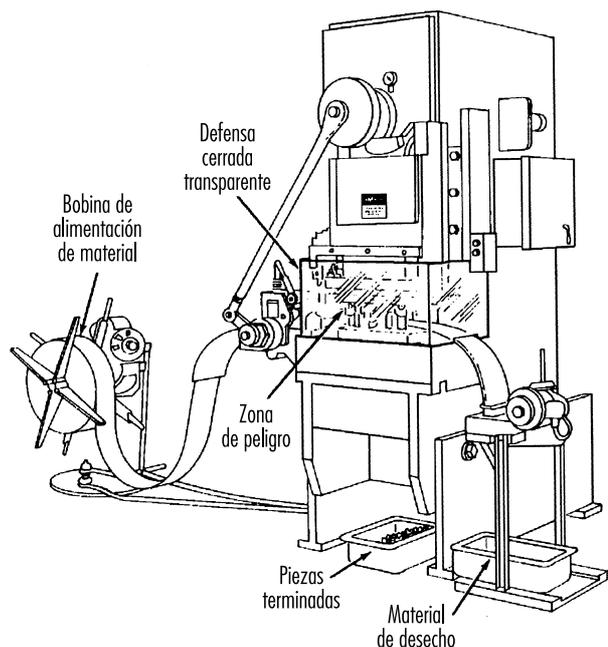


Tabla 58.4 • Métodos de alimentación y expulsión

Método	Acción de protección	Ventajas	Limitaciones
Alimentación automática	<ul style="list-style-type: none"> <li>El material se alimenta desde bobinas, clasificado por mecanismos de la máquina, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elimina la necesidad de intervención del operador en la zona de peligro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se necesitan también otras defensas para protección del operador, normalmente barreras fijas</li> <li>Requiere mantenimiento frecuente</li> <li>Puede no ser adaptable a variaciones en el material</li> </ul>
Alimentación semiautomática	<ul style="list-style-type: none"> <li>El material se alimenta mediante tolvas, troqueles móviles, discos de alimentación, émbolos o cabezales deslizantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elimina la necesidad de intervención del operador en la zona de peligro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se necesitan también otras defensas para protección del operador, normalmente barreras fijas</li> <li>Requiere mantenimiento frecuente</li> <li>Puede no ser adaptable a variaciones en el material</li> </ul>
Expulsión automática	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las piezas de trabajo se expulsan mediante medios mecánicos o neumáticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elimina la necesidad de intervención del operador en la zona de peligro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede crear un peligro por soplado de virutas o residuos</li> <li>El tamaño del material limita el uso de este método</li> <li>La expulsión por aire puede plantear un peligro de ruido</li> </ul>
Expulsión semiautomática	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las piezas de trabajo se expulsan por medios mecánicos iniciados por el operador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El operador no tiene que acceder a la zona de peligro para retirar las piezas terminadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se necesitan otras defensas para la protección del operador</li> <li>Puede no ser adaptable a variaciones en el material</li> </ul>
Robots	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizan trabajos hechos normalmente por operadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El operador no tiene que entrar en la zona de peligro</li> <li>Son adecuados para operaciones en las que hay importantes factores de estrés, como calor y ruido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pueden crear otros peligros propios</li> <li>Requieren el máximo mantenimiento</li> <li>Sólo son adecuados para operaciones específicas</li> </ul>

extremo, si el material tiene varios centímetros o decímetros de longitud y únicamente se trabaja en un extremo, el operador puede sujetar el extremo opuesto mientras se realiza el trabajo. Ahora bien, tal vez sea necesaria la protección para otras personas, según la máquina en cuestión.

**Controles de posición.** La situación de los controles del operador es un posible planteamiento de la protección por posición. Los controles del operador pueden situarse a una distancia segura de la máquina si no hay ninguna razón para que el operador esté junto a la máquina.

### **Métodos de protección de la alimentación y la expulsión**

Muchos métodos de alimentación y expulsión no requieren que los operadores coloquen las manos en la zona de peligro. En algunos casos, una vez preparada la máquina, el operario no interviene, mientras que en otros ha de alimentar manualmente el material con la ayuda de un mecanismo de alimentación. Además, los métodos de expulsión pueden diseñarse para que el operador no tenga que intervenir tras poner en marcha la máquina. Algunos métodos de alimentación y expulsión entrañan peligros por sí mismos: por ejemplo, un robot que haga innecesario que un operador esté cerca de la máquina, pero cree un nuevo peligro por el movimiento de su brazo (véase la Tabla 58.4).

El uso de uno de los cinco métodos siguientes de alimentación y expulsión para proteger las máquinas no elimina la necesidad

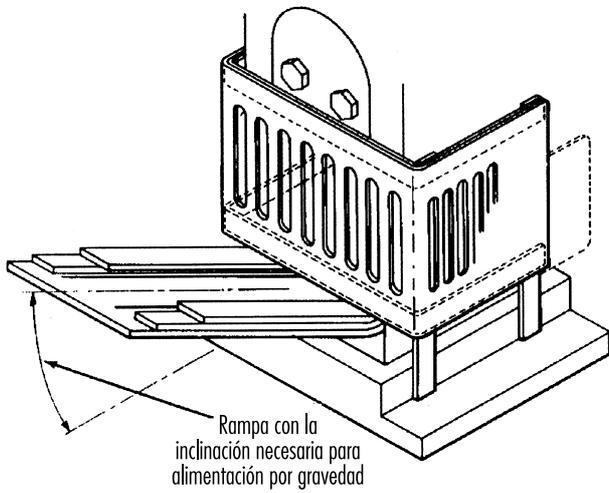
de defensas y otros dispositivos que deben usarse en la medida necesaria para evitar la exposición a riesgos.

**Alimentación automática.** La alimentación automática reduce la exposición del operador durante el proceso de trabajo y por lo común no precisa esfuerzo alguno por parte del operador después de preparar la máquina y ponerla en funcionamiento. La prensa mecánica de la Figura 58.39 tiene un mecanismo automático de alimentación con una defensa transparente colocada en la zona de peligro.

**Alimentación semiautomática.** Con la alimentación semiautomática, como es el caso de una prensa mecánica, el operador utiliza un mecanismo para colocar la pieza bajo el vástago en cada carrera, con lo que no entra en contacto con la zona de peligro, que se halla totalmente cerrada. En la Figura 58.40 se muestra una alimentación por rampa en la que cada pieza se coloca a mano. El uso de este tipo de alimentación por caída inclinada en una prensa no sólo ayuda a centrar la pieza mientras ésta se desplaza en el troquel, sino que además simplifica el problema de la expulsión.

**Expulsión automática.** Para retirar la pieza terminada de una prensa, que se enclava con los controles a fin de evitar el funcionamiento antes de que termine la expulsión, se utiliza aire comprimido o un aparato mecánico. El mecanismo de desplazamiento de la bandeja que se muestra en la Figura 58.41 se mueve bajo la pieza terminada mientras la resbaladera asciende a la posición superior. El mecanismo recoge entonces la pieza separada de la resbaladera por los pasadores de expulsión y la envía a una rampa. Cuando el vástago desciende hacia el

Figura 58.40 • Prensa mecánica con alimentación por rampa.



siguiente objetivo, la lanzadera de bandeja se retira de la zona del troquel.

**Expulsión semiautomática.** En la Figura 58.42 se muestra un mecanismo semiautomático de expulsión utilizado en una prensa mecánica. Cuando se retira el émbolo de la zona del troquel, la pata del eyector mecánicamente acoplada al émbolo, empuja hacia afuera la pieza terminada.

**Robots.** Son dispositivos complejos que cargan y descargan material, montan piezas, transfieren objetos o realizan trabajos que, de no ser así, tendría que hacerlos un operador, con lo cual éste no ha de correr riesgos. Se adaptan mejor a procesos de grandes volúmenes de producción con rutinas repetidas, donde protegen a los empleados de otros peligros. Los robots generan sus propios peligros, por lo que precisan las defensas adecuadas. En la Figura 58.43 se muestra a un robot alimentando una prensa.

**Otras ayudas de protección**

Se trata de ayudas que, sin proporcionar una protección completa frente a los peligros de las máquinas, ofrecen a los operadores un margen de seguridad adicional. Para su aplicación y uso es necesario utilizar el sentido común.

**Barreras de sensibilización.** No proporcionan protección física, pero sirven para recordar a los operadores que se están acercando a una zona de peligro. En general, estas barreras no se

Figura 58.41 • Sistema de expulsión por lanzadera.

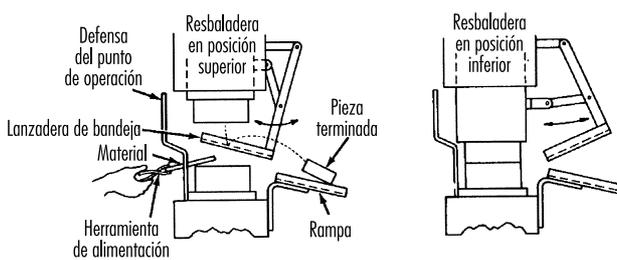


Figura 58.42 • Mecanismo semiautomático de expulsión.

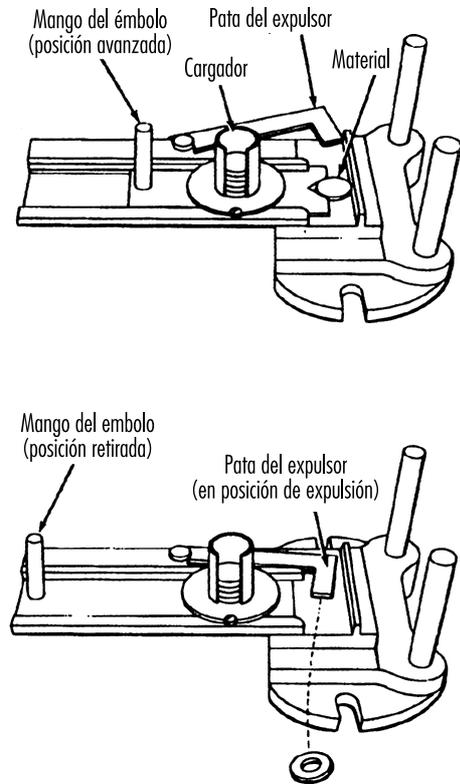


Figura 58.43 • Uso de barreras para proteger el recorrido del robot.

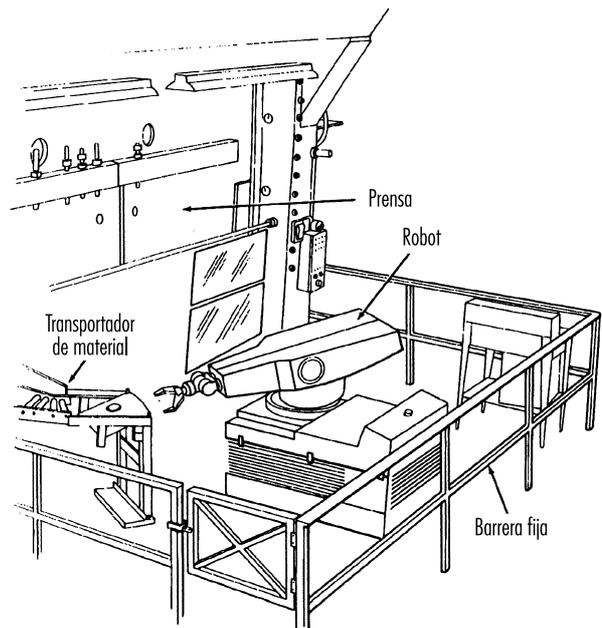
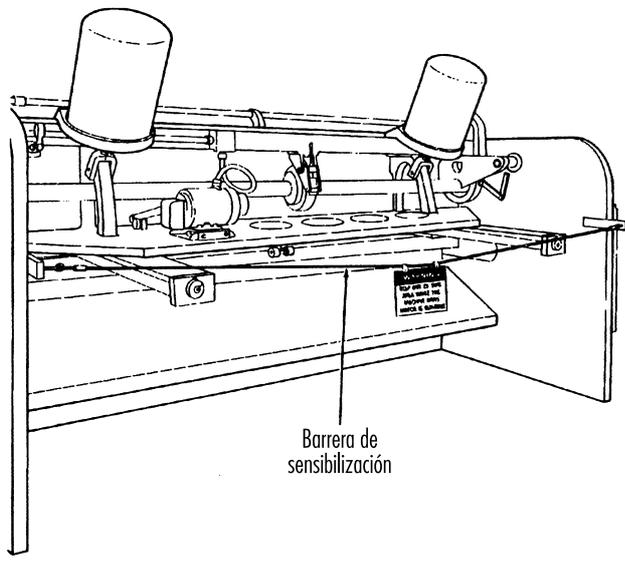


Figura 58.44 • Vista posterior de una cizalla.



consideran adecuadas cuando hay una exposición continua al peligro. En la Figura 58.44 se muestra una cuerda utilizada como barrera de sensibilización en la parte trasera de una cizalla. Las barreras de este tipo no impiden físicamente a las personas el acceso a zonas de peligro; simplemente sirven de advertencia.

**Escudos.** Los escudos o pantallas se utilizan como protección contra partículas proyectadas y salpicaduras de refrigerantes o líquidos de corte empleados en el trabajo de metales. En la Figura 58.45 se muestran dos posibles aplicaciones.

**Herramientas de sujeción.** Sirven para colocar y retirar piezas. Es común encontrarlas en el acceso a una prensa o plegadora. En la Figura 58.46 se muestran diversas herramientas para este fin. Las herramientas de sujeción no deben utilizarse en lugar de otras protecciones de las máquinas, ya que aquéllas son un mero suplemento de la función de éstas.

**Varillas o bloques de empuje.** Tal como se ilustra en la Figura 58.47, se utilizan para introducir material en un máquina, como una sierra de cuchilla. Cuando las manos se acercan a la cuchilla, la varilla o taco de empuje ofrece un margen de seguridad y evita lesiones.

Figura 58.45 • Aplicaciones de los escudos.

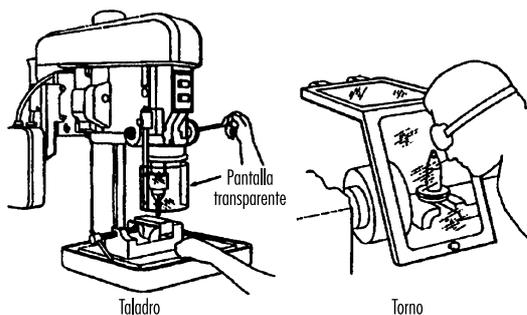


Figura 58.46 • Herramientas de sujeción.

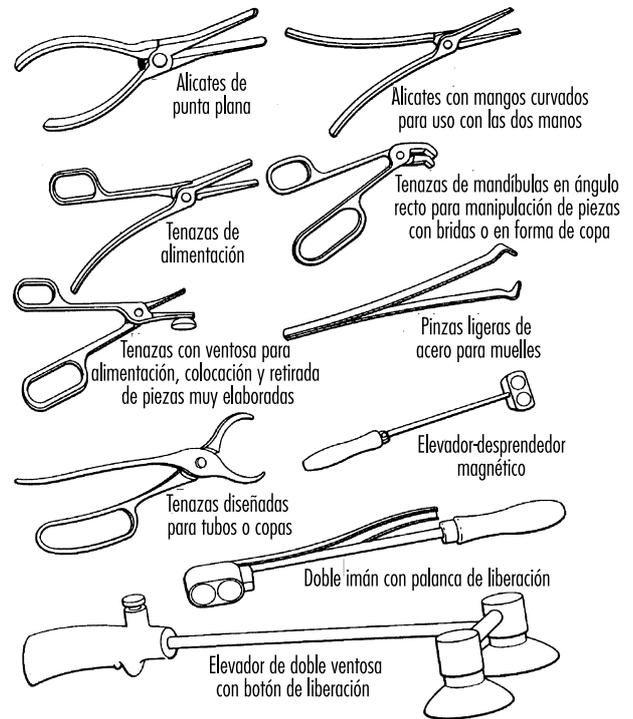
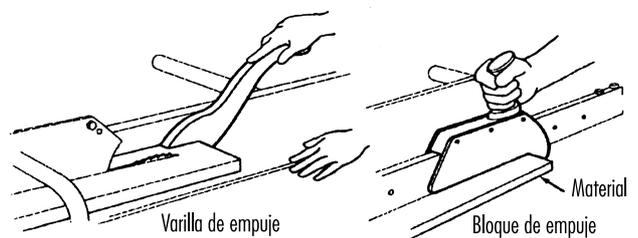


Figura 58.47 • Uso de varilla o bloque de empuje.



## DETECTORES DE PRESENCIA

Paul Schreiber

Los avances generales logrados en microelectrónica y tecnología de sensores fundamentan la esperanza de que pueda mejorarse la seguridad en el trabajo gracias a la disponibilidad de detectores de presencia y aproximación fiables, resistentes, baratos y que apenas requieren mantenimiento. En este artículo se describe la tecnología de los sensores, los distintos procedimientos de detección, las condiciones y limitaciones aplicables al uso de sistemas de sensores y algunos estudios y trabajos de normalización realizados en Alemania.

### Criterios para los detectores de presencia

El desarrollo y las pruebas prácticas de los detectores de presencia son uno de los mayores retos a los que habrán de responder los esfuerzos técnicos para mejorar la seguridad en el trabajo y la protección del personal en general. Los detectores de

*presencia* son sensores que indican con fiabilidad y certidumbre la *presencia cercana o aproximación de una persona*. Además, este aviso tiene que producirse rápidamente para poder aplicar una acción evasiva, como el frenado o la parada de una máquina estacionaria, antes de que se produzca el contacto previsto. La estatura, la postura y la vestimenta de la persona no deben afectar a la fiabilidad del sensor, cuyo funcionamiento debe ser certero. Por otra parte, debe ser resistente y barato para poder utilizarlo en las condiciones más difíciles, como en obras y aplicaciones móviles, con un mantenimiento mínimo. Los sensores tienen que ser como un airbag, que no precisa mantenimiento y está siempre dispuesto. Dado que algunos usuarios son reacios a mantener un equipo que no consideran esencial, los sensores pueden estar sin servicio durante años. Otra característica de los detectores de presencia (probablemente, mucho más solicitada) es que puedan detectar otros obstáculos además de las personas y que avisen con tiempo al operador para que adopte medidas defensivas, reduciendo así los costes de reparaciones y daños materiales. Es una razón para instalar detectores de presencia que no conviene subestimar.

### Aplicaciones de los detectores

Innumerables accidentes mortales y lesiones graves que parecen inevitables se podrían evitar o minimizar si los detectores de presencia gozaran de mayor aceptación como medidas preventivas en el campo de la seguridad en el trabajo. Es un tipo de accidente que suele ocupar con demasiada frecuencia las páginas de los periódicos: una persona alcanzada por el retroceso de una cargadora, un operador que no vio que las ruedas delanteras de una pala mecánica le pasaban por encima a alguien. Los camiones que se desplazan marcha atrás en calles, locales de empresas y obras causan muchos accidentes. Actualmente, en las empresas totalmente racionalizadas los conductores u otras personas ya no cuentan con acompañantes que guíen al conductor al retroceder con el camión. Se trata de accidentes producidos en situaciones de movimiento, que se extienden con facilidad a otros equipos móviles, como carretillas elevadoras. Desde luego, en el caso de equipos semimóviles o estacionarios también es aconsejable la utilización de sensores para evitar accidentes. Un ejemplo son las zonas situadas detrás de las grandes máquinas de carga, identificadas desde el punto de vista de la seguridad personal como zonas de peligro potencial que se pueden paliar con el uso de sensores baratos. Y existen otras muchas posibilidades innovadoras de utilización de los diferentes tipos de detectores de presencia existentes, adaptándolos a otros vehículos y grandes equipos móviles como protección contra los accidentes que se tratan en este artículo y que generalmente provocan daños materiales importantes y lesiones graves e incluso mortales.

Si ese tipo de soluciones innovadoras se generalizara, los detectores de presencia se convertirían en tecnología estándar de seguridad en otras aplicaciones, pero no ocurre así en todas partes. El mayor avance en este sentido está previsto que se produzca, debido a los accidentes y a los grandes daños materiales, en la supervisión de la parte situada detrás de las furgonetas de reparto y los camiones pesados y en las áreas más innovadoras de las "nuevas tecnologías": los robots móviles del futuro.

La diversidad de los campos de aplicación de los detectores de presencia y las diferentes tareas que pueden cumplir (por ejemplo, tolerar objetos, incluso objetos móviles en determinadas condiciones, que pertenezcan a un campo de detección y que no deben emitir una señal), requieren sensores con una tecnología de evaluación "inteligente" que apoye los mecanismos de la función del sensor. Tal tecnología, que será objeto de desarrollo futuro, puede elaborarse a partir de métodos

utilizados en el campo de la inteligencia artificial (Schreiber y Kuhn 1995). Hasta la fecha, la escasa generalización ha limitado mucho los usos actuales de los sensores. Hay cortinas de luz, barras de luz, alfombrillas de contacto, sensores pasivos de infrarrojos, detectores de movimiento por radar y ultrasonidos que se basan en el efecto Doppler, sensores que miden el tiempo transcurrido entre impulsos de ultrasonidos, radar y luz y escáneres de láser. Las cámaras normales de TV conectadas a monitores no se incluyen en esta lista porque no son detectores de presencia. Ahora bien, las cámaras que se activan automáticamente al detectar la presencia de una persona sí están incluidas.

### Tecnología de los sensores

Actualmente, los principales problemas de los sensores son: a) *optimizar el uso de los efectos físicos (infrarrojos, luz, ultrasonidos, radar, etc.)*, y b) *autosupervisión*. Se están desarrollando intensamente escáneres de láser para utilizarlos como instrumentos de navegación para robots móviles. Hay que solucionar para ello dos tareas distintas en principio: el movimiento del robot y la protección de las personas (y materiales o equipos presentes) para que no sean golpeadas, atropelladas o agarradas (Freund, Dierks y Rossman 1993). Los futuros robots móviles no podrán conservar la misma filosofía de seguridad de "separación espacial de robot y persona" que se aplica estrictamente a los actuales robots industriales estacionarios, con lo que se asigna un importante papel al funcionamiento fiable de los detectores de presencia.

El uso de "nuevas tecnologías" suele tener problemas de aceptación, por lo que es de prever que el uso generalizado por parte de las personas de robots móviles capaces de moverse y asir objetos, en una fábrica, en zonas abiertas al público o incluso en viviendas y zonas de recreo, sólo se aceptará si los robots van equipados con detectores de presencia de alto desarrollo, sofisticados y fiables. Hay que evitar, ante todo, los accidentes espectaculares para no exacerbar el posible problema de aceptación. El nivel actual de gastos para el desarrollo de este nuevo tipo de detectores de protección en el trabajo no es suficiente para tener en cuenta esta consideración. Para ahorrar costes, es necesario desarrollar y probar los detectores de presencia al mismo tiempo que los robots móviles y sistemas de navegación, y no después de ellos.

Respecto a los automóviles, los temas de seguridad han ido ganando importancia. Las innovaciones en materia de seguridad de los pasajeros incluyen: cinturones de seguridad con 3 puntos de anclaje, asientos para niños, airbags y sistema de frenos antibloqueo verificado mediante pruebas de choque en serie. Tales medidas de seguridad representan una parte cada vez mayor de los costes de producción. El airbag lateral y los sistemas de detección por radar para medir la distancia al vehículo precedente han supuesto un avance aún mayor en la protección de los pasajeros.

La seguridad externa de los automóviles, es decir, la protección de terceros, cada vez cobra mayor atención. No hace mucho se ha exigido la protección lateral, fundamentalmente en camiones, para evitar el riesgo de atropellar a motoristas, ciclistas y peatones con las ruedas traseras. El siguiente paso, lógicamente, sería supervisar la zona posterior a los grandes vehículos con detectores de presencia e instalar equipos de aviso en la zona posterior. Y ello supone otra ventaja: la de proporcionar la financiación necesaria para desarrollar, probar y fabricar sensores baratos de altas prestaciones, con autosupervisión, exentos de mantenimiento y con funcionamiento fiable, que podrían utilizarse para seguridad en el trabajo. El proceso de pruebas que acompaña a la difusión de sensores o sistemas de sensores facilitaría considerablemente las innovaciones en otras áreas, como palas mecánicas, cargadoras pesadas y otras grandes máquinas que funcionan marcha atrás una gran parte

del tiempo de trabajo. La evolución de los robots estacionarios a los móviles es una vía adicional para el desarrollo de detectores de presencia. Por ejemplo, pueden mejorarse los sensores utilizados actualmente en robots móviles, manipuladores de materiales o tractores de fábrica sin conductor que siguen trayectorias fijas y, por tanto, tienen requisitos de seguridad relativamente poco estrictos. El uso de detectores de presencia es el siguiente paso lógico para mejorar la seguridad en el campo del transporte de materiales y pasajeros.

### Procedimientos de detección

Para evaluar y solucionar las tareas anteriormente mencionadas hay varios principios físicos relacionados con las medidas electrónicas y los métodos de autosupervisión y, en cierta medida, los procedimientos informáticos de altas prestaciones. El funcionamiento seguro y aparentemente sin esfuerzo de las máquinas automatizadas (robots), tan corriente en las películas de ciencia ficción, probablemente se logrará en el mundo real mediante técnicas de creación de imágenes y de algoritmos de reconocimiento de patrones de alto rendimiento, junto con métodos de medidas de distancias análogos a los utilizados por los escáneres de láser. Es necesario reconocer la paradójica situación de que todo lo que parece sencillo para las personas es difícil para los autómatas. Por ejemplo, una tarea difícil, como una buena partida de ajedrez (que requiere una gran actividad del lóbulo frontal del cerebro) se puede simular y realizar más fácilmente mediante máquinas automatizadas que una tarea tan sencilla como caminar erguido o realizar movimientos de manos/ojos u otros movimientos coordinados (en los que intervienen los lóbulos centrales y posteriores). A continuación se describen algunos de estos principios, métodos y procedimientos válidos para aplicación de sensores. Además de estos, hay muchos procedimientos especiales para tareas específicas que se realizan en parte con una combinación de diversos tipos de efectos físicos.

**Cortinas y barras de luz.** Entre los primeros detectores de presencia estaban las barras y cortinas de luz. Poseen una geometría de supervisión plana: es decir, una vez que la persona pasa la barrera deja de ser detectada. La mano de un operador o la presencia de herramientas o piezas sostenidas por la mano de un operador, por ejemplo, los detectan con rapidez y fiabilidad estos dispositivos. Contribuyen en gran medida a la seguridad en el trabajo con máquinas (como prensas y máquinas perforadoras) que requieren la colocación del material a mano. La fiabilidad tiene que ser muy elevada estadísticamente porque la mano entra en la zona de peligro de dos a tres veces por minuto, lo que supone la realización de un millón de operaciones en unos pocos años. La autosupervisión de los componentes transmisores y receptores ha alcanzado tan altos niveles técnicos que se considera como una norma para todos los demás procedimientos de detección de presencia.

**Alfombrillas de contacto (alfombrillas interruptoras).** Hay alfombrillas y pisos de contacto eléctricos y neumáticos, pasivos o activos, utilizados en un principio masivamente para funciones de servicio (abridores de puertas), hasta que fueron sustituidos por detectores de movimiento. Con el uso de detectores de presencia en todo tipo de zonas de peligro se producen otros avances: por ejemplo, la evolución en la fabricación automatizada, en la que cambia la función del trabajador, que pasa de manejar la máquina a una mera supervisión de su funcionamiento, ha dado lugar a la demanda correspondiente de detectores adecuados. La normalización de su uso está muy avanzada (DIN 1995a) y las limitaciones especiales (disposición, tamaño, máximas zonas muertas permitidas) han exigido el desarrollo de conocimientos prácticos para la instalación en este campo de aplicación.

Los sistemas de robots múltiples controlados por ordenador llevan parejos otros posibles usos de interés. Un operador puede

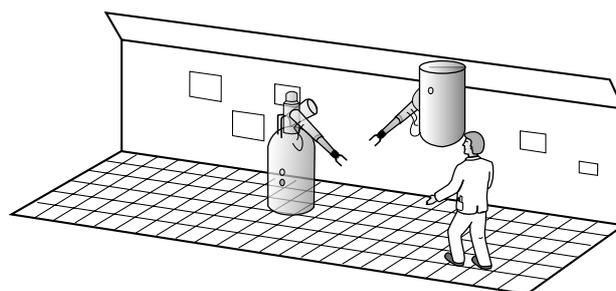
activar uno o dos elementos para que el detector de presencia determine su posición exacta e informe al ordenador, que gestiona los sistemas de control del robot con un sistema incorporado para evitar choques. En una prueba avanzada realizada por el instituto de seguridad alemán (BAU), se preparó un piso de alfombrillas de contacto formado por pequeñas alfombrillas de interruptores eléctricos debajo de la zona de trabajo del robot (Freund, Dierks y Rossman 1993). El detector de presencia tenía forma de tablero de ajedrez. La alfombrilla activada indicaba al ordenador la posición del operador (Figura 58.48), de manera que el robot se retiraba cuando el operador se aproximaba demasiado. Sin el detector de presencia, el sistema del robot no habría sido capaz de determinar la posición del operador que, por tanto, no habría tenido protección.

**Reflectores (sensores de movimiento y detectores de presencia).** A pesar de los méritos a los que hemos hecho alusión, los sensores no son detectores de presencia en su sentido más amplio. Su adecuación, fundamentalmente por razones de seguridad en el trabajo, a grandes vehículos y grandes equipos móviles presupone dos importantes características: a) la capacidad de supervisar una zona desde una posición, y b) el funcionamiento sin errores que no requiere medidas adicionales, como por ejemplo, el uso de dispositivos reflectores. La detección de la presencia de una persona que entra en la zona supervisada y que permanece parada hasta que se marcha supone también la necesidad de detectar una persona que permanezca totalmente quieta. Existe, pues, la distinción entre los llamados sensores de movimiento y los detectores de presencia, al menos por lo que se refiere a equipos móviles; los sensores de movimiento casi siempre se disparan cuando el vehículo comienza a moverse.

**Sensores de movimiento.** Los dos tipos básicos de sensores de movimiento son: a) "sensores pasivos por infrarrojos" (PIRS), que reaccionan ante el más pequeño cambio del haz de rayos infrarrojos en la zona supervisada (el haz más pequeño detectable tiene aproximadamente  $10^{-9}$  W con una longitud de onda comprendida entre 7 y 20  $\mu\text{m}$ ), y b) sensores de ultrasonidos y microondas que se basan en el efecto Doppler para determinar las características del movimiento de un objeto en función de los cambios de frecuencia. Por ejemplo, el efecto Doppler aumenta la frecuencia del silbato de una locomotora al aproximarse a un observador y la reduce al alejarse. El efecto Doppler hace posible la construcción de sensores de aproximación relativamente sencillos, ya que el receptor sólo tiene que supervisar la frecuencia de la señal de las bandas de frecuencia próximas para detectar la aparición de la frecuencia Doppler.

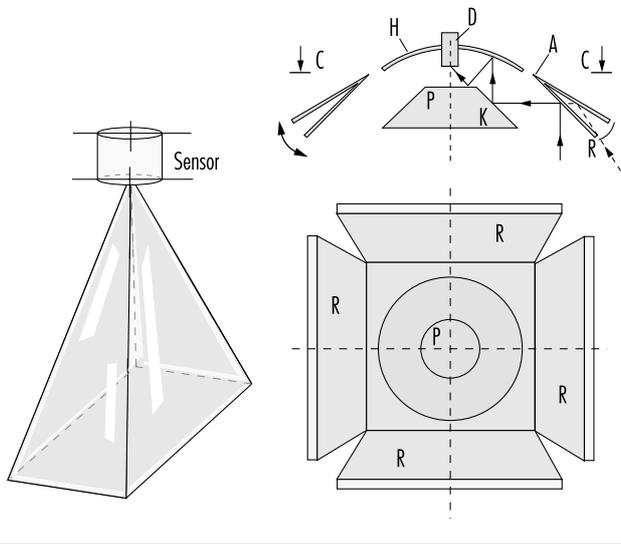
A mediados del decenio de 1970 se extendió el uso de detectores de movimiento en funciones de servicio, como apertura de puertas, seguridad contra robos y protección de objetos. Para uso estacionario, la detección de una persona que se aproxima hacia

Figura 58.48 • Una persona (a la derecha) y dos robots en cuerpos envolventes informatizados.



Fuente: Basado en Freund, Dierks y Rossman 1993.

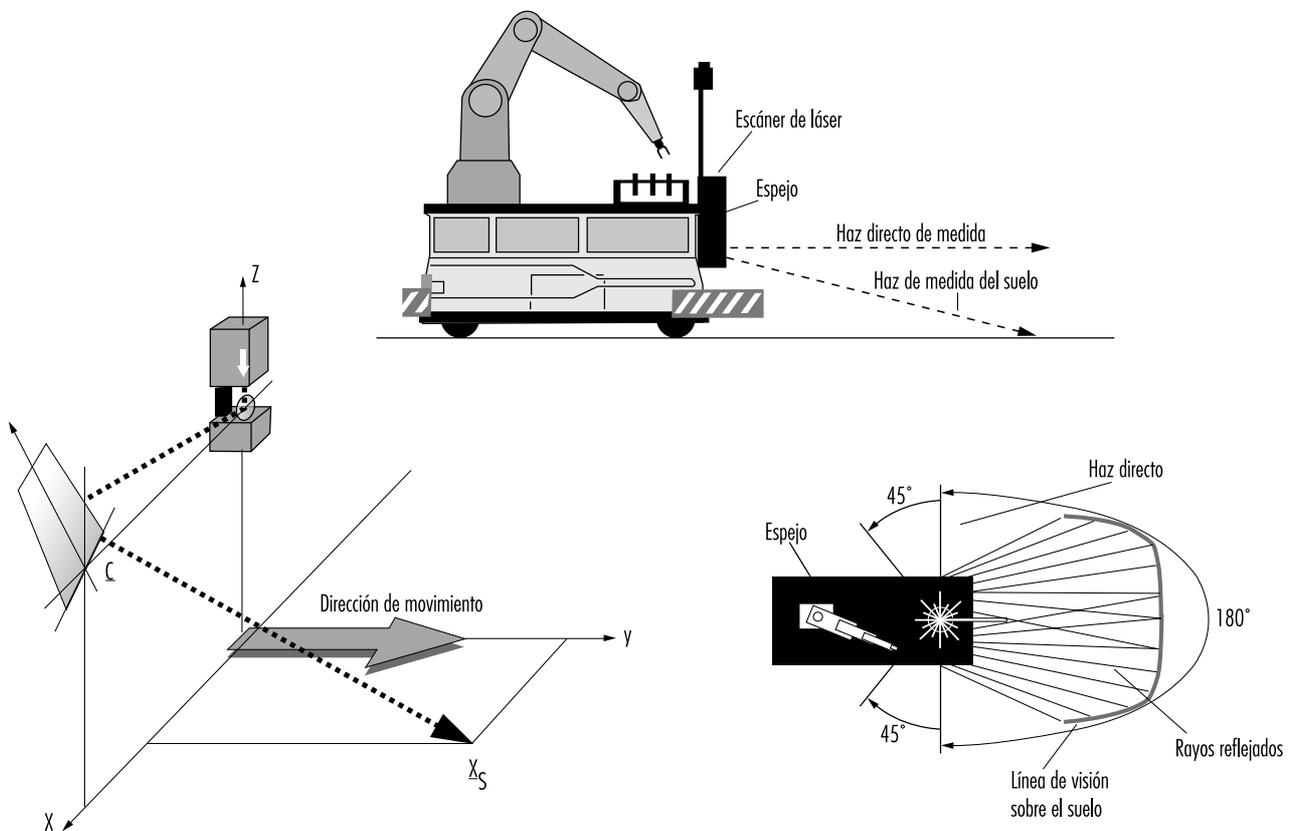
Figura 58.49 • Detector pasivo por infrarrojos como detector de aproximación en una zona de peligro.



un punto de peligro resultaba adecuada para dar un aviso oportuno y parar una máquina. En ello se basaron los estudios de adecuación de detectores de movimiento para su utilización en el campo de la seguridad en el trabajo, especialmente por medio de PIRS (Mester y cols. 1980). Debido a que una persona vestida tiene generalmente una temperatura más alta que su entorno (la cabeza: 34 °C, las manos: 31 °C), es más fácil detectar la aproximación de una persona que detectar objetos inanimados. Hasta cierto punto, las piezas de la máquina pueden moverse por la zona supervisada sin que se dispare el detector.

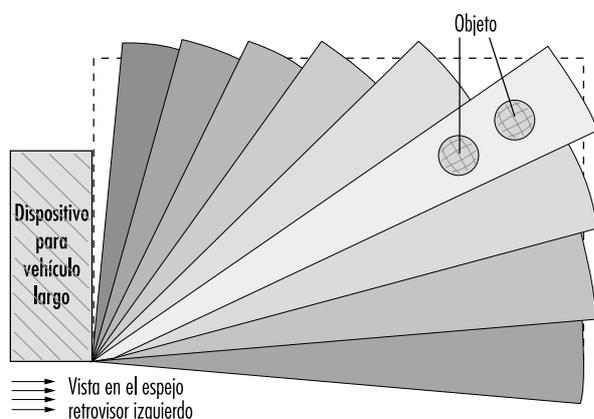
El método pasivo (sin transmisor) tiene ventajas e inconvenientes. La ventaja es que un PIRS no plantea problemas de ruido eléctrico. Es muy importante para la seguridad contra robos y protección de objetos que el detector no pueda localizarse fácilmente. Ahora bien, un sensor que sea exclusivamente un receptor difícilmente supervisa su propia eficacia, lo que es esencial para la seguridad en el trabajo. Para superar este inconveniente se probaron pequeños emisores de infrarrojos modulados (5 a 20 Hz) que se instalaban en la zona supervisada y que no disparaban el sensor, pero cuyos haces eran registrados por un equipo de amplificación electrónica fija ajustado a la frecuencia de modulación. Por esta modificación el sensor "pasivo" se convirtió en "activo". Así resultó también posible comprobar la exactitud geométrica de la zona supervisada. Los espejos pueden tener puntos ciegos y es posible que la intensa actividad en una fábrica desvíe la dirección de un sensor pasivo. En la Figura 58.49 se muestra una disposición de

Figura 58.50 • Robot móvil con escáner de láser para uso en desplazamiento y detección de presencia.



Fuente: Basado en Freund, Dierks y Rossman 1993.

Figura 58.51 • Disposición del cabezal de medida y zona vigilada en la parte lateral posterior de un camión.



Fuente: Basado en Langer y Kurfürst 1995.

prueba con un PIRS con una geometría de supervisión en forma de pirámide truncada. Debido a su gran alcance, los sensores pasivos por infrarrojos se instalan, por ejemplo, en los pasillos de zonas de almacenamiento en estanterías.

En conjunto, las pruebas demostraron que los detectores de movimiento no son adecuados para la seguridad en el trabajo. Un piso de museo por la noche no es comparable a las zonas de peligro de un puesto de trabajo.

**Detectores de ultrasonidos, radar e impulsos luminosos.** Los sensores que se basan en el principio impulso/eco, es decir, en medidas del tiempo transcurrido entre impulsos de ultrasonidos, de radar o luminosos, tienen un gran potencial como detectores de presencia. Con los escáneres de láser, los impulsos luminosos hacen barridos en rápida sucesión (normalmente en forma rotativa), por ejemplo, horizontalmente, y con la ayuda de un ordenador se obtiene un perfil de la distancia de los objetos en un plano que refleje la luz. Por ejemplo, si no se desea una sola línea, sino todo lo que se encuentra delante del robot móvil en una zona de una altura hasta 2 metros, es necesario procesar grandes cantidades de datos para obtener una imagen del área circundante. En el futuro, un detector de presencia "ideal" incluirá los dos procesos siguientes:

1. Se utilizará un proceso de reconocimiento de patrones formado por una cámara y un ordenador. El último puede ser también una "red neuronal".
2. Se requerirá además un proceso de exploración por láser para medir distancias; esto tiene que ver con el espacio tridimensional por encima de cierto número de puntos concretos seleccionados por el proceso de reconocimiento de patrones, establecido para obtener la distancia en función de la velocidad y la dirección.

En la Figura 58.50, basada en el proyecto citado anteriormente del BAU (Freund, Dierks y Rossman 1993), se muestra el uso de un escáner de láser en un robot móvil que también ejecuta tareas de desplazamiento (por medio de un haz de detección de la dirección) y de protección contra choques con objetos en la proximidad inmediata (a través de una haz de medida del suelo para detección de presencia). Dadas esas características, el robot móvil tiene capacidad para *conducción activa libre automatizada* (es decir, capacidad de rodear obstáculos). Técnicamente, esto se consigue utilizando la rotación de 45° del escáner hacia

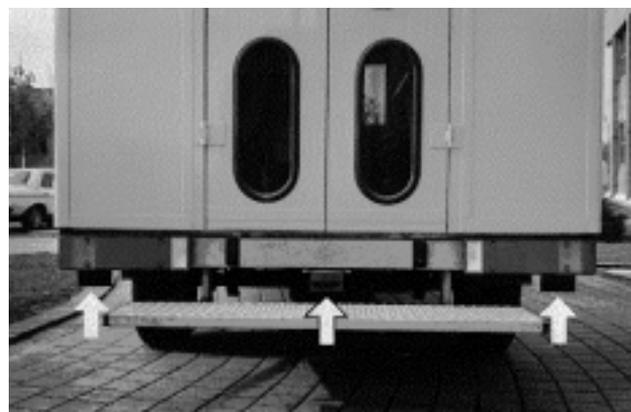
atrás por ambos lados (a babor y a estribor del robot), además del ángulo de 180° hacia el frente. Los haces se conectan por medio de un espejo especial que actúa como una cortina de luz en el piso situado delante del robot móvil (proporcionando una línea de visión del suelo). Si una reflexión del láser procede de ese punto, el robot se para. Aunque existen en el mercado escáneres de láser y de luz, homologados para su uso en el campo de la seguridad en el trabajo, estos detectores de presencia tienen un gran potencial para su desarrollo en el futuro.

Los sensores de ultrasonidos y radar que se basan en el tiempo transcurrido entre la señal y la respuesta para determinar la distancia son menos complicados técnicamente y, por tanto, más baratos. El área del sensor tiene forma de sector circular, con uno o más sectores laterales de tamaño menor dispuestos simétricamente. La velocidad de transmisión de la señal (sonido: 330 m/s; ondas electromagnéticas: 300.000 km/s) determina la velocidad necesaria de los dispositivos electrónicos utilizados.

**Dispositivos de aviso para la zona posterior al vehículo.** En la exposición de Hannover de 1985, el BAU mostró los resultados de un proyecto inicial sobre el uso de sensores de ultrasonidos para asegurar la zona posterior a los grandes vehículos (Langer y Kurfürst 1985). Se colocó una maqueta a escala natural del cabezal sensor fabricado con sensores Polaroid® en la pared trasera de un camión de reparto. En la Figura 58.51 se muestra esquemáticamente su funcionamiento. El gran diámetro de este sensor produce zonas de medida de largo alcance en forma de sectores de ángulo relativamente pequeño (aproximadamente 18°) adyacentes y ajustados para distintos alcances máximos de la señal. En la práctica, permite establecer cualquier geometría de supervisión, que los sensores exploran 4 veces por segundo aproximadamente para detectar la presencia o entrada de personas. Entre los sistemas de supervisión de la zona posterior al vehículo que se demostraron, había otros que tenían varios sensores dispuestos en paralelo.

Esta vívida demostración tuvo gran éxito en la exposición y puso de manifiesto que la seguridad en la zona posterior a los grandes vehículos y equipos era objeto de estudio en muchos lugares: por ejemplo, por parte de comités especializados para la industria y el comercio (*Berufsgenossenschaften*), de aseguradoras municipales de accidentes (responsables de los vehículos municipales), de inspectores oficiales de industrias y los fabricantes de sensores (quienes consideraban los automóviles principalmente como vehículos de servicio, es decir, se ocupaban más de asuntos como los sistemas de aparcamiento para protección de las

Figura 58.52 • Camión de tamaño medio equipado con dispositivo de aviso en la parte trasera (foto Microsonic).



carrocerías de los automóviles). A partir de los grupos se formó espontáneamente un comité ad hoc para fomentar los dispositivos de aviso en la zona posterior al vehículo, que adoptó como primera tarea la preparación de una lista de requisitos desde el punto de vista de la seguridad en el trabajo. En los diez años que han transcurrido, se ha trabajado mucho en la supervisión de la zona trasera, posiblemente la tarea más importante de los detectores de presencia, pero no se ha conseguido todavía ningún avance importante.

Se han realizado muchos proyectos con sensores de ultrasonidos, por ejemplo en grúas de clasificación de troncos, palas hidráulicas, vehículos municipales especiales y otros vehículos de servicio, así como en carretillas elevadoras y cargadoras (Schreiber 1990). Los dispositivos de aviso de la zona posterior al vehículo son especialmente importantes para grandes máquinas que funcionan marcha atrás gran parte del tiempo. Por ejemplo, se utilizan detectores de presencia ultrasónicos para la protección de diversos vehículos especiales sin conductor, como robots de manipulación de materiales. En comparación con los para choques de goma, estos sensores cubren una zona de detección mayor, lo que permite el frenado antes de que se produzca contacto entre máquina y objeto. Los sensores de este tipo para automóviles son útiles y los requisitos que han de cumplir son mucho menos estrictos.

Entre tanto, el Comité de Normas Técnicas de Sistemas de Transporte de DIN preparó la norma 75031, "Dispositivos de detección de obstáculos durante la marcha atrás" (DIN 1995b). Se establecieron requisitos y pruebas para dos alcances: 1,8 m para camionetas de reparto y 3,0 m —una zona adicional de aviso— para camiones más grandes. La zona supervisada se establece mediante el reconocimiento de cuerpos de prueba cilíndricos. El alcance de 3 m también responde al límite técnicamente posible hoy día, ya que los sensores ultrasónicos tienen que tener membranas metálicas cerradas, dadas las duras condiciones de trabajo. Así mismo se están estableciendo los requisitos para la autosupervisión del sistema de sensores, ya que la geometría de supervisión sólo se logra con 3 o más sensores. En la Figura 58.52 se muestra un dispositivo de aviso para la zona posterior al vehículo, formado por 3 sensores ultrasónicos (Microsonic GmbH 1996). Lo mismo puede decirse del dispositivo de comunicación en la cabina del conductor y del tipo de señal de aviso. El contenido de la norma DIN 75031 está recogido también en el informe técnico internacional ISO TR 12155, "Vehículos comerciales—Dispositivos de detección de obstáculos durante la marcha atrás" (ISO 1994). Varios fabricantes de sensores han desarrollado prototipos basándose en esta norma.

### Conclusiones

Desde comienzos del decenio de 1970, varias instituciones y fabricantes de sensores han estado trabajando para desarrollar y elaborar "detectores de presencia". La norma DIN 75031 y el informe ISO TR 12155 se hallan en la aplicación especial de dispositivos de aviso para la zona posterior a los vehículos. Actualmente, Deutsche Post AG está realizando una prueba importante. Varios fabricantes de sensores han equipado cada uno 5 camiones de tamaño medio con estos dispositivos. Si la prueba tiene éxito, beneficiaría mucho los intereses de la seguridad en el trabajo. Como se ha subrayado al principio, contar con un número suficiente de detectores de presencia es un reto difícil para la tecnología de la seguridad en los numerosos campos de aplicación mencionados. Por tanto, si deseamos que los daños en equipos y materiales y, sobre todo, las lesiones personales pasen a ser un recuerdo del pasado, el coste de fabricación ha de ser bajo.

## DISPOSITIVOS PARA CONTROLAR, AISLAR Y CONMUTAR ENERGIA

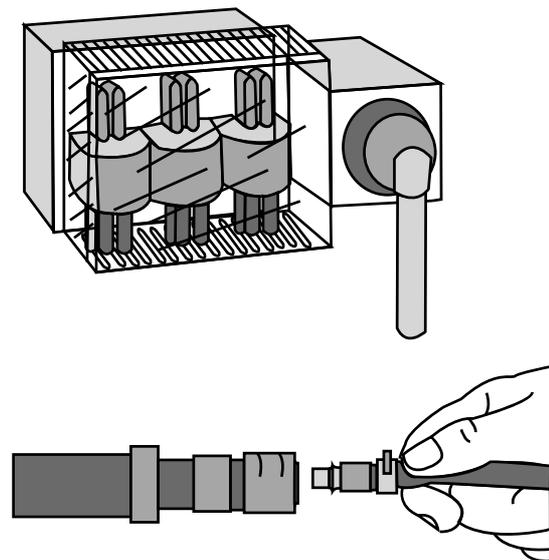
René Troxler

Los dispositivos de control y los utilizados para aislamiento y conmutación siempre se estudian en relación con los *sistemas técnicos*, término utilizado en este artículo que incluye máquinas, instalaciones y equipos. Todo sistema técnico ejecuta una tarea práctica específica que le ha sido asignada. Para que ésta sea realizable o incluso posible en condiciones de seguridad son necesarios unos dispositivos de conmutación y control de la seguridad apropiados, que se utilizan para iniciar, controlar, interrumpir o retardar la corriente así como los impulsos eléctricos, hidráulicos, neumáticos y también de energías potenciales.

### Aislamiento y reducción de la energía

Los dispositivos de aislamiento se utilizan para aislar el sistema técnico de la fuente de energía mediante la desconexión de la línea de alimentación entre la fuente y el sistema. Por lo común, el dispositivo tiene que desconectar realmente la fuente de energía de manera inequívoca, lo que ha de ir siempre acompañado de una reducción de la energía almacenada en todas las partes del sistema técnico. Si son varias las fuentes de energía que lo alimentan, todas las líneas deben poder cortarse de manera fiable. Las personas formadas para manipular cada uno de los tipos de energía en cuestión, cuyo trabajo está relacionado con la alimentación del sistema técnico, utilizan dispositivos de aislamiento para protegerse de los peligros de la energía. Por razones de seguridad, estas personas tienen que cerciorarse siempre de que en el sistema técnico no queda energía residual potencialmente peligrosa; por ejemplo, determinando la ausencia de potencial eléctrico en el caso de la energía eléctrica. Hay determinados dispositivos de aislamiento que sólo pueden ser manipulados sin riesgo por técnicos debidamente formados, en cuyo caso las personas que no tengan autorización no podrán tener acceso a los dispositivos de aislamiento (véase la Figura 58.53).

Figura 58.53 • Principios de los dispositivos de aislamiento eléctricos y neumáticos.



### El interruptor maestro

Un interruptor maestro desconecta el sistema técnico de la fuente de energía. A diferencia del dispositivo de aislamiento, puede ser accionado sin peligro por personas que no son especialistas en materia de energía. El interruptor maestro se utiliza para desconectar sistemas técnicos que no están en uso en un momento dado en casos como, por ejemplo, que su funcionamiento se vea impedido por terceros no autorizados. Se emplea también para hacer la desconexión en tareas como el mantenimiento, la reparación, la limpieza, el reajuste y el recambio, siempre que estos trabajos puedan hacerse sin energía en el sistema. Naturalmente, cuando un interruptor maestro tiene también las características de un dispositivo de aislamiento, cumple asimismo esta función y/o la comparte (véase la Figura 58.54).

### Dispositivo de desconexión de seguridad

Un dispositivo de desconexión de seguridad no desconecta de la fuente de energía la totalidad del sistema técnico, sino que corta la alimentación a las partes del sistema que son críticas para un subsistema operativo concreto. Es posible aplicar intervenciones de corta duración en subsistemas operativos, por ejemplo, para la configuración o reajuste/recambio de elementos del sistema, para la reparación de averías, para la limpieza habitual y para movimientos designados y secuencias de funciones esenciales necesarios durante la configuración, el reajuste/recambio de elementos o las pruebas de funcionamiento. Los equipos e instalaciones de producción complejos no se desconectan en estos casos con un simple interruptor maestro, ya que es posible que el sistema técnico completo no pueda volver a ponerse en marcha en el punto donde se interrumpió tras la reparación de una avería. Por otra parte, en la mayoría de los sistemas técnicos el interruptor maestro no está situado en el lugar donde se tiene que intervenir. Por tanto, un dispositivo de desconexión de seguridad tiene que cumplir ciertos requisitos, como los siguientes:

- Interrumpir el flujo de energía de manera fiable y de modo que si se introducen o se envían señales de control erróneas, éstas no puedan originar movimientos o procesos peligrosos.
- Estar instalado precisamente donde tengan que producirse interrupciones en zonas de peligro de subsistemas operativos del sistema técnico. Si fuera necesario, se instala en varios

Figura 58.54 • Ejemplos de dispositivos de interruptores maestros eléctricos y neumáticos.

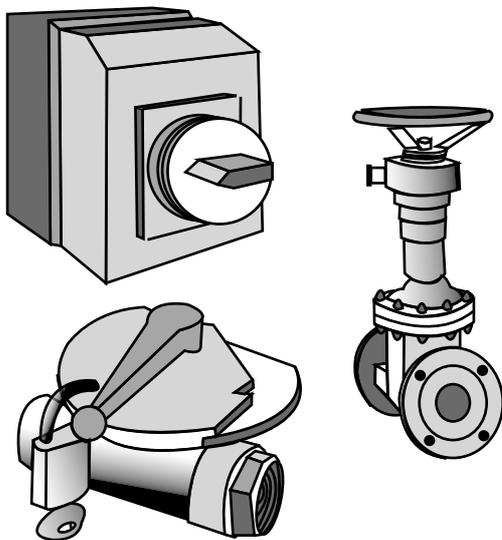


Figura 58.55 • Ilustración de principios elementales de un dispositivo de desconexión de seguridad.



lugares (por ejemplo, en varios pisos, en varias salas o en varios puntos de acceso a máquinas o equipos).

- Su dispositivo de control ha de tener claramente marcada la posición de desconexión, que se activa sólo una vez después de cortado de forma fiable el flujo de energía.
- Una vez en la posición de desconexión, el dispositivo de control tiene que poder bloquearse para impedir la puesta en marcha sin autorización: *a)* si hay zonas de peligro que no se pueden supervisar de forma fiable desde la zona del control; *b)* si las personas situadas en la zona de peligro no pueden ver fácil y permanentemente el dispositivo de control, o *c)* si el bloqueo o la señalización de desconexión son obligatorios por reglamento o procedimiento de organización.
- Si el sistema técnico es amplio y se necesita que otras unidades funcionales continúen su labor independientemente, deberá poder desconectar sólo una unidad funcional sin peligro para la persona que realice la intervención

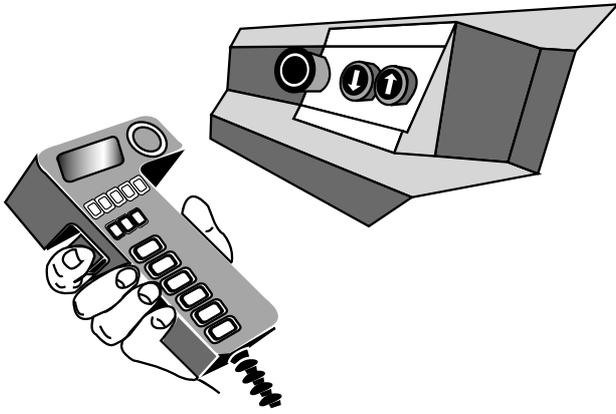
Si el interruptor maestro utilizado en un sistema técnico dado cumple todos los requisitos de un dispositivo de desconexión de seguridad, también cumple esta función, aunque no cabe duda de que es un método fiable exclusivamente en sistemas técnicos muy sencillos (véase la Figura 58.55).

### Equipos de control para subsistemas operativos

Permiten realizar los movimientos y las secuencias funcionales que se necesitan para aplicar y controlar de manera segura los subsistemas operativos del sistema técnico. Los equipos de control para subsistemas operativos se utilizan para tareas de configuración (cuando se hacen pruebas de funcionamiento), regulación (cuando es necesario reparar fallos de funcionamiento del sistema o eliminar obstrucciones) o formación (operaciones de demostración). En tales casos, el funcionamiento del sistema no puede reanudarse sin más, ya que los movimientos y procesos que generan las señales de control introducidas o emitidas erróneamente entrañan riesgos para la persona en cuestión. Un equipo de control para subsistemas operativos tiene que cumplir los siguientes requisitos:

- Debe permitir que los movimientos y procesos necesarios para los subsistemas operativos del sistema técnico se hagan de

Figura 58.56 • Dispositivos actuadores en los equipos de control para subsistemas operativos móviles y estacionarios.



forma segura. Por ejemplo, ciertos movimientos se realizarán a velocidad reducida, gradualmente o con poca potencia (según los casos) y, como regla general, los procesos se interrumpirán inmediatamente si el panel de control deja de estar atendido.

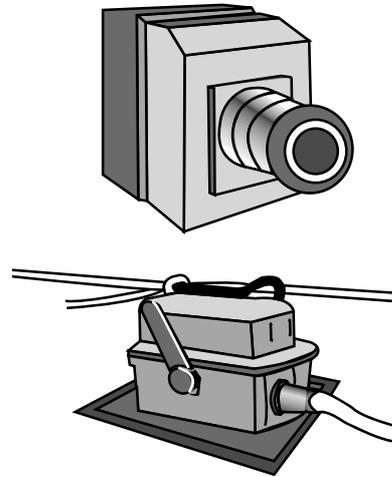
- Sus paneles de control han de estar situados en zonas que no entrañen peligro para el operador que los maneja y desde las cuales éste pueda ver perfectamente los procesos controlados.
- Si hay varios paneles de control de distintos procesos en un mismo sitio, deberán estar claramente marcados y dispuestos de manera que se diferencien y sea imposible confundirlos.
- Sólo deberá activarse cuando se tenga la certeza de que el funcionamiento normal está desactivado, es decir, cuando sea imposible que se emita ninguna orden de control de funcionamiento normal que pueda anular el equipo de control.
- Debe ser posible evitar el uso no autorizado del equipo de control para subsistemas operativos, por ejemplo, haciendo necesario el uso de una clave o código especial para ejecutar la función en cuestión (véase la Figura 58.56).

### El interruptor de emergencia

Los interruptores de emergencia son necesarios cuando el funcionamiento normal de los sistemas técnicos entraña peligros inevitables a pesar de contar con un diseño adecuado del sistema y de adoptar las debidas medidas de precaución. En los subsistemas operativos, el interruptor de emergencia suele formar parte del equipo de control del sistema operativo. Cuando se activa en caso de peligro, origina procesos que restablecen la seguridad en el funcionamiento del sistema técnico con la mayor rapidez posible. En cuanto a las prioridades en materia de seguridad, la protección de las personas ocupa el primer lugar, seguida por los daños materiales, a menos que estos últimos supongan también peligros para las personas. El interruptor de emergencia tiene que cumplir los siguientes requisitos:

- Debe restablecer lo antes posible la seguridad en el funcionamiento del sistema técnico.
- Su panel de control tiene que ser fácilmente reconocible y estar diseñado y colocado de tal manera que pueda ser utilizado por personas que se hallen en peligro y esté al alcance de otras que respondan a la emergencia.
- Los procesos de emergencia puestos en marcha no deben determinar la aparición de nuevos peligros; por ejemplo, no deben liberar dispositivos de sujeción, desconectar aparatos magnéticos de retención o bloquear dispositivos de seguridad.

Figura 58.57 • Ilustración de los principios de paneles de control en interruptores de emergencia.



- Una vez iniciado un proceso por el interruptor de emergencia, el sistema técnico no debe poder ponerse en marcha automáticamente mediante el rearre del panel de control del interruptor de emergencia. Por el contrario, debe ser necesaria la introducción voluntaria de una nueva orden de control de la función (véase la Figura 58.57).

### Dispositivos de control de los interruptores de funciones

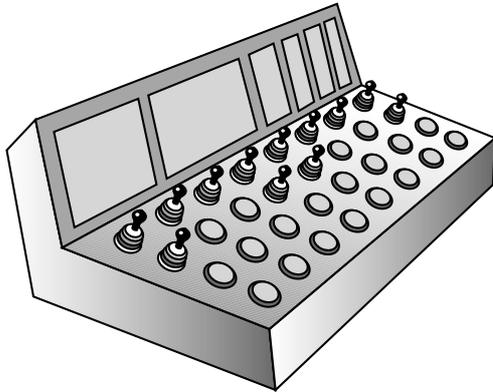
Se utilizan para poner en marcha el sistema técnico para el funcionamiento normal y para iniciar, ejecutar e interrumpir los procesos y movimientos correspondientes al funcionamiento normal. Son dispositivos que se emplean exclusivamente en el transcurso del funcionamiento normal del sistema técnico, es decir, durante la ejecución sin perturbaciones de todas las funciones asignadas. En consecuencia, los utilizan las personas que controlan el sistema técnico. Los dispositivos de control de los interruptores de funciones han de cumplir los siguientes requisitos:

- Sus paneles de control deben ser accesibles y fáciles de utilizar sin peligro.
- Sus paneles de control tienen que estar dispuestos de forma clara y racional. Por ejemplo, los botones de control tienen que funcionar "racionalmente" en relación con los movimientos de arriba, abajo, izquierda y derecha. (Los movimientos controlados "rationales" y sus efectos correspondientes están sujetos a variaciones locales y a veces se definen por estipulación).
- Sus paneles de control tienen que estar etiquetados de forma clara e inteligible con símbolos de fácil comprensión.
- Los procesos que requieran concentración por parte del operador para que su ejecución sea segura no deberán poder dispararse por señales de control generadas erróneamente o por el accionamiento inadvertido de los dispositivos de control que los rigen. El procesamiento de las señales del panel de control tiene que ser suficientemente fiable y el accionamiento involuntario se tiene que impedir mediante un diseño adecuado del dispositivo de control (véase la Figura 58.58).

### Interruptores de supervisión

Los interruptores de supervisión impiden la puesta en marcha del sistema técnico mientras no se cumplen las condiciones de seguridad previstas e interrumpen el funcionamiento tan pronto como

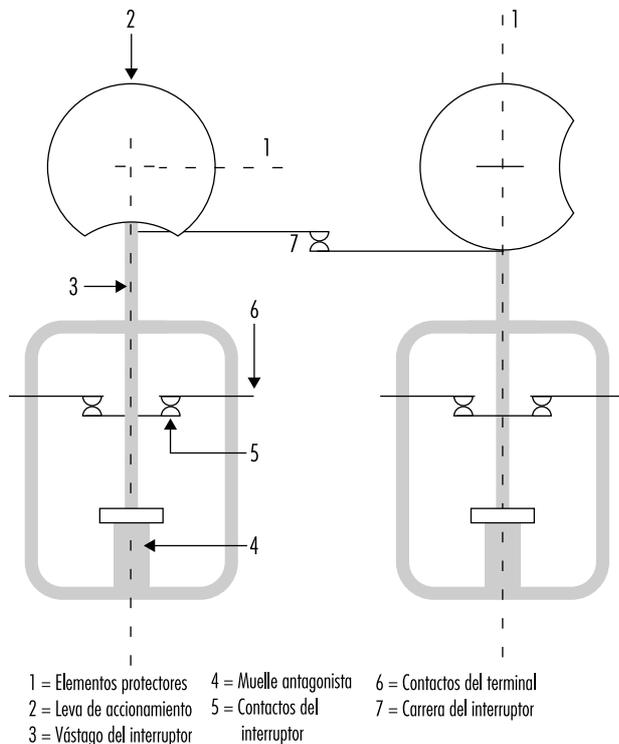
Figura 58.58 • Representación esquemática de un panel de control de operaciones.



deje de cumplirse una de las condiciones. Se utilizan, por ejemplo, para vigilar puertas de compartimientos de protección, para comprobar la posición correcta de las defensas o para asegurar que no se superan los límites de velocidad o de recorrido. Por consiguiente, los interruptores de supervisión tienen que cumplir los siguientes requisitos de fiabilidad y seguridad:

- El equipo de interrupción utilizado para supervisión tiene que emitir la señal protectora de una manera especialmente fiable; por ejemplo, diseñándolo para interrumpir el paso del flujo de señales automáticamente y con especial fiabilidad.
- La herramienta de conmutación utilizada a efectos de supervisión debe poder accionarse de una manera especialmente

Figura 58.59 • Esquema de un interruptor con funcionamiento mecánico positivo y desconexión positiva.



fiable cuando no se cumpla la condición de seguridad (por ejemplo, cuando se obliga al vástago de un interruptor de supervisión con interrupción automática a pasar mecánica y automáticamente a la posición de interrupción).

- Debe ser imposible desactivar incorrectamente el interruptor de supervisión, al menos no podrá hacerse si no es deliberadamente y con un cierto esfuerzo. Es una condición que cumple, por ejemplo, un interruptor mecánico controlado automáticamente con interrupción automática, cuando el interruptor y el elemento de accionamiento están montados de forma segura (véase la Figura 58.59).

### Circuitos de control de seguridad

Varios de los dispositivos de conmutación de seguridad descritos anteriormente no ejecutan directamente la función de seguridad, sino que emiten una señal que es procesada y transmitida por un circuito de control de seguridad, que llega finalmente a las partes del sistema técnico que ejecutan realmente la función de seguridad. Por ejemplo, el dispositivo de desconexión de seguridad origina frecuentemente la interrupción de la alimentación de energía en puntos críticos de manera indirecta, mientras que es un interruptor principal el que suele desconectar directamente la alimentación de corriente al sistema técnico.

Debido a que los circuitos de control de seguridad tienen que transmitir señales de manera fiable, deben tenerse en cuenta los siguientes principios:

- La seguridad debe estar garantizada cuando la energía exterior falta o es insuficiente, por ejemplo, durante desconexiones o fugas.
- Las señales de protección funcionan con más fiabilidad por interrupción del flujo de señales, como es el caso de los interruptores de seguridad con contactos de apertura o de un contacto de relé abierto.
- La función de seguridad de amplificadores, transformadores y similares resulta más fiable sin energía exterior. Entre estos mecanismos se incluyen, por ejemplo, los dispositivos electromagnéticos de conmutación o las purgas que están cerrados en posición de reposo.
- Es inadmisibles que haya conexiones erróneas y fugas en el circuito de control de seguridad, que originen falsos arranques o entorpezcan la parada, especialmente en los casos de cortocircuito entre conductores de entrada y salida, fugas a tierra y cortocircuitos a tierra.
- Las influencias exteriores que afecten al sistema sin superar las expectativas del usuario no deben interferir con la función de seguridad del circuito de control de seguridad.

Los componentes utilizados en los circuitos de control de seguridad tienen que ejecutar la función de seguridad de una manera especialmente fiable. Las funciones de los componentes que no cumplan este requisito se lograrán disponiendo una redundancia lo más diversificada posible y se someterán a supervisión.

## APLICACIONES RELACIONADAS CON LA SEGURIDAD

*Dietmar Reinert y Karlheinz Meffert*

En los últimos años, los microprocesadores han pasado a desempeñar un papel cada vez más importante en el campo de la tecnología de la seguridad. Debido a que existen ordenadores completos (es decir, unidad de procesamiento central, memoria y periféricos) disponibles en un solo componente, "ordenadores de un solo chip", la tecnología de ordenadores se está utilizando no

sólo para el control de máquinas complejas, sino también para la protección de elementos relativamente sencillos (por ejemplo, rejillas de luz, dispositivos de control de dos manos y límites de seguridad). El software que controla estos sistemas comprende entre mil y varias decenas de miles de órdenes individuales y normalmente consta de varios cientos de derivaciones del programa. Los programas funcionan en tiempo real y se escriben sobre todo en el lenguaje de ensamblador de los programadores.

La introducción de sistemas controlados por ordenador en el campo de la tecnología de la seguridad ha ido acompañada en todos los equipos técnicos a gran escala, no sólo de proyectos de investigación y desarrollo caros, sino también de importantes limitaciones pensadas para mejorar la seguridad. (Las tecnologías aeroespacial, militar y de centrales nucleares se pueden citar como ejemplos de aplicaciones a gran escala). El campo colectivo de la fabricación industrial en serie se ha tratado hasta ahora de una forma muy limitada, en parte porque los rápidos ciclos de innovación característicos del diseño de máquinas industriales dificultan la transmisión, salvo excepciones, de los conocimientos que pueden obtenerse de los proyectos de investigación relacionados con las pruebas finales de dispositivos de seguridad a gran escala. Esto convierte el desarrollo de procedimientos de evaluación rápidos y económicos en un desiderátum (Reinert y Reuss 1991).

En este artículo se analizan en primer lugar las máquinas e instalaciones donde los sistemas informáticos ejecutan actualmente tareas de seguridad, examinando ejemplos de accidentes que se producen fundamentalmente en la zona de las defensas de las máquinas, para ilustrar el papel especial que desempeñan los ordenadores en la tecnología de seguridad. Estos accidentes sirven para llamar la atención sobre las precauciones que deben adoptarse, evitando así que el uso de los equipos de seguridad controlados por ordenador, cada vez más extendido actualmente, haga aumentar del número de accidentes. La sección final del artículo esboza un procedimiento que permitirá que hasta los pequeños sistemas informáticos se lleven hasta un nivel adecuado de seguridad técnica, a un coste justificable y en un período de tiempo aceptable. Los principios indicados en esta parte final se están introduciendo actualmente en procedimientos internacionales de normalización y afectarán a todas las áreas de tecnología de seguridad en las que tengan aplicación los ordenadores.

### Ejemplos del uso de software y ordenadores en el campo de las protecciones de máquinas

Los cuatro ejemplos siguientes indican claramente que el software y los ordenadores se están utilizando cada vez más con fines de seguridad en el campo comercial.

Las instalaciones de señalización de emergencias personales constan, por regla general, de una estación receptora central y de cierto número de dispositivos de señalización de emergencia personal. Los dispositivos los llevan personas que trabajan independientemente. Si cualquiera de estas personas se encuentra en una situación de emergencia, puede utilizar el dispositivo para disparar una alarma mediante una señal de radio en la estación receptora central. El disparo de una alarma a voluntad puede complementarse con un mecanismo de disparo independiente de la voluntad activado por sensores que los dispositivos de emergencia personal llevan incorporados. Tanto los dispositivos personales como la estación receptora central suelen controlarse mediante microordenadores. Cabe la posibilidad un fallo en funciones específicas individuales del ordenador incorporado, que puede conducir, en caso de emergencia, a que no se dispare la alarma. Por tanto, deben adoptarse precauciones para detectar y solucionar oportunamente el incumplimiento de la función en cuestión.

Las prensas utilizadas actualmente para la impresión de revistas son máquinas de gran tamaño. Es otra máquina la que suele preparar las bobinas de papel de modo que el paso a una nueva bobina de papel se hace sin discontinuidades. Una máquina plegadora dobla las páginas impresas, que pasan posteriormente a través de otra serie de máquinas en cadena. Al final del proceso, las revistas completas y ya cosidas se apilan en pallets. Aunque estos equipos están automatizados, hay dos puntos en los que se precisa intervención manual: *a)* en el paso del papel de una trayectoria a otra, y *b)* en la eliminación de las obstrucciones debidas a trozos de papel en puntos de peligro de rodillos rotativos. Por esta razón se debe disponer de una modalidad de funcionamiento a velocidad reducida o por pequeños saltos proporcionado por las tecnologías de control, mientras se está haciendo el ajuste de la prensa. Debido a la complejidad de los procedimientos de control que intervienen, cada estación de impresión individual tiene que estar equipada con su propio controlador lógico programable. Debe evitarse que cualquier fallo que se produzca en un equipo de impresión mientras están abiertas las defensas, conduzca a la puesta en marcha inesperada de una máquina parada o al funcionamiento por encima de la velocidad reducida apropiada.

En grandes fábricas y almacenes hay vehículos robot sin conductor guiados automáticamente que se desplazan por pistas marcadas especialmente. Cualquier persona puede cruzar las pistas en cualquier momento, o se pueden dejar en las mismas inadvertidamente equipos o materiales, ya que no están separadas estructuralmente de las demás líneas de tráfico. Por esta razón es necesario utilizar algún tipo de prevención de choques para asegurar la detención del vehículo antes de que se produzca un choque peligroso contra una persona u objeto. En las aplicaciones más recientes, la prevención de choques se realiza mediante escáneres ultrasónicos o de láser utilizados en combinación con un parachoques de seguridad. Puesto que el funcionamiento de estos sistemas lo controla un ordenador, es posible configurar varias zonas permanentes de detección para que un vehículo pueda modificar su reacción en función de la zona de detección específica en la cual está situada una persona. Los fallos en el dispositivo protector no deben provocar choques peligrosos con una persona.

Las guillotinas con dispositivos de control de corte del papel se utilizan para prensar y a continuación cortar gruesas pilas de papel. Se disparan mediante un dispositivo de control que requiere el uso de las dos manos. El usuario tiene que entrar en la zona de peligro de la máquina después de hacer cada corte. Al alimentar la máquina con papel en la operación de corte, además del dispositivo de control accionado por las dos manos y del sistema de control de la máquina para evitar lesiones, se utiliza una defensa inmaterial, que por lo común se trata de una cortina de luz. Casi todas las grandes guillotinas modernas utilizadas actualmente son controladas por sistemas de microordenadores multicanal. También es necesario garantizar el funcionamiento seguro del control que requiere el uso de las dos manos y de la cortina de luz.

### Accidentes con sistemas controlados por ordenador

En casi todas las aplicaciones industriales actuales se producen accidentes relacionados con los ordenadores y con el software (Neumann 1994). En la mayoría de los casos, los fallos de los ordenadores (que sólo se hacen públicos cuando tienen un interés general) no originan lesiones personales, pero cuando las originan, constituyen una proporción relativamente alta de todos los casos que han salido a la luz. Desgraciadamente, los accidentes que no causan sensación en la opinión pública no se investigan para determinar sus causas con el mismo interés que los

más famosos, normalmente en plantas de fabricación a gran escala. Por esta razón, los ejemplos que siguen recogen cuatro descripciones de funcionamiento incorrecto o de accidentes típicos de sistemas controlados por ordenador fuera del campo de las defensas de las máquinas, con los que se pretende resaltar lo que debe tenerse en cuenta al emitir juicios relativos a la tecnología de seguridad.

#### **Accidentes debidos a fallos aleatorios del hardware**

El accidente siguiente fue debido a la conjunción de fallos aleatorios del hardware, a lo que se sumó un fallo de programación: el reactor de una planta química se recalentó, por lo cual se abrieron las válvulas de seguridad que permitieron la descarga del contenido del reactor a la atmósfera. Este incidente se produjo durante un breve período después de haberse dado un aviso de que el nivel de aceite de una caja de engranajes era demasiado bajo. Una investigación cuidadosa del incidente reveló que poco después de que el catalizador hubiera iniciado la reacción en el reactor (como consecuencia de lo cual habría requerido más refrigeración), el ordenador, sobre la base del informe de nivel de aceite bajo en la caja de cambios, congeló todas las magnitudes bajo su control en un valor fijo. Esto hizo que se mantuviera el caudal de agua en un valor muy bajo y como consecuencia el reactor se recalentó. Investigaciones adicionales demostraron que la indicación de nivel bajo de aceite había sido hecha por un componente defectuoso. El software había respondido, de acuerdo con la especificación, disparando una alarma y fijando todas las variables operativas. El origen de esta reacción se halla en el estudio HAZOP (análisis de riesgos y capacidad operativa) (Knowlton 1986) realizado antes del suceso, que requería que no se modificaran todas las variables controladas en caso de fallo. Puesto que el programador no estaba familiarizado con este procedimiento en profundidad, lo interpretó en el sentido de que los actuadores controlados (válvulas de control en este caso) no debían modificarse; no se prestó atención a la posibilidad de un aumento de la temperatura. El programador no se dio cuenta de que el sistema, después de haber recibido una señal errónea, podía encontrarse en una situación dinámica que exigiera la intervención del ordenador para evitar un incidente. Además, éste se produjo por una situación tan improbable que no se había analizado en detalle en el estudio HAZOP (Levenson 1986). Este ejemplo ofrece una transición a una segunda categoría de causas de accidentes por software y ordenadores. Se trata de fallos sistemáticos presentes en el sistema desde el principio, pero que sólo se manifiestan en determinadas situaciones muy concretas que el programador no ha tenido en cuenta.

#### **Accidentes debidos a fallos operativos**

En unas pruebas de campo durante la inspección final de robots, un técnico tomó prestado el casete de un robot próximo para utilizarlo en el suyo sin informar de ello a su colega. Al volver a su puesto de trabajo, éste último introdujo el casete equivocado. Puesto que se encontraba junto al robot, esperaba del mismo una secuencia concreta de movimientos, que resultó ser distinta debido al cambio de programa, produciéndose un choque entre el robot y la persona. Es un ejemplo del clásico fallo operativo. El papel de este tipo de fallos en averías y accidentes está aumentando en la actualidad debido a la creciente complejidad de los mecanismos de seguridad controlados por ordenador.

#### **Accidentes debidos a fallos sistemáticos de hardware o software**

En unos entrenamientos en alta mar, un torpedo cargado tenía que haberse disparado desde un buque de guerra. A causa de un defecto del aparato de lanzamiento, el torpedo permaneció en el tubo. El capitán decidió volver a puerto para recuperar el

torpedo. Poco después de iniciar la singladura de vuelta, el torpedo explotó. Un análisis del accidente puso de manifiesto que los que diseñaron el torpedo habían incorporado un mecanismo pensado para evitar su retorno a la plataforma de lanzamiento después de haber sido disparado, destruyendo de esta manera el barco que lo había lanzado. El mecanismo elegido para esto consistía en lo siguiente: después de disparar el torpedo se hacía una comprobación utilizando el sistema inercial de navegación para ver si el rumbo se había modificado en 180°. Tan pronto como el torpedo detectaba que había girado 180°, detonaba inmediatamente, puesto que daba por supuesto que se encontraba a una distancia segura de la plataforma de lanzamiento. Este mecanismo de detección actuó en el caso del torpedo que no se había lanzado correctamente, originando la explosión tras haber cambiado el barco su rumbo en 180°. Es un ejemplo típico de accidente causado por un fallo en las especificaciones, en las que no se había formulado con suficiente precisión que el torpedo no destruyera su propio barco en el caso de que cambiara el rumbo y, por tanto, la precaución se programó erróneamente. El error sólo se advirtió en una situación concreta que el programador no había considerado como una posibilidad.

El 14 de septiembre de 1993, un Airbus A 320 de Lufthansa se estrelló durante el aterrizaje en Varsovia (Figura 58.60). Una investigación cuidadosa del accidente reveló que ciertas modificaciones en la lógica de aterrizaje del ordenador de a bordo hechas tras el accidente con un Boeing 767 de Lauda Air en 1991 eran parcialmente responsables de este accidente. Lo que ocurrió en el accidente en 1991 fue que la derivación del empuje, que desvía parte de los gases del motor para frenar el avión durante el aterrizaje, había actuado estando todavía el avión en el aire, lo que provocó que éste hiciera un picado incontrolable. De ahí que se hubiera incorporado un dispositivo electrónico de bloqueo de la derivación del empuje en los aviones Airbus. El mecanismo sólo permitía que se aplicara la derivación del empuje después de que los sensores situados en ambos equipos de aterrizaje hubieran señalado la compresión de los amortiguadores bajo la presión de las ruedas al entrar en contacto con la pista. Sobre la base de una información incorrecta, los pilotos del avión de Varsovia supusieron que existía un fuerte viento lateral. Por esta razón, hicieron entrar el avión con una ligera inclinación y el Airbus tocó la pista sólo con la rueda derecha dejando que el equipo izquierdo soportara una carga inferior a la máxima. Debido al bloqueo electrónico de la

Figura 58.60 • Airbus de Lufthansa después del accidente de Varsovia en 1993.



derivación del empuje, el ordenador de a bordo negó al piloto durante nueve segundos la posibilidad de realizar maniobras que hubieran permitido el aterrizaje seguro del avión a pesar de las circunstancias adversas. Este accidente es una clara muestra de que las modificaciones en los sistemas informáticos pueden originar nuevas y peligrosas situaciones si no se prevén todas sus posibles consecuencias.

El ejemplo siguiente de funcionamiento defectuoso también demuestra los efectos desastrosos que la modificación de una sola orden puede tener en los sistemas informáticos. El contenido de alcohol en sangre se determina en las pruebas químicas utilizando suero sanguíneo exento de corpúsculos sanguíneos separados previamente por centrifugación. El contenido en alcohol del suero es por tanto más alto (por un factor de 1,2) que el de la sangre entera. Por esta razón, el contenido de alcohol en suero se tiene que dividir por 1,2 para establecer las cifras críticas jurídica y médicamente en partes por mil. En las pruebas realizadas en varios laboratorios en 1984, los valores de alcohol en sangre se determinaron mediante pruebas idénticas realizadas en distintos centros de investigación utilizando suero, con objeto de comparar los resultados. Puesto que sólo se trataba de una comparación, la instrucción para dividir por 1,2 se borró en una de las instituciones durante el experimento. Después de terminar las pruebas en los distintos laboratorios, se introdujo erróneamente una instrucción para multiplicar por 1,2 en el programa de este laboratorio. Como consecuencia, se calcularon aproximadamente 1.500 valores erróneos del contenido en partes por mil entre agosto de 1984 y marzo de 1985. El error fue crítico para las carreras profesionales de los conductores de camiones con niveles de alcohol en sangre entre 1,0 y 1,3 por mil, ya que un valor de 1,3 por mil tiene una penalización jurídica que supone la confiscación del permiso de conducir durante un periodo prolongado.

### **Accidentes causados por influencia de las tensiones inducidas por el trabajo o el ambiente**

Como consecuencia de una perturbación causada en la recogida de residuos en la zona efectiva de una máquina perforadora CNC (control numérico por computador), el usuario decidió aplicar la "parada programada". Al intentar retirar los residuos con sus manos, el vástago de empuje de la máquina comenzó a moverse a pesar de la parada programada y lesionó gravemente al usuario. Un análisis del accidente reveló que la causa no había sido un error del programa y no se pudo reproducir la puesta en marcha inesperada. Se han observado irregularidades similares en otras ocasiones en máquinas del mismo tipo. Parece plausible deducir de esto que el accidente tiene que haber sido causado por interferencias electromagnéticas. Se ha informado de accidentes similares con robots en Japón (Neumann 1987).

Un fallo en la sonda espacial Voyager 2, el 18 de enero de 1986, hace todavía más clara la influencia de las condiciones ambientales en sistemas controlados por ordenador. Seis días antes de alcanzar la posición más próxima a Urano, grandes campos de líneas blancas y negras cubrieron las imágenes enviadas por el Voyager 2. Un análisis preciso reveló que un solo bit de una palabra de órdenes del subsistema de datos de vuelo había provocado el fallo observado al comprimir las imágenes de la sonda. Lo más probable es que este bit hubiera sido desplazado fuera de su posición en la memoria del programa por el impacto de una partícula cósmica. La transmisión sin errores de las fotografías comprimidas desde la sonda sólo se pudo conseguir dos días después utilizando un programa de sustitución capaz de derivar el punto de memoria que había fallado (Laeser, McLaughlin y Wolff 1987).

### **Resumen de los accidentes presentados**

Los accidentes analizados muestran que ciertos riesgos que pueden descuidarse al utilizar tecnología electromecánica sencilla, cobran importancia cuando se utilizan ordenadores, ya que éstos permiten el procesamiento de funciones de seguridad complejas y específicas de cada situación. De ahí la importancia de que la especificación de todas las funciones de seguridad esté exenta de errores, sea inequívoca, completa y pueda someterse a prueba. Los errores en las especificaciones son difíciles de descubrir y suelen ser la causa de accidentes en sistemas complejos. Por lo común se introducen controles libremente programables con la intención de poder reaccionar de forma flexible y rápida a cambios en el mercado. Con todo, las modificaciones, especialmente en sistemas complejos, pueden tener efectos secundarios difíciles de prever. Por tanto, todas las modificaciones tienen que someterse a una gestión estrictamente formal de procedimientos de cambio en la que una clara separación de los sistemas de seguridad de los sistemas parciales no pertinentes para la seguridad ayude a facilitar la supervisión de las consecuencias de las modificaciones para la tecnología de seguridad.

Los ordenadores funcionan con baja tensión y por tanto son susceptibles de sufrir interferencias de fuentes de radiación externas. Puesto que la modificación de una sola señal entre millones puede provocar un fallo de funcionamiento, vale la pena atender al problema de la compatibilidad electromagnética en relación con los ordenadores.

El servicio de sistemas controlados por ordenador es cada vez más complejo y, por tanto, menos claro. La ergonomía del software de configuración y del usuario se hace por ello más interesante desde el punto de vista de la tecnología de seguridad.

Ningún sistema informático puede probarse al cien por cien. Un mecanismo de control sencillo con 32 puertos de entrada binaria y 1.000 vías de software distintas requiere  $4,3 \times 10^{12}$  pruebas para hacer una comprobación completa. A razón de 100 pruebas ejecutadas y evaluadas por segundo, harían falta 1.362 años para hacer una prueba completa.

### **Procedimientos y medidas para mejorar los dispositivos de seguridad controlados por ordenador**

En los 10 últimos años se han desarrollado procedimientos que permiten dominar problemas específicos relacionados con la seguridad. Son procedimientos relacionados con los fallos informáticos descritos en esta sección. Los ejemplos descritos de software y ordenadores de protección de máquinas muestran que el alcance de los daños y, por tanto, el riesgo existente en diversas aplicaciones es muy variable. Resulta claro entonces que las precauciones necesarias para la mejora de ordenadores y software utilizados en tecnología de seguridad han de tomarse teniendo en cuenta el riesgo.

En la Figura 58.61 se muestra un procedimiento cualitativo que permite determinar la reducción de riesgo que puede conseguirse utilizando sistemas de seguridad independientemente de la envergadura de los daños y de su frecuencia. (Bell y Reinert 1992). Los tipos de fallos en sistemas informáticos analizados en la sección "Accidentes con sistemas controlados por ordenador" (arriba) pueden relacionarse con los denominados "niveles de integridad de la seguridad", es decir, las facilidades técnicas de reducción de riesgos.

En la Figura 58.62 se deja claro que la efectividad de las medidas adoptadas, en cualquier caso dado, para reducir errores en software y ordenadores tiene que aumentar al incrementarse el riesgo (DIN 1994; CEI 1993).

El análisis de los accidentes descritos anteriormente muestra que el fallo de las protecciones controladas por ordenador no sólo es debido a fallos de componentes aleatorios, sino también a

Figura 58.61 • Procedimiento cualitativo para determinación de riesgos.

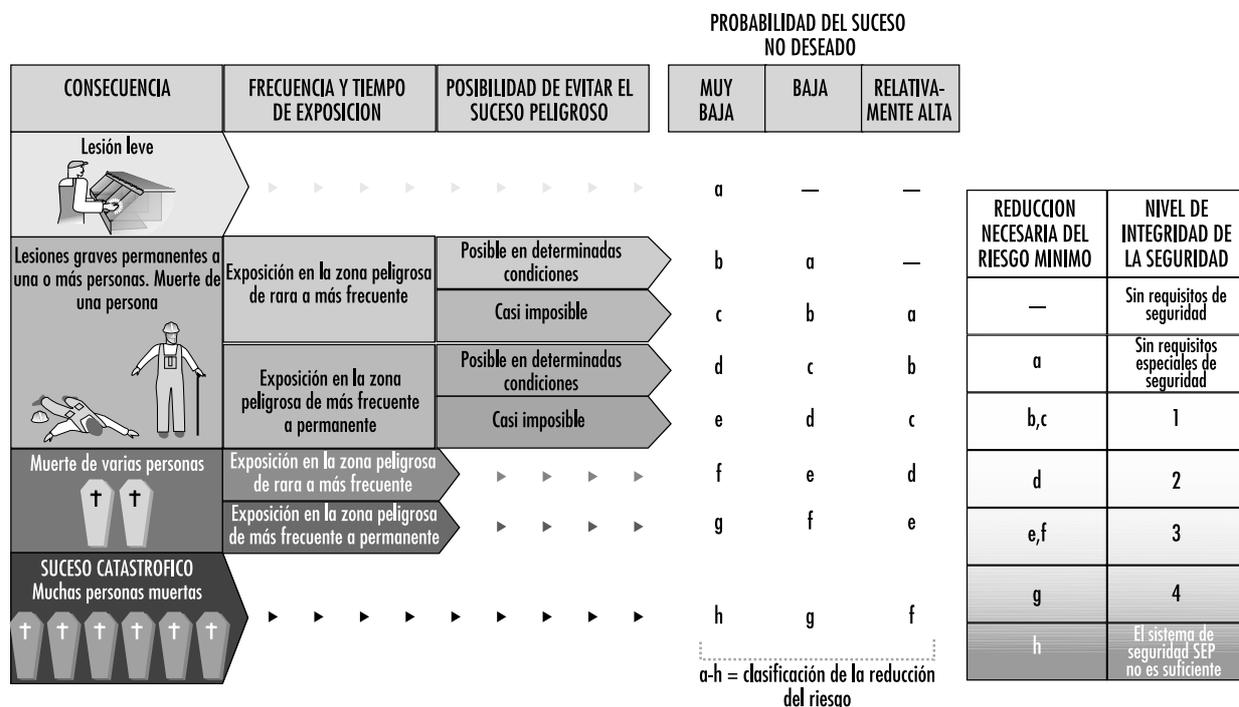
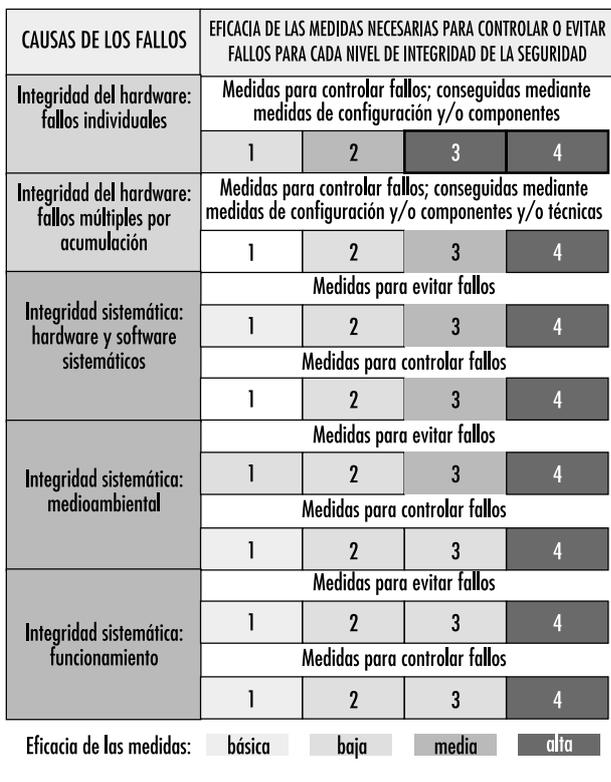


Figura 58.62 • Eficacia de las precauciones adoptadas contra errores, independientemente del riesgo.



condiciones de funcionamiento concretas que el programador no ha tenido en cuenta. Las consecuencias no evidentes de forma inmediata de las modificaciones del programa hechas durante el mantenimiento del sistema son otra fuente de errores. Se deduce de ello que puede haber fallos en sistemas de seguridad controlados por microprocesadores que, aunque hechos durante el desarrollo del sistema, pueden conducir a situaciones peligrosas sólo durante el funcionamiento. Por tanto, es necesario tomar precauciones contra dichos fallos no sólo en la fase conceptual, sino también en la de desarrollo, y adoptar medidas durante los procesos de desarrollo, instalación y modificación. Ciertos fallos pueden evitarse si se descubren y corrigen durante este proceso (DIN 1990).

Como pone de manifiesto el último accidente, la avería de un solo transistor puede determinar el fallo técnico de un equipo automatizado sumamente complejo. Puesto que cada circuito tiene miles de transistores y otros componentes, es necesario adoptar muchas medidas para evitar fallos y para reconocerlos cuando aparecen durante el funcionamiento e iniciar las reacciones adecuadas en el sistema del ordenador. En la Figura 58.63 se describen tipos de fallos en sistemas electrónicos programables y ejemplos de precauciones que pueden adoptarse para evitar y controlar fallos en sistemas informáticos (DIN 1990; CEI 1992).

### Posibilidades y perspectivas de los sistemas electrónicos programables en tecnología de seguridad

Las máquinas y equipos modernos van ganando en complejidad y tienen que ejecutar tareas cada vez más amplias en períodos de tiempo cada vez más breves. Por esta razón, los sistemas informáticos se han introducido en todos los campos industriales desde mediados del decenio de 1970. Este aumento de complejidad por sí solo ha contribuido significativamente al aumento de los costes

Figura 58.63 • Ejemplos de precauciones adoptadas para controlar y evitar errores en sistemas informáticos.

FALLOS EN SEP	MEDIDAS PARA EVITAR FALLOS
<p>Antes de comenzar, por ej.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallo en la especificación</li> <li>• Fallo en el dimensionamiento</li> <li>• Error de programación</li> <li>• Fallo durante la aplicación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de herramientas de desarrollo</li> <li>• Diseño estructurado</li> <li>• Comprobación de EMC</li> <li>• Simulación</li> <li>• Análisis de programas</li> <li>• Pruebas tipo</li> <li>• Equipos de diseño distintos</li> </ul>
<p>Después de comenzar, por ej.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallo en la RAM/ROM</li> <li>• Fallo en la CPU</li> <li>• Fallo en la E/S</li> <li>• Secuencia incorrecta del programa causada por EMI</li> <li>• Fallo causado por modificación</li> </ul>	<p>MEDIDAS PARA CONTROLAR FALLOS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hardware redundante</li> <li>• Software redundante</li> <li>• Prueba de la RAM/ROM</li> <li>• Prueba en línea (canal individual)</li> <li>• Prueba de la E/S</li> <li>• Prueba de la CPU</li> <li>• Salidas vigiladas</li> </ul>

que supone la mejora de la tecnología de seguridad en dichos sistemas. Aunque el software y los ordenadores plantean un difícil reto a la seguridad en el puesto de trabajo, también hacen posible la implantación de nuevos sistemas tolerantes a fallos en el campo de la tecnología de seguridad.

Una divertida pero instructiva frase de Ernst Jyl explica lo que se entiende por *tolerante a fallos*: "Dilección: muchos creen que delecho e izquiedo no se pueden intercambiar, qué elol"). A pesar del intercambio de la letras *r* y *l*, la frase la entiende fácilmente cualquier adulto normal; incluso alguien con poco dominio del español podría formularla correctamente, algo casi imposible para un ordenador de traducción por sus propios medios.

El citado ejemplo muestra que un ser humano puede reaccionar de una forma mucho más tolerante a fallos que un ordenador, ya que las personas, como otros seres vivos, pueden recurrir a su propia experiencia. Examinando las máquinas utilizadas actualmente se advierte que en la mayoría se penalizan los fallos del usuario no con un accidente, sino con un descenso de la producción. Esta propiedad conduce a la manipulación o supresión de las defensas. La moderna tecnología informática utiliza sistemas en materia de seguridad en el trabajo que reaccionan inteligentemente, es decir, de forma modificada. Estos sistemas hacen posible un comportamiento tolerante a fallos en las nuevas máquinas. Como primera medida, avisan a los usuarios cuando el funcionamiento es incorrecto y sólo paran la máquina cuando es la única manera de evitar un accidente. El examen de los accidentes muestra las considerables posibilidades de reducción de accidentes en este campo (Reinert y Reuss 1991).

## ● SOFTWARE Y ORDENADORES: SISTEMAS HÍBRIDOS AUTOMATIZADOS

*Waldemar Karwowski y Jozef Zurada*

Un sistema híbrido automatizado (HAS) tiene por objeto integrar las capacidades de máquinas con inteligencia artificial (basadas en tecnología informática) con las de las personas que interactúan con estas máquinas durante su actividad laboral. Las principales preocupaciones suscitadas por el uso de HAS están relacionadas

con la forma de diseñar los subsistemas humano y de la máquina para aprovechar al máximo los conocimientos y destrezas de ambas partes del sistema híbrido y cómo deben interactuar los operadores y componentes de la máquina para asegurar la complementariedad de sus funciones. Muchos sistemas híbridos automatizados han evolucionado como productos de aplicaciones de metodologías modernas basadas en control e información, para automatizar e integrar distintas funciones de sistemas tecnológicos frecuentemente complejos. El HAS se identificó inicialmente con la introducción de sistemas basados en ordenador utilizados en el diseño y funcionamiento de sistemas de control en tiempo real para reactores nucleares, plantas químicas y tecnología de fabricación de piezas diversas. El HAS se puede encontrar ahora en muchas industrias de servicios: control del tráfico aéreo y procedimientos de navegación de aviones en el sector de la aviación civil; diseño y uso de sistemas de navegación inteligentes para vehículos y autopistas en el transporte por carretera.

Con el aumento continuado de la automatización basada en ordenadores, la naturaleza de las tareas humanas en los sistemas tecnológicos modernos se aparta de las que requieren destrezas motoras y de percepción y se acerca a las que requieren actividades cognitivas que se necesitan para resolución de problemas, toma de decisiones en supervisión de sistemas y tareas de supervisión. Por ejemplo, los operadores humanos de sistemas de fabricación integrados con ordenadores actúan fundamentalmente para vigilar el sistema, tomar decisiones y resolver problemas. Las actividades cognitivas del supervisor humano en cualquier entorno de HAS son: *a*) planificación de lo que debe hacerse durante un período de tiempo dado; *b*) preparación de procedimientos (o pasos) para alcanzar los objetivos planificados; *c*) supervisión del progreso de los procesos (tecnológicos); *d*) "enseñanza" al sistema a través de un ordenador interactivo; *e*) intervención si el sistema se comporta anormalmente o si cambian las prioridades de los controles, y *f*) conocimiento por medio de información procedente del sistema de los efectos de las acciones de supervisión (Sheridan 1987).

### Diseño de sistemas híbridos

Las interacciones hombre/máquina en un HAS implican el uso de circuitos dinámicos de comunicación entre los operadores humanos y las máquinas inteligentes, un proceso que incluye detección y procesamiento de información y la iniciación y ejecución de tareas de control y toma de decisiones, dentro de una estructura dada de asignación de funciones entre personas y máquinas. Como mínimo, las interacciones entre personas y máquinas tienen que reflejar la alta complejidad de los sistemas híbridos automatizados, así como las características pertinentes de los operadores humanos y los requisitos de las tareas. Por tanto, el sistema híbrido automatizado puede definirse formalmente como un sistema de cinco variables con la fórmula siguiente:

$$HAS = (T, U, C, E, I)$$

donde *T* = requisitos de las tareas (físicos y cognoscitivos); *U* = características del usuario (físicas y cognoscitivas); *C* = características de la automatización (hardware y software, incluidos los interfaces informáticos); *E* = el entorno del sistema; *I* = un conjunto de interacciones entre los elementos anteriores.

El conjunto de interacciones *I* engloba todas las interacciones posibles entre *T*, *U* y *C* en *E* independientemente de su naturaleza o de la intensidad de la asociación. Por ejemplo, una de las posibles interacciones podría involucrar la relación de los datos almacenados en la memoria del ordenador con los conocimientos correspondientes, si existieran, del operador humano. Las interacciones *I* pueden ser elementales (es decir, limitadas a una asociación uno a uno) o complejas, como las que involucran

interacciones entre el operador humano, el software concreto utilizado para ejecutar la tarea deseada y el interface físico del que dispone el ordenador.

Los diseñadores de muchos sistemas híbridos automatizados se ocupan sobre todo de la integración asistida por ordenador de máquinas sofisticadas y otros equipos como partes de la tecnología basada en ordenador, y raras veces prestan atención a la importante necesidad de una integración humana eficaz en dichos sistemas. Por tanto, en la actualidad, muchos de los sistemas integrados por ordenador (tecnológicos) no son plenamente compatibles con las capacidades intrínsecas de los operadores humanos expresadas por las destrezas y conocimientos necesarios para el control y supervisión eficaces de estos sistemas. Dicha incompatibilidad surge en todos los niveles de funcionamiento de hombre, máquina y hombre/máquina y se puede definir dentro de un marco individual o de la organización o facilidad completa. Por ejemplo, el problema de la integración de personas y tecnología en empresas de fabricación avanzadas se plantean en una fase temprana del diseño del HAS. Estos problemas se pueden conceptualizar utilizando el siguiente modelo de integración de sistemas de la complejidad de las interacciones,  $I$ , entre los diseñadores del sistema,  $D$ , operadores humanos,  $H$ , o usuarios potenciales del sistema y tecnología,  $T$ :

$$I(H, T) = F[I(H, D), I(D, T)]$$

donde  $I$  representa las interacciones pertinentes que tienen lugar en una estructura dada de HAS, mientras que  $F$  indica las relaciones funcionales entre diseñadores, operadores humanos y tecnología.

En el anterior modelo de integración de sistemas destaca el hecho de que las interacciones entre usuarios y tecnología vienen determinadas por el resultado de la integración de las dos interacciones anteriores, es decir: *a)* las existentes entre los diseñadores del HAS y los usuarios potenciales, y *b)* las existentes entre los diseñadores y la tecnología del HAS (a nivel de máquinas y de su integración). Nótese que, aunque existen normalmente fuertes interacciones entre diseñadores y tecnología, apenas hay ejemplos de interrelaciones igualmente fuertes entre diseñadores y operadores humanos.

Puede afirmarse que, incluso en los sistemas más automatizados, el papel humano sigue siendo crítico para el buen funcionamiento del sistema a nivel operativo. Bainbridge (1983) identificó un conjunto de problemas relativos al funcionamiento del HAS que son debidos a la propia naturaleza de la automatización y que son los siguientes:

1. *Operadores "fuera del circuito de control"*. Los operadores humanos están presentes en el sistema para ejercer control cuando es necesario, pero estando "fuera del circuito de control" no pueden mantener las destrezas manuales y el conocimiento del sistema a largo plazo que suelen precisar los casos de emergencia.
2. *"Imagen mental" anticuada*. Los operadores pueden no responder rápidamente a los cambios en el comportamiento del sistema si no han seguido los eventos de su funcionamiento muy de cerca. Además, el conocimiento o imagen mental del operador sobre el funcionamiento del sistema puede ser inadecuado para iniciar o ejecutar las respuestas adecuadas.
3. *Generaciones de destrezas que desaparecen*. Los nuevos operadores pueden no ser capaces de adquirir suficientes conocimientos sobre el sistema informatizado a través de la experiencia y, por tanto, pueden ser incapaces de aplicar un control eficaz cuando es necesario.

4. *Autoridad de la automática*. Si el sistema informatizado se ha implantado porque puede realizar las tareas necesarias mejor que las personas, se plantea la pregunta, "¿sobre qué base puede decidir el operador que el sistema automatizado está adoptando decisiones correctas o incorrectas?".
5. *Aparición de nuevos tipos de errores humanos debidos a la automatización*. Los sistemas automatizados originan nuevos tipos de errores y, por consiguiente, de accidentes que no pueden analizarse en el marco de las técnicas de análisis tradicionales.

### Asignación de tareas

Uno de los problemas más importantes del diseño de HAS es determinar cuántas y qué funciones y responsabilidades hay que asignar a los operadores humanos y a los ordenadores. En general, hay tres clases básicas de problemas de asignación de tareas que deben considerarse: *a)* la asignación de tareas supervisor humano/ordenador; *b)* la asignación de tareas humano/humano, y *c)* la asignación de tareas ordenador supervisor/ordenador. Lo ideal es que las decisiones de asignación se hagan mediante algún procedimiento estructurado antes de comenzar el diseño básico del sistema. Por desgracia, pocas veces es posible un proceso sistemático semejante, ya que las funciones que han de asignarse requieren un examen posterior o tienen que realizarse interactivamente entre el componente humano y los componentes del sistema de la máquina, es decir, mediante la aplicación del ejemplo de control de supervisión. La asignación de tareas en sistemas híbridos automatizados debe centrarse en el alcance de las responsabilidades de supervisión del hombre y del ordenador y debe considerar la naturaleza de las interacciones entre el operador humano y los sistemas informatizados de apoyo a las decisiones. También debe considerarse el significado de la transferencia de información entre máquinas e interfaces humanas de entrada/salida y la compatibilidad del software con la capacidad cognoscitiva humana de resolución de problemas.

En los planteamientos tradicionales del diseño y gestión de sistemas híbridos automatizados, los trabajadores se consideraban como sistemas deterministas de entrada/salida y había cierta tendencia a ignorar la naturaleza teleológica del comportamiento humano, es decir, la búsqueda de objetivos en la adquisición de la información pertinente y en la selección de los objetivos (Goodstein y cols. 1988). Para tener éxito, el diseño y la gestión de sistemas híbridos automatizados tienen que estar basados en una descripción de las funciones mentales humanas necesarias para una tarea específica. El planteamiento de la "ingeniería cognoscitiva" (descrito más adelante) propone que los sistemas hombre/máquina (híbridos) se tienen que concebir, diseñar, analizar y evaluar en términos de procesos mentales humanos (es decir, teniendo en cuenta el modelo mental del operador de los sistemas adaptativos). Se exponen a continuación los requisitos del planteamiento del diseño y funcionamiento del HAS basado en la persona según lo formulado por Corbett (1988):

1. *Compatibilidad*. El funcionamiento del sistema no debe requerir destrezas no relacionadas con las existentes, pero debe permitir que éstas evolucionen. El operador humano debe introducir y recibir información que sea compatible con la práctica convencional, con objeto de que el interface esté adaptado a los conocimientos y destrezas previas del usuario.
2. *Transparencia*. No es posible controlar un sistema sin comprenderlo. Por tanto, el operador humano ha de poder "ver" los procesos internos del software de control del sistema si se quiere facilitar el aprendizaje. Un sistema transparente facilita a los usuarios la creación de un modelo interno de toma de decisiones y funciones de control que el sistema puede realizar.

3. *Sorpresas mínimas.* El sistema no debe hacer nada que sea inesperado para el operador de acuerdo con la información disponible que detalla el estado actual del sistema.
4. *Control de las perturbaciones.* Las tareas inciertas (según lo definido por el análisis de la estructura elegida) deben estar controladas por el operador humano con la ayuda de la toma de decisiones asistida por ordenador.
5. *Falibilidad.* Las destrezas y conocimientos implícitos de los operadores humanos no deben dejarse fuera del diseño del sistema. Los operadores no deben verse nunca en la situación de asistir impotentes a la realización de una operación incorrecta por parte del software.
6. *Reversibilidad de los errores.* El software debe avanzar suficiente información como para permitir al operador humano prever las consecuencias de una operación o estrategia concretas.
7. *Flexibilidad operativa.* El sistema debe ofrecer a los operadores humanos libertad para intercambiar requisitos y límites de recursos mediante el cambio de estrategias de funcionamiento sin perder el apoyo del software de control.

### Ingeniería de los factores cognoscitivos humanos

La ingeniería de los factores cognoscitivos humanos se ocupa de cómo los operadores humanos toman decisiones en el puesto de trabajo, resuelven problemas, formulan planes y adquieren nuevas destrezas (Hollnagel y Woods 1983). Los papeles de los operadores humanos que trabajan en cualquier HAS pueden clasificarse, según el esquema de Rasmussen (1983), en tres categorías principales:

1. *Comportamiento basado en la destreza:* es la actividad sensoriomotora desarrollada en actos que tienen lugar sin control consciente, como pautas de comportamiento tranquilo, automatizado y altamente integrado. Las actividades humanas incluidas en esta categoría se consideran una secuencia de actos hábiles preparados para una situación dada. El comportamiento basado en la destreza es, por tanto, la expresión de pautas más o menos almacenadas de comportamientos o instrucciones preprogramadas de un dominio de espacio/tiempo.
2. *Comportamiento basado en las normas:* es una categoría de actuación estructurada a partir del control de la información sobre acciones futuras por medio de una norma o procedimiento almacenado; es decir, una actuación ordenada que permite componer una secuencia de subrutinas en una situación de trabajo conocida. La norma se selecciona por lo común a partir de experiencias anteriores que limitan el comportamiento del entorno. El comportamiento basado en las normas parte de conocimientos explícitos en relación con el uso de las normas pertinentes. El conjunto de datos para la toma de decisiones consta de referencias para el reconocimiento o identificación de estados, eventos o situaciones.
3. *Comportamiento basado en el conocimiento:* es una categoría de actuación controlada por objetivos, en la que éstos se formulan explícitamente sobre la base del conocimiento del entorno y de lo que pretende la persona. La estructura interna del sistema se representa mediante un "modelo mental". Este tipo de comportamiento permite el desarrollo y la prueba de planes distintos en condiciones de control no conocidas y, por tanto, inciertas y es necesario cuando no se dispone de destrezas o normas o éstas son inadecuadas, por lo que no es posible recurrir a resolución y planificación de problemas.

En el diseño y gestión de un HAS deben considerarse las características cognoscitivas de los trabajadores con objeto de asegurar la compatibilidad del funcionamiento del sistema con el modelo interno del trabajador que describe sus funciones. En consecuencia, el nivel de descripción del sistema debe pasar de

estar basado en la destreza a estarlo en reglas y en los aspectos basados en el funcionamiento humano, y deben utilizarse métodos apropiados de análisis de tareas cognoscitivas para identificar el modelo del operador de un sistema. Un problema relacionado en el desarrollo de un HAS es el diseño de medios de transmisión de información entre el operador humano y los componentes del sistema automatizado, a nivel físico y cognoscitivo. La transferencia de información debe ser compatible con los modos de información utilizados a distintos niveles de funcionamiento del sistema, es decir, visual, verbal, táctil o híbrido. Esta compatibilidad informativa asegura que las distintas formas de transferencia de información requerirán incompatibilidades mínimas entre el medio y la naturaleza de la información. Por ejemplo, una pantalla visual es mejor para transmitir información espacial, mientras que se puede utilizar una entrada acústica para transportar información de texto.

Con frecuencia el operador humano desarrolla un modelo interno que describe el funcionamiento y las funciones del sistema de acuerdo con su experiencia, formación e instrucciones en relación con el tipo dado de interface hombre/máquina. Teniendo en cuenta esta realidad, los diseñadores de un HAS deben intentar incorporar en las máquinas (u otros sistemas artificiales) un modelo de las características físicas y cognoscitivas del operador humano, es decir, la imagen que el sistema tiene del operador (Hollnagel y Woods 1983). Los diseñadores de un HAS tienen que tener también en cuenta el nivel de abstracción en la descripción del sistema, así como varias categorías pertinentes de los comportamientos del operador humano. Estos niveles de abstracción para crear modelos del funcionamiento humano en el entorno de trabajo son los siguientes (Rasmussen 1983): *a)* forma física (estructura anatómica); *b)* funciones físicas (fisiológicas); *c)* funciones generalizadas (mecanismos psicológicos y procesos cognoscitivos y afectivos); *d)* funciones abstractas (procesamiento de la información), y *e)* propósito funcional (estructuras de valores, mitos, religiones, interacciones humanas). Los diseñadores tienen que considerar simultáneamente estos cinco niveles con objeto de asegurar un comportamiento eficaz del HAS.

### Diseño del software del sistema

Dado que el software es un componente primario de cualquier entorno de HAS, su desarrollo (incluidos el diseño, la prueba, el funcionamiento y la modificación), así como los problemas de fiabilidad tienen que considerarse desde la primera fase del HAS. De esta manera será posible reducir el coste de la detección y eliminación de errores de software. Con todo, es difícil estimar la fiabilidad de los componentes humanos de un HAS debido a limitaciones de nuestra capacidad para crear modelos de realización de tareas humanas, a la carga de trabajo consiguiente y a los posibles errores. Una carga de trabajo mental excesiva o insuficiente puede conducir a sobrecarga de información o aburrimiento respectivamente con lo que se deteriora el comportamiento humano y origina errores y aumento de la probabilidad de accidentes. Los diseñadores de un HAS deben emplear interfaces adaptativos que utilizan técnicas de inteligencia artificial para solucionar estos problemas. Además de la compatibilidad hombre/máquina, se tiene que considerar el problema de la adaptación mutua hombre/máquina, con objeto de reducir los niveles de esfuerzo que surgen cuando se supera la capacidad humana.

Debido al alto nivel de complejidad de muchos sistemas híbridos automatizados, la identificación de cualquier peligro potencial relacionado con el hardware, el software, los procedimientos operativos y las interacciones hombre/máquina, resulta crítica para el éxito de los esfuerzos encaminados a reducir lesiones personales y daños materiales. Los peligros para la

seguridad y la salud asociados con sistemas híbridos automatizados complejos, como la tecnología de fabricación integrada por ordenador (CIM), es claramente uno de los aspectos más críticos del diseño y funcionamiento del sistema.

### Problemas de seguridad de sistemas

Los entornos híbridos automatizados, por su importante potencial de comportamiento errático del software en condiciones de perturbación del sistema, crean un nuevo tipo de riesgos de accidente. A medida que los sistemas híbridos automatizados se han hecho más flexibles y complejos, las perturbaciones del sistema, incluidos los problemas de puesta en marcha y parada y las desviaciones del control del sistema, pueden aumentar significativamente la posibilidad de graves peligros para los operadores humanos. Irónicamente, en muchas situaciones anormales los operadores confían en el funcionamiento correcto de los subsistemas de seguridad automatizados, una práctica que puede aumentar el riesgo de lesiones graves. Por ejemplo, un estudio de accidentes relacionados con fallos de funcionamiento de sistemas técnicos de control mostró que un tercio aproximadamente de las secuencias de accidentes incluía intervención humana en el circuito de control del sistema perturbado.

Puesto que las medidas tradicionales de seguridad no pueden adaptarse fácilmente a las necesidades de los entornos de HAS, es necesario considerar estrategias de control de lesiones y prevención de accidentes teniendo en cuenta las características intrínsecas de estos sistemas. Por ejemplo, en el área de la tecnología avanzada de fabricación, muchos procesos se caracterizan por la existencia de cantidades importantes de flujos de energía que no pueden ser fácilmente previstos por los operadores humanos. Además, suelen surgir problemas de seguridad en los interfaces entre subsistemas o cuando una perturbación del sistema se propaga de un subsistema a otro. Según la Organización Internacional de Normalización (ISO 1991), los riesgos asociados con peligros debidos a automatización industrial varían según las máquinas incorporadas en sistemas específicos de fabricación y con la forma de instalar, programar, operar, mantener y reparar el sistema. Por ejemplo, una comparación de accidentes relacionados con robots en Suecia con otros tipos de accidentes mostró que los robots pueden ser las máquinas industriales más peligrosas utilizadas en la industria manufacturera avanzada. La tasa estimada de accidentes para robots industriales fue de un accidente grave por 45 robots-años, una tasa más alta que la de las prensas industriales de 1 accidente por cada 50 máquinas-años. Se debe observar que, en EE.UU., las prensas industriales representaron aproximadamente el 23 % de todos los fallecimientos relacionados con máquinas para trabajar metales en el período 1980-1985, ocupando las prensas la primera posición en cuanto al producto severidad/frecuencia de las lesiones no mortales.

En el campo de la tecnología avanzada de fabricación hay muchos elementos móviles que son peligrosos para los trabajadores, ya que cambian de posición de forma compleja fuera del campo visual de los operadores. Los rápidos cambios técnicos en fabricación integrada por ordenador han creado una necesidad acuciante de estudiar los efectos de la tecnología avanzada de fabricación sobre los trabajadores. Para identificar los peligros debidos a diversos componentes de un entorno de HAS de este tipo, es necesario analizar cuidadosamente los accidentes ocurridos. Por desgracia, es difícil aislar los accidentes con intervención de robots de los informes de accidentes con máquinas manejadas por hombres y puede haber, por tanto, un alto porcentaje de accidentes no registrados. Los reglamentos japoneses de seguridad y salud en el trabajo establecen que "los robots industriales no tienen actualmente medios fiables de seguridad y no es posible proteger a los trabajadores a menos que se

reglamente su uso". Por ejemplo, los resultados del estudio realizado por el Ministerio de Trabajo de Japón (Sugimoto 1987) de accidentes relacionados con robots industriales en las 190 fábricas estudiadas (con 4.341 robots en funcionamiento) mostraron que se produjeron 300 perturbaciones relacionadas con robots, de las cuales resultaron 37 casos de actos no seguros que originaron "cuasiaccidentes", 9 accidentes con resultado de lesiones y 2 accidentes mortales. Los resultados de otros estudios indican que la automatización basada en ordenadores no aumenta necesariamente el nivel general de seguridad, ya que el hardware del sistema no puede hacerse a prueba de fallos mediante funciones de seguridad en el software del ordenador solamente y los controladores del sistema no son siempre altamente fiables. Además, en un HAS complejo, no se puede depender exclusivamente de dispositivos detectores de seguridad para detectar condiciones peligrosas y adoptar las estrategias apropiadas para evitar peligros.

### Efectos de la automatización sobre la salud humana

Como se ha explicado antes, las actividades de los trabajadores en muchos entornos de HAS son básicamente de supervisión, vigilancia, apoyo al sistema y mantenimiento. Pueden clasificarse en los 4 grupos básicos siguientes: *a)* tareas de programación, es decir, codificación de información que guía y dirige el funcionamiento de la máquina; *b)* vigilancia de la producción del HAS y control de los componentes; *c)* mantenimiento de los componentes del HAS para prevenir o reducir los fallos de funcionamiento de la maquinaria, y *d)* realización de diversas tareas de apoyo, etc. En muchas revisiones recientes de los efectos de los HAS en el bienestar de los trabajadores se llegó a la conclusión de que aunque el uso de un HAS en el área de fabricación puede eliminar tareas pesadas o peligrosas, el trabajo en un entorno de HAS puede ser insatisfactorio y estresante para los trabajadores. Las fuentes de estrés incluían la constante supervisión necesaria en muchas aplicaciones de HAS, el limitado ámbito de las actividades asignadas, el bajo nivel de interacción del trabajador permitido por el diseño del sistema y los peligros para la seguridad asociados con la naturaleza imprevisible e incontrolable del equipo. Aunque algunos trabajadores que intervienen en la programación y mantenimiento sí encuentran elementos de reto que pueden tener efectos positivos sobre su bienestar, esos efectos están compensados con frecuencia por la naturaleza compleja y exigente de esas actividades, así como por la presión ejercida por la dirección para realizar esas actividades rápidamente.

Aunque en algunos entornos de HAS los operadores humanos están alejados de las fuentes tradicionales de energía (el flujo del trabajo y el movimiento de la máquina) en condiciones de funcionamiento normales, muchas tareas en sistemas automatizados tienen que realizarse en contacto directo con otras fuentes de energía. Puesto que el número de componentes distintos de los HAS aumenta continuamente, es necesario insistir en el confort de los trabajadores y en el desarrollo de los medios eficaces de control de lesiones, teniendo presente el hecho de que los trabajadores ya no pueden estar a la altura del refinamiento y complejidad de tales sistemas.

Para satisfacer las actuales necesidades de control de lesiones y seguridad de los trabajadores en sistemas de fabricación integrados por ordenador, el comité de sistemas de automatización industrial de la ISO ha propuesto una nueva norma internacional de seguridad denominada "Seguridad de sistemas integrados de fabricación" (1991). Desarrollada en reconocimiento de los peligros especiales existentes en los sistemas integrados de fabricación que incorporan máquinas industriales y equipos asociados, su intención es minimizar la posibilidad de lesiones al personal mientras trabaja en un sistema integrado de

fabricación o en un lugar adyacente. Las principales fuentes de peligros potenciales para los operadores humanos de CIM identificados en esta norma se muestran en la Figura 58.64.

### Errores humanos y del sistema

En general, los peligros en un HAS pueden proceder del propio sistema, de su asociación con otros equipos presentes en el entorno físico o de interacciones del personal con el sistema. Un accidente es sólo uno de los resultados de las interacciones hombre/máquina que pueden darse en condiciones peligrosas; los cuasiaccidentes y los incidentes con daños materiales son mucho más corrientes (Zimolong y Duda 1992). Un error puede dar lugar a una de estas consecuencias: (1) el error no es detectado; (2) el sistema puede compensar el error; (3) el error provoca una avería de la máquina y/o una parada del sistema, y (4) el error origina un accidente.

Puesto que no todos los errores humanos que provocan un incidente crítico originan realmente un accidente, conviene distinguir entre las categorías de resultados de la forma siguiente: (1) un incidente de inseguridad (es decir, cualquier suceso no intencionado, independientemente de que termine en lesiones, daños, o pérdidas); (2) un accidente (es decir, un suceso de inseguridad con resultado de lesiones, daños o pérdidas); (3) un incidente con daños (es decir, un suceso de inseguridad con resultado de algún tipo de daños materiales solamente); (4) un cuasiaccidente (es decir, un suceso de inseguridad en el cual lesiones, daños o pérdidas se han evitado fortuitamente por un margen muy estrecho), y (5) la existencia de un accidente potencial (es decir, sucesos de inseguridad que podrían haber resultado en lesiones, daños o pérdidas pero que, debido a las circunstancias no resultaron ni siquiera en un cuasiaccidente).

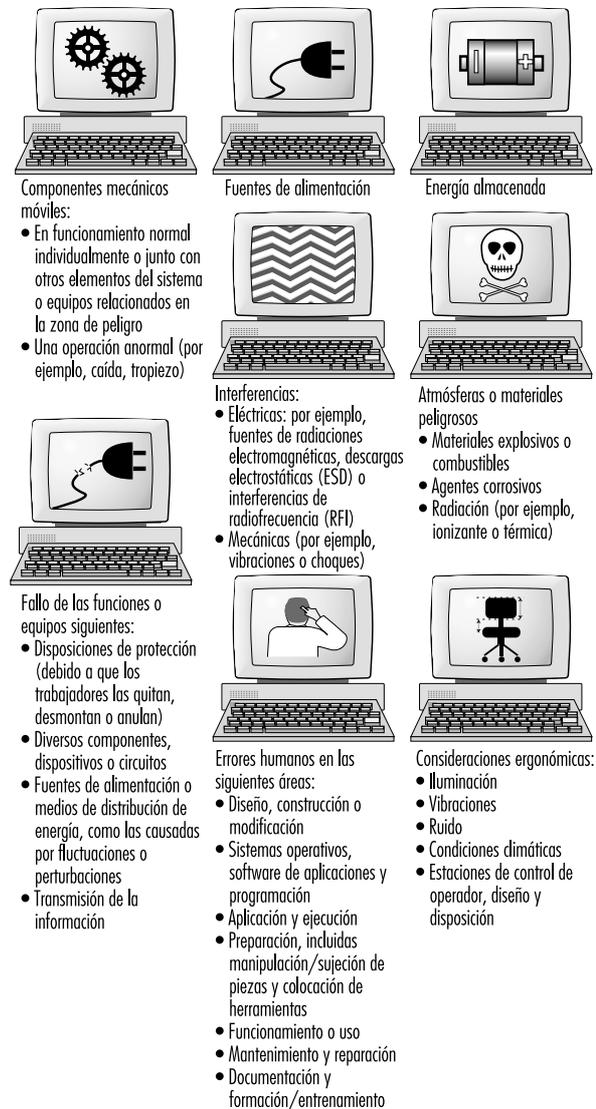
Es posible distinguir tres tipos básicos de errores humanos en un HAS:

1. Omisiones y olvidos basados en la destreza.
2. Errores basados en las reglas.
3. Errores basados en los conocimientos.

Esta taxonomía, ideada por Reason (1990), está basada en una modificación de la clasificación de destrezas-reglas-conocimientos de la actividad humana de Rasmussen como se ha descrito anteriormente. En el nivel basado en la destreza, la actividad humana está regida por pautas almacenadas de instrucciones programadas representadas como estructuras análogas en un dominio de espacio/tiempo. El nivel basado en reglas es aplicable a problemas conocidos cuyas soluciones se rigen por reglas almacenadas (llamadas "producciones", puesto que se accede a ellas o se producen cuando se necesitan). Estas reglas requieren ciertos diagnósticos (o juicios) o la aplicación de ciertos remedios, dado que han surgido determinadas condiciones que exigen una respuesta apropiada. A este nivel, los errores humanos están normalmente asociados con una clasificación errónea de las situaciones que conducen a la aplicación de una regla incorrecta o al recuerdo incorrecto de juicios o procedimientos consiguientes. Los errores basados en el conocimiento se producen en situaciones nuevas, para las cuales es necesario planificar acciones "en línea" (en un momento dado), utilizando procesos analíticos conscientes y conocimientos almacenados. Los errores a este nivel surgen de limitaciones de recursos y de conocimientos incompletos o incorrectos.

Los sistemas genéricos de creación de modelos de errores (GEMS) propuestos por Reason (1990), que intentan localizar los orígenes de los tipos básicos de errores humanos, se pueden utilizar para obtener la taxonomía global del comportamiento humano en un HAS. Los GEMS tratan de integrar dos áreas distintas de investigación de errores: (1) omisiones y olvidos en

Figura 58.64 • Fuente principal de peligros en fabricación integrada por ordenador (CIM) (según ISO 1991).



Fuente: ISO 1991.

los que las acciones se desvían de la intención actual debido a fallos de ejecución y/o fallos de almacenamiento, y (2) errores, en las que las acciones pueden estar de acuerdo con el plan, pero éste es inadecuado para conseguir el resultado deseado.

### Evaluación y prevención de riesgos en CIM

Según la ISO (1991), la evaluación de riesgos en CIM debe realizarse para minimizar todos los riesgos y servir de base para determinar objetivos y medidas de seguridad en el desarrollo de programas o planes para crear un ambiente de trabajo seguro, así como para asegurar la salud y seguridad del personal. Por ejemplo, los peligros en el trabajo en un entorno de HAS basado en fabricación pueden caracterizarse como sigue: (1) el operador tiene que entrar en la zona de peligro para tareas de eliminación de perturbaciones, servicio y mantenimiento; (2) la zona de peligro es difícil de determinar, percibir y controlar; (3) el trabajo puede ser monótono, y (4) los accidentes que se producen en

sistemas de fabricación integrados por ordenador suelen ser graves. Cada peligro identificado debe evaluarse en cuanto a riesgo y se deben determinar e implantar medidas apropiadas para minimizar ese riesgo. También se deben determinar los peligros de cualquier proceso dado en relación con los aspectos siguientes: la propia unidad individual; la interacción entre unidades individuales; las secciones operativas del sistema y el funcionamiento del sistema completo para todos los modos y condiciones de funcionamiento, incluidas las condiciones en las cuales puedan suspenderse los medios de protección normales para operaciones como programación, verificación, localización de averías, mantenimiento o reparación.

La fase de diseño de la estrategia de seguridad ISO (1991) para CIM incluye:

- especificación de los límites de los parámetros del sistema;
- aplicación de una estrategia de seguridad;
- identificación de riesgos;
- evaluación de los riesgos asociados,
- eliminación de los peligros o disminución de los riesgos en la medida de lo posible.

La especificación de la seguridad del sistema debe incluir:

- una descripción de las funciones del sistema;
- una disposición en planta del sistema o modelo;
- los resultados del estudio hecho para investigar la interacción de los distintos procesos de trabajo y las actividades manuales;
- un análisis de las secuencias del proceso, incluidas las interacciones manuales;
- una descripción de los interfaces con líneas de transporte;
- diagramas de flujo del proceso;
- planos fundamentales;
- planos de los servicios de alimentación y eliminación;
- determinación del espacio necesario para la alimentación y eliminación de materiales,
- registros de accidentes disponibles.

Según la ISO (1991), es necesario considerar todos los requisitos precisos para asegurar un funcionamiento seguro del sistema de CIM en el diseño de los procedimientos sistemáticos de planificación de la seguridad. En ello se incluyen todas las medidas de protección para reducir eficazmente los peligros, y requiere:

- integración del interface hombre/máquina;
- definición en fase temprana de la posición de los que trabajan en el sistema (en el tiempo y en el espacio);
- consideración en fase temprana de medios de reducir el trabajo aislado,
- consideración de los aspectos ambientales.

El procedimiento de planificación de la seguridad debe tratar, entre otros, los siguientes problemas de seguridad en CIM:

- *Selección de métodos operativos del sistema.* El equipo de control debe estar previsto como mínimo para los siguientes modos operativos: (1) modo normal o de producción (es decir, con todas las protecciones normales conectadas y funcionando); (2) funcionamiento con algunas de las protecciones normales suspendidas, y (3) funcionamiento en el cual la iniciación por el sistema manual o remota de situaciones peligrosas no sea posible (por ejemplo, en el caso de funcionamiento local, corte de la alimentación o bloqueo mecánico de las condiciones peligrosas).
- *Formación, instalación, puesta en marcha y pruebas funcionales.* Cuando tenga que estar presente personal en la zona peligrosa, el sistema de control deberá contar con las siguientes medidas de seguridad: (1) bloqueo de la puesta en marcha; (2) dispositivo de activación; (3) velocidad reducida; (4) potencia reducida, y e) parada de emergencia móvil.

- *Seguridad en programación, mantenimiento y reparación del sistema.* Durante la programación, sólo se permitirá al programador que esté en la zona protegida. El sistema debe tener procedimientos de inspección y mantenimiento que aseguren el funcionamiento continuado del sistema según lo pretendido. El programa de inspección y mantenimiento debe tener en cuenta las recomendaciones del proveedor del sistema y de los proveedores de los diversos elementos del mismo. No es necesario mencionar que el personal responsable del mantenimiento o reparaciones del sistema debe ser formado en materia de procedimientos necesarios para realizar las tareas requeridas.
- *Eliminación de fallos.* Cuando sea necesaria la eliminación de fallos desde dentro del espacio protegido, deberá realizarse después de una desconexión segura (o, si es posible, después de accionar un mecanismo de bloqueo). Deben adoptarse medidas adicionales contra la iniciación errónea de situaciones de peligro. Cuando puedan presentarse peligros durante la eliminación de fallos en secciones del sistema o en máquinas o sistemas adyacentes, éstos deberán ponerse también fuera de servicio y protegerse contra una puesta en marcha inesperada. En componentes del sistema que no se puedan observar en su totalidad, se deberá llamar la atención sobre la eliminación de fallos por medio de instrucciones y carteles de aviso.

### Control de perturbaciones del sistema

En numerosas instalaciones de HAS utilizadas en el área de fabricación integrada por ordenador, los operadores humanos se necesitan normalmente para tareas de control, mantenimiento, programación, preajuste, servicio o localización de averías. Las perturbaciones del sistema originan situaciones que hacen necesaria la entrada de trabajadores en la zona de peligro. A este respecto, se puede suponer que las perturbaciones siguen siendo la razón más importante de las interferencias humanas en la CIM, debido a que lo más frecuente es que los sistemas se programen desde fuera de las zonas restringidas. Uno de los problemas más importantes de la seguridad en CIM es evitar las perturbaciones, ya que la mayoría de los riesgos se presentan en la fase de localización de averías del sistema. Evitar las perturbaciones es un objetivo común de la seguridad y la economía.

Una perturbación en un sistema de CIM es un estado o función de un sistema que se desvía del estado planificado o deseado. Las perturbaciones durante el funcionamiento de un sistema de CIM afectan, además de a la productividad, a la seguridad de las personas que intervienen en el funcionamiento del sistema. En un estudio finlandés (Kuivanen 1990) se indicaba que aproximadamente la mitad de las perturbaciones en fabricación automatizada disminuyen la seguridad de los trabajadores. Las causas principales de las perturbaciones fueron errores de diseño del sistema (34 %), fallos de componentes del sistema (31 %), errores humanos (20 %) y factores externos. La mayoría de los fallos de las máquinas se debían al sistema de control y, dentro de éste, a los sensores. Una forma eficaz de aumentar el nivel de seguridad de las instalaciones de CIM es reducir el número de perturbaciones. Aunque las acciones humanas en sistemas perturbados impiden que se produzcan accidentes en el entorno de HAS, también contribuyen a ellos. Por ejemplo, un estudio de accidentes relacionados con fallos de funcionamiento de sistemas técnicos de control mostró que un tercio aproximadamente de las secuencias de accidentes incluía intervención humana en el circuito de control del sistema perturbado.

Los principales problemas investigados en la prevención de perturbaciones en CIM se refieren a: (1) principales causas de las perturbaciones; (2) componentes y funciones no fiables; (3) el efecto de las perturbaciones sobre la seguridad; (4) el efecto las perturbaciones en las funciones del sistema; (5) daños materiales,

y (6) reparaciones. La seguridad del HAS debe planificarse en la fase inicial del diseño del sistema; ha de considerar la tecnología, las personas y la organización, y debe formar parte del proceso global de planificación técnica del HAS.

### Retos futuros para el diseño de HAS

Para obtener las máximas ventajas de los sistemas híbridos automatizados se necesita una visión mucho más amplia del desarrollo del sistema, que esté basada en la integración de personas, organización y tecnología. Deben aplicarse aquí tres tipos principales de integración:

1. *integración de personas*, asegurando una comunicación eficaz entre ellas;
2. *integración hombre/ordenador*, diseñando interacciones e interfaces adecuados entre personas y ordenadores,
3. *integración tecnológica*, asegurando interacciones e interfaces efectivos entre máquinas.

Los requisitos mínimos de diseño para sistemas híbridos automatizados deben incluir lo siguiente: (1) flexibilidad; (2) adaptación dinámica; (3) mayor capacidad de respuesta, y (4) necesidad de motivar a las personas y hacer mejor uso de su destreza, juicio y experiencia. Lo anterior requiere también el desarrollo de estructuras de organización, métodos de trabajo y tecnologías del HAS para que las personas, a todos los niveles del sistema, adapten sus estrategias de trabajo a las diversas situaciones de control de los sistemas. Por tanto, las estructuras de organización, los métodos de trabajo y las tecnologías del HAS deberán ser diseñadas y desarrolladas como sistemas abiertos (Kidd 1994).

Un sistema híbrido automatizado abierto (OHAS) es aquél que recibe entradas y envía salidas a su entorno. La idea de un sistema abierto puede aplicarse no sólo a arquitecturas de sistemas y estructuras de organización, sino también a métodos de trabajo, interfaces hombre/ordenador y a las relaciones entre personas y tecnologías, por ejemplo: sistemas de planificación, sistemas de control y sistemas de apoyo a la toma de decisiones. Un sistema abierto es también uno adaptable que permita a las personas un alto grado de libertad para definir la modalidad de funcionamiento del sistema. Por ejemplo, en el área de fabricación avanzada, los requisitos de un sistema híbrido automatizado abierto pueden aplicarse mediante el concepto de *fabricación integrada por ordenador y personas* (HCIM). Desde este punto de vista, el diseño de la tecnología debe resolver la arquitectura global del sistema HCIM, incluido lo siguiente: a) consideraciones de la red de grupos; b) la estructura de cada grupo; c) las interacciones entre grupos; d) la naturaleza del software de apoyo, y e) las necesidades de comunicación e integración técnica entre módulos de software de apoyo.

El sistema híbrido automatizado adaptativo, a diferencia del sistema cerrado, no restringe lo que pueden hacer los operadores humanos. El papel del diseñador del HAS es crear un sistema que satisfaga las preferencias personales del usuario para trabajar de la forma que considere más adecuada. Un requisito previo para permitir la entrada del usuario es el desarrollo de una metodología de diseño adaptativo, es decir, un sistema híbrido automatizado abierto que permita el uso de tecnología asistida por ordenador para su implantación en el proceso de diseño. La necesidad de desarrollar una metodología para diseño adaptativo es uno de los requisitos inmediatos para realizar el concepto del OHAS en la práctica. También es necesario desarrollar un nuevo nivel de tecnología de control de supervisión humana adaptativa. Dicha tecnología debe permitir al operador humano "traspasar con la vista" el impenetrable sistema de control del HAS en funcionamiento: por ejemplo, mediante la aplicación de un sistema de vídeo de alta velocidad

en cada punto de funcionamiento y control del sistema. Finalmente, en los sistemas híbridos automatizados es muy necesaria una metodología para desarrollar un apoyo asistido por ordenador, inteligente y muy adaptable, a los papeles humanos y el funcionamiento humano.

## PRINCIPIOS DEL DISEÑO DE SISTEMAS DE CONTROL SEGUROS

Georg Vondracek

Se acepta en general que los sistemas de control tienen que ser seguros durante el uso. A este fin, los sistemas de control modernos se diseñan tal como muestra la Figura 58.65.

La forma más sencilla de hacer seguro un sistema de control consiste en construir una barrera impenetrable a su alrededor para evitar el acceso o la interferencia de personas en la zona de peligro. Tal sistema sería muy seguro, pero impracticable, ya que no permitiría el acceso para realizar la mayoría de los trabajos de prueba, reparación y ajuste. Puesto que es necesario permitir el acceso a zonas de peligro en determinadas condiciones, se precisan medidas de protección distintas de tabiques, vallas, etc. para facilitar la producción, instalación, servicio y mantenimiento.

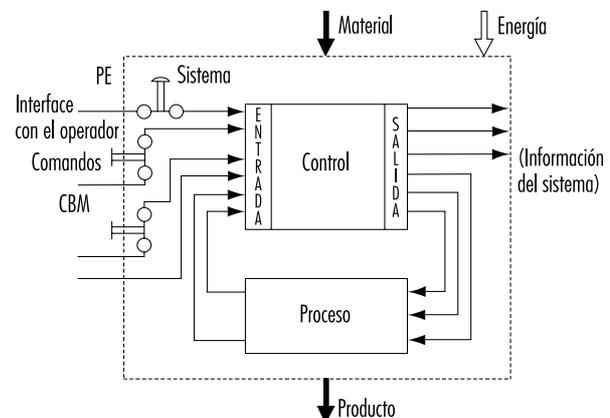
Algunas de estas medidas de protección pueden integrarse total o parcialmente en sistemas de control, a saber:

- El movimiento se puede interrumpir inmediatamente si alguien penetra en la zona de peligro, mediante botones de parada de emergencia (PE).
- Los controles de pulsador sólo permiten el movimiento cuando está accionado el pulsador.
- Los mandos bimanuales (MBM) sólo permiten el movimiento cuando las dos manos están ocupadas presionando los dos elementos del mando (asegurando así que las manos estén fuera de la zona de peligro).

Es el personal quien activa este tipo de medidas de protección. Ahora bien, debido a que los seres humanos constituyen a menudo un punto débil de las aplicaciones, muchas funciones, como las siguientes, se ejecutan automáticamente:

- Los movimientos de los brazos de los robots durante los trabajos de mantenimiento o la "instrucción" son muy lentos. No obstante, la velocidad se supervisa continuamente. Si debido a un fallo del sistema de control, la velocidad de los

Figura 58.65 • Diseño general de sistemas de control.



brazos del robot aumentara inesperadamente durante los trabajos de mantenimiento o la "instrucción", el sistema de supervisión se activaría y detendría el movimiento inmediatamente.

- Se instala una barrera de luz para evitar el acceso a la zona de peligro. Si se interrumpe el haz luminoso, la máquina se para automáticamente.

El funcionamiento normal de los sistemas de control es la principal condición necesaria para la producción. Si una función de producción se interrumpe debido a un fallo del control, ello supondrá a lo sumo un inconveniente, pero no un peligro. Si una función que afecta a la seguridad no se ejecuta, el resultado puede ser la pérdida de producción, daños materiales o personales, incluso mortales. Por tanto, las funciones del sistema de control relevantes para la seguridad tienen que ser más fiables y seguras que las funciones normales del sistema de control. Según la directiva del Consejo Europeo 89/392/CEE (Directiva de maquinaria), los sistemas de control han de diseñarse de manera que sean seguros y fiables.

Los controles constan de varios componentes interconectados para ejecutar una o más funciones. Los controles se subdividen en canales. Un canal es la parte de un control que realiza una función específica (por ejemplo, puesta en marcha, parada, parada de emergencia). Físicamente, el canal se crea con una cadena de componentes (transistores, diodos, relés, puertas, etc.) a través de los cuales se transmite de uno a otro información (sobre todo eléctrica) que representa la función, desde la entrada hasta la salida.

Al diseñar canales de control para funciones relevantes para la seguridad (las funciones que implican a personas), es necesario cumplir los siguientes requisitos:

- Los componentes usados en canales de control con funciones relevantes para la seguridad tienen que poder soportar los rigores del uso normal. En general, *tienen que ser suficientemente fiables*.
- Los errores de lógica no deben originar situaciones peligrosas. En general, *el canal relevante para la seguridad tiene que ser suficientemente a prueba de fallos*.
- Las influencias externas (factores) no deben provocar fallos permanentes o temporales en canales relevantes para la seguridad.

**Fiabilidad**

*Fiabilidad* es la capacidad de un canal de control o componente para ejecutar una función requerida en las condiciones especificadas durante un periodo de tiempo dado *sin fallos*. (La probabilidad de componentes o canales de control específicos se puede calcular utilizando métodos adecuados). La fiabilidad ha de especificarse siempre en relación con un espacio de tiempo concreto. Generalmente la fiabilidad se puede expresar mediante la fórmula de la Figura 58.66.

Figura 58.66 • Fórmula de la fiabilidad.

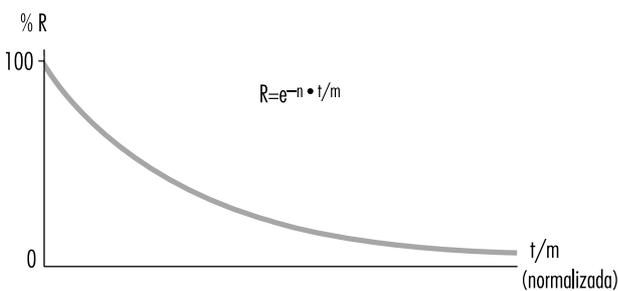
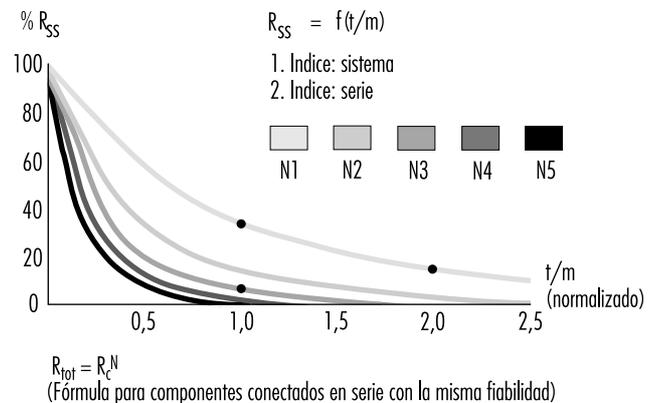


Figura 58.67 • Curvas de fiabilidad de componentes conectados en serie.



**Fiabilidad de sistemas complejos**

Los sistemas están formados por componentes. Si se conocen las fiabilidades de los componentes, se puede calcular la del sistema en su conjunto. En tales casos, se aplica lo siguiente:

**Sistemas seriados**

La fiabilidad total  $R_{tot}$  de un sistema serial que contiene N componentes de la misma fiabilidad  $R_c$  se calcula tal como se indica en la Figura 58.67.

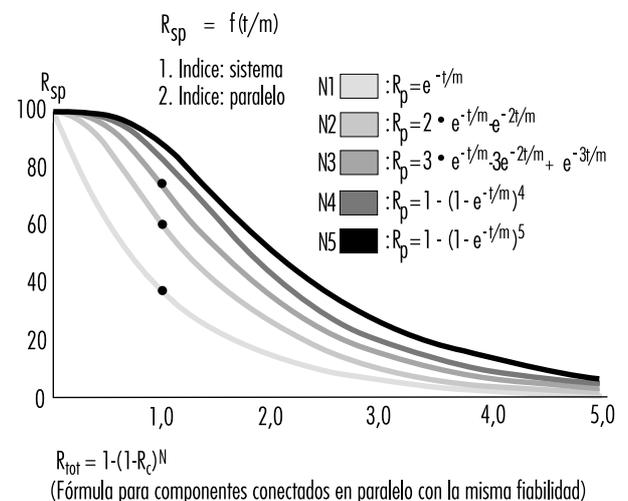
La fiabilidad total es menor que la fiabilidad del componente menos fiable. A medida que aumenta el número de componentes conectados en serie, la fiabilidad total de la cadena disminuye significativamente.

**Sistemas paralelos**

La fiabilidad total  $R_{tot}$  de un sistema paralelo formado por N componentes de la misma fiabilidad  $R_c$  se calcula tal como se indica en la Figura 58.68.

La fiabilidad total puede aumentar significativamente mediante la conexión en paralelo de dos o más componentes.

Figura 58.68 • Curvas de fiabilidad de componentes conectados en paralelo.



La Figura 58.69 ilustra un ejemplo práctico. Obsérvese que el circuito desconectará el motor más fiable. Incluso si los relés A o B no abren sus contactos, el motor se parará a pesar de todo.

El cálculo de la fiabilidad total de un canal es sencillo si se conocen las fiabilidades de todos los componentes necesarios. En el caso de componentes complejos (circuitos integrados, microprocesadores, etc.) el cálculo de la fiabilidad puede ser difícil o imposible si el fabricante no facilita la información necesaria.

**Seguridad**

Cuando los profesionales hablan de seguridad y piden máquinas seguras, se refieren a la seguridad de la máquina o sistema en su conjunto. Desde luego, es una seguridad demasiado general y que no está definida con precisión para el diseñador de los controles. La siguiente definición de *seguridad* puede ser práctica y utilizable por los diseñadores de los circuitos de control. Seguridad es la capacidad de un circuito de control para ejecutar la función requerida dentro de los límites especificados, durante un tiempo determinado, incluso si se producen uno o varios fallos previstos. En consecuencia, es preciso aclarar en la propia fase de diseño hasta qué punto tiene que ser seguro el canal relacionado con la seguridad. (El diseñador puede desarrollar un canal que sea seguro contra el primer fallo, contra cualquier fallo, contra dos fallos, etc.). Además, un canal utilizado para evitar accidentes puede ser esencialmente fiable, pero no tiene que ser necesariamente a prueba de fallos. Esto se puede explicar mejor mediante los siguientes ejemplos:

**Ejemplo 1**

El ejemplo ilustrado en la Figura 58.70 es un canal de control asociado a la seguridad que ejecuta la función de seguridad requerida. El primer componente puede ser un interruptor que controla, por ejemplo, la posición de una puerta de acceso a una zona peligrosa. El último componente es un motor que acciona elementos mecánicos dentro de la zona de peligro.

La función de seguridad requerida en este caso es doble: si la puerta está cerrada, el motor puede funcionar. Si está abierta, el motor tiene que estar parado. Conociendo las fiabilidades  $R_7$  a  $R_6$ , se puede calcular la fiabilidad  $R_{tot}$ . Los diseñadores deben utilizar componentes fiables para mantener una fiabilidad suficientemente alta del conjunto del sistema de control (es decir, hay que tener en cuenta la probabilidad de que esta función se siga realizando al cabo de 20 años, por ejemplo). En consecuencia, los diseñadores tienen dos tareas: (1) el circuito ha de ejecutar la función requerida, y (2) la fiabilidad de los componentes y del canal de control completo tienen que ser suficientes.

Ahora cabe preguntar lo siguiente: ¿Realizará el canal mencionado las funciones de seguridad requeridas incluso si se

Figura 58.70 • Un canal de control de seguridad ejecutando la función de seguridad requerida.

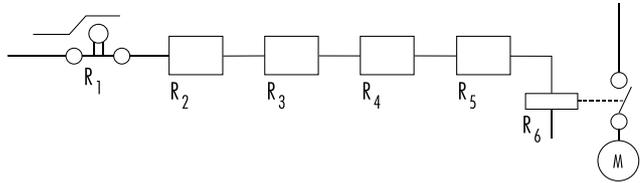


Figura 58.71 • Un canal de control de seguridad con dos subcanales totalmente separados.

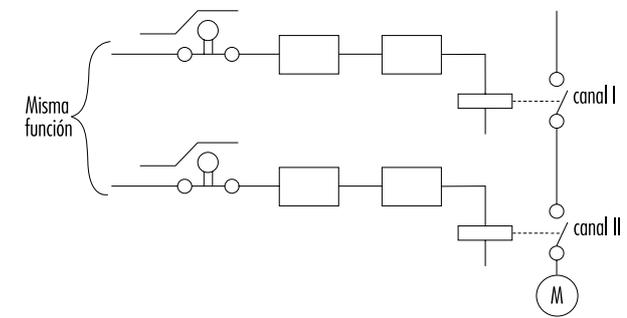


Figura 58.72 • Un canal de control de seguridad con dos subcanales totalmente separados que se supervisan recíprocamente.

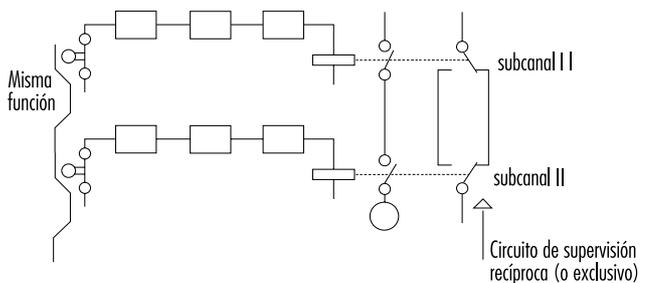


Figura 58.69 • Ejemplo práctico de la figura 58.68.

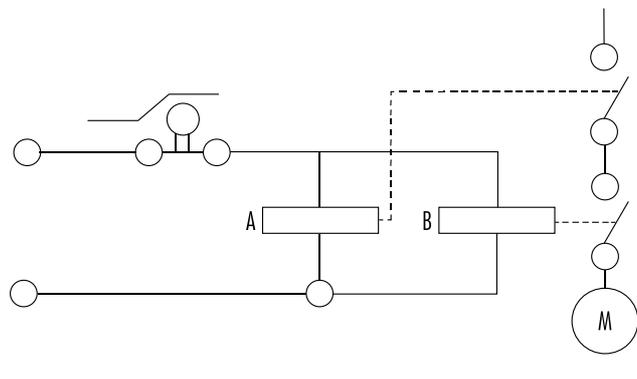
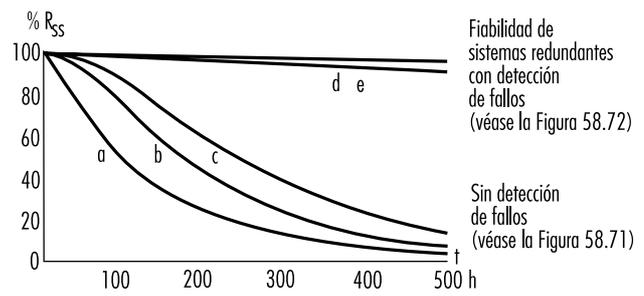


Figura 58.73 • Fiabilidad de sistemas redundantes con o sin detección de fallos.



produce un fallo del sistema (por ejemplo, si el contacto de un relé permanece adherido o si falla un componente)? La respuesta es "no". La razón es que un solo canal formado por componentes conectados en serie y que operan con señales estáticas no es seguro contra un fallo. El canal sólo puede tener cierta fiabilidad, que garantiza la probabilidad de que la función se ejecutará. En estas situaciones, la seguridad siempre se entiende *relacionada con los fallos*.

### Ejemplo 2

Si un canal de control tiene que ser fiable y seguro, el diseño ha de modificarse tal como se indica en la Figura 58.71. El ejemplo ilustrado es un canal de control relacionado con la seguridad y formado por dos subcanales totalmente independientes.

Este diseño es seguro contra el primer fallo (y posibles fallos adicionales en el mismo subcanal), pero no lo es contra dos fallos que puedan producirse en dos subcanales distintos (simultáneamente o en momentos distintos), porque no hay un circuito de detección de fallos. En consecuencia, ambos subcanales funcionan inicialmente con una alta fiabilidad (véase el sistema paralelo), pero después del primer fallo sólo funcionará un canal y disminuirá la fiabilidad. En caso de producirse un segundo fallo en el subcanal que todavía funciona, los dos habrían fallado y la función de seguridad dejaría de ejecutarse.

### Ejemplo 3

El ejemplo ilustrado en la Figura 58.72 es un canal de control de seguridad formado por dos subcanales independientes que se supervisan mutuamente.

Este diseño es a prueba de fallos porque después de cualquier fallo sólo quedará fuera de servicio un subcanal, quedando el otro disponible para ejecutar la función de seguridad. Además, el diseño tiene un circuito de detección de fallos. Si debido a un fallo ambos subcanales dejan de funcionar de la misma manera, esta situación la detecta el circuito de "OR exclusivo", con el resultado de que la máquina se para automáticamente. Esta es una manera óptima de diseñar controles de máquinas, a saber, mediante subcanales de seguridad. Son seguros contra un fallo y al mismo tiempo ofrecen fiabilidad suficiente para que la probabilidad de que se produzcan dos fallos simultáneamente sea minúscula.

## Redundancia

Salta a la vista que hay varios métodos a disposición del diseñador para mejorar la fiabilidad y/o seguridad (contra fallos). Los ejemplos anteriores ilustran cómo una función (por ejemplo, puerta cerrada, el motor puede funcionar; puerta abierta, el motor tiene que estar parado) se puede realizar de distintas maneras. Algunos métodos son muy sencillos (un subcanal), y otros más complicados (dos subcanales con supervisión mutua) (véase la Figura 58.73).

Existe cierta redundancia en los circuitos y/o componentes complejos en comparación con los sencillos. La *redundancia* se puede definir así: (1) redundancia es la presencia de más medios (componentes, canales, factores de seguridad más altos, pruebas adicionales, etc.) de los realmente necesarios para el simple cumplimiento de la función deseada; (2) evidentemente, la redundancia no "mejora" la función, que se ejecuta de todos modos. La redundancia sólo mejora la fiabilidad y/o la seguridad.

Algunos profesionales de la seguridad creen que la redundancia sólo consiste en duplicar o triplicar, etc. el sistema. Esta es una interpretación muy limitada, ya que la redundancia se puede interpretar mucho más amplia y flexiblemente. La redundancia se puede incorporar no sólo al hardware, sino también al software. La mejora del factor de seguridad (por ejemplo, un

cable más resistente en lugar de uno más débil) se puede considerar también una forma de redundancia.

## Entropía

*Entropía*, un término utilizado sobre todo en termodinámica y astronomía, se puede definir así: todo tiende a decaer. Por tanto, es absolutamente seguro que todos los componentes, subsistemas y sistemas, independientemente de la tecnología utilizada, fallarán alguna vez. Esto significa que no hay componentes, subsistemas ni sistemas fiables y/o seguros al 100 %. Todos ellos son más o menos fiables y seguros en función de la complejidad de la estructura. Los fallos que inevitablemente se producen antes o después reflejan la acción de la entropía.

El único medio que tienen los diseñadores para contrarrestar la entropía es la redundancia que se logra: (a) introduciendo más fiabilidad en los componentes, y (b) proporcionando más seguridad a toda la arquitectura del circuito. Sólo aumentando suficientemente la probabilidad de que se ejecute la función requerida durante el período de tiempo necesario, pueden los diseñadores defenderse de alguna manera de la entropía.

## Evaluación de riesgos

Cuanto mayor es el riesgo potencial, mayor es la fiabilidad y/o seguridad (contra fallos) necesaria (y viceversa). Esto se ilustra en los dos casos siguientes:

### Caso 1

El acceso al molde en un máquina de moldeo por inyección está protegido por una puerta. Si la puerta está cerrada, la máquina puede funcionar, y si está abierta es necesario parar todos los movimientos peligrosos. En ningún caso (ni siquiera si falla el canal de seguridad) debe producirse movimiento alguno, especialmente los que accionan el molde.

### Caso 2

El acceso a una línea de montaje controlada automáticamente que monta pequeños componentes de plástico a presión neumática, está protegido por una puerta. Si se abre la puerta, la línea tiene que pararse.

En el caso 1, si falla el sistema de supervisión de la puerta, puede producirse una lesión grave si el molde se cierra inesperadamente. En el caso 2, sólo pueden producirse lesiones leves o pequeños daños si falla el sistema de supervisión de la puerta.

Es evidente que en el primer caso hay que incorporar un mayor grado de redundancia para obtener la fiabilidad y/o seguridad (contra fallos) necesarias a fin de prevenir un riesgo muy elevado. De hecho, según la norma europea EN 201, el sistema de supervisión de la puerta de la máquina de moldeo por inyección tiene que tener tres canales, dos de ellos eléctricos y de supervisión mutua y uno equipado sobre todo con circuitos hidráulicos y de prueba. Las tres funciones de supervisión se refieren a la misma puerta.

Por el contrario, en aplicaciones como la del caso 2, un solo canal activado por un interruptor de acción positiva es suficiente para cubrir el riesgo.

## Categorías de controles

Debido a que todas las consideraciones anteriores están basadas generalmente en la teoría de la información y son por tanto válidas para todas las tecnologías, no importa que el sistema de control esté basado en componentes electrónicos, electromecánicos, mecánicos, hidráulicos o neumáticos (o en una combinación de los mismos) o en alguna otra tecnología. La inventiva del diseñador por una parte y las consideraciones económicas por otra son los factores principales que afectan a un número casi infinito de soluciones para diseñar canales de seguridad.

Para evitar confusiones, resulta práctico establecer ciertos criterios de ordenación. Las estructuras de canales más típicas utilizadas en controles de máquinas para ejecutar funciones de seguridad se clasifican según las siguientes categorías:

- fiabilidad;
- comportamiento en caso de fallo,
- tiempo para detectar el fallo.

Sus combinaciones (no todas las posibles) se ilustran en la Tabla 58.5

La categoría aplicable a una máquina concreta y a su sistema de control de seguridad se especifica sobre todo en las nuevas normas europeas (EN), a menos que la autoridad nacional, el usuario y el fabricante acuerden aplicar otra categoría. El diseñador desarrolla entonces un sistema de control que cumple los requisitos. Por ejemplo, las consideraciones que rigen el diseño de un canal de control pueden incluir lo siguiente:

- Los componentes tienen que soportar las influencias esperadas. (SI/NO)
- Su construcción debe estar de acuerdo con las normas más avanzadas. (SI/NO)
- Se utilizan componentes y métodos bien probados. (SI/NO)
- Los fallos *tienen que ser detectados*. (SI/NO)
- ¿Tiene que ejecutarse la función incluso en caso de fallo? (SI/NO)
- ¿Cuándo se detectará el fallo? (NUNCA, PRONTO, INMEDIATAMENTE)

Este proceso es reversible. Utilizando la misma pregunta se puede decidir a qué categoría pertenece un canal de control existente, desarrollado con anterioridad.

**Ejemplos de categorías**

**Categoría B**

Los componentes de control utilizados principalmente en productos de consumo tienen que soportar las influencias esperadas y diseñarse de acuerdo con los últimos conocimientos. Un interruptor bien diseñado puede servir de ejemplo.

**Categoría 1**

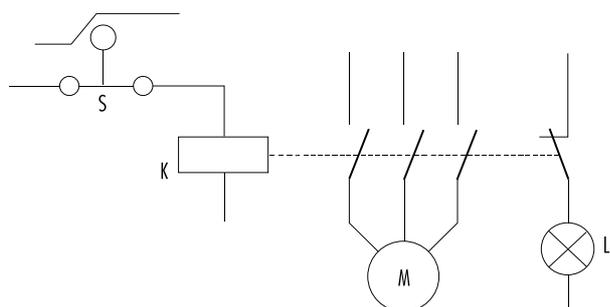
El uso de componentes y métodos bien probados es típico de la categoría 1. Un ejemplo de esto es un interruptor de acción positiva (es decir, que requiere la apertura forzada de los contactos). Este interruptor se diseña con piezas robustas y se activa mediante fuerzas relativamente altas, alcanzando una fiabilidad muy elevada sólo en la apertura de los contactos. En vez de contactos pegados o adheridos, estos interruptores se abrirán. (Nota: componentes como transistores y diodos no se consideran componentes debidamente probados). La Figura 58.74 puede servir de ilustración de un control de la categoría 1.

Este canal utiliza un interruptor S de acción positiva. El contactor K se supervisa mediante el piloto L, que avisa al operador de que los contactos normalmente abiertos (NA) están pegados. El contactor K tiene contactos con guía forzada. (Nota: los contactores o relés con guía forzada tienen, a diferencia de los normales, una jaula especial de material aislante,

Tabla 58.5 • Algunas posibles combinaciones de estructuras de circuitos en controles de máquinas para funciones relacionadas con la seguridad.

Criterios (preguntas)	Estrategia básica		Mediante una estructura adecuada del circuito se detecta al menos el fallo (categoría 2), o los efectos del fallo sobre el canal se eliminan (categoría 3) o el fallo se descubre inmediatamente (categoría 4)			
	Aumentando la fiabilidad (¿se desplaza a un futuro posiblemente lejano la producción del fallo?)					
	Categorías					
	Esta solución es básicamente incorrecta	B	1	2	3	4
¿Pueden los componentes de los circuitos resistir las influencias esperadas? ¿Están contruidos de acuerdo con los últimos conocimientos?	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Hasta qué punto estaban bien probados los métodos y componentes utilizados?	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí
¿Se puede detectar un fallo automáticamente?	No	No	No	Sí	Sí	Sí
¿Impide un fallo la ejecución de la función de seguridad correspondiente?	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
¿Cuándo se detectará el fallo?	Nunca	Nunca	Nunca	Pronto (a más tardar, al final de un intervalo de no más duración que un ciclo de la máquina)	Inmediatamente (cuando la señal pierde su carácter dinámico)	
		<b>En productos de consumo</b>		<b>Para utilizar en máquinas</b>		

Figura 58.74 • Un interruptor de acción positiva.



de manera que si los contactos normalmente cerrados (NC) están cerrados, todos los contactos NA tienen que estar abiertos y viceversa. Esto significa que, mediante el uso de contactos NC, se puede hacer una comprobación para determinar que los contactos de trabajo no están pegados o soldados).

#### Categoría 2

La categoría 2 permite la detección automática de fallos, que ha de generarse antes de cada movimiento peligroso. Sólo si la prueba da resultado positivo se puede ejecutar el movimiento; de lo contrario, la máquina se para. Los sistemas de detección automática de fallos se utilizan para barreras de luz, a fin de comprobar que siguen funcionando. Este principio se ilustra en la Figura 58.75.

Este sistema de control se prueba periódicamente (u ocasionalmente) introduciendo un impulso en la entrada. En un sistema que funcione correctamente, este impulso se transfiere a la salida y se compara con un impulso procedente de un generador de prueba. Cuando ambos impulsos están presentes, el sistema evidentemente funciona. Por el contrario, si no hay impulso de salida, puede afirmarse que el sistema falla.

#### Categoría 3

Los circuitos ya se han descrito en el ejemplo 3 del capítulo sobre seguridad de este artículo, Figura 58.72.

El requisito, es decir, la detección automática del fallo y la capacidad para realizar la función de seguridad incluso si se ha producido un fallo en otro lugar, se puede cumplir mediante estructuras de control de dos canales y la supervisión mutua de ambos canales.

Sólo en el caso de controles de máquinas es preciso investigar los fallos peligrosos. Nótese que hay dos tipos de fallos:

- *No peligrosos* son los que, después de ocurrir, dan lugar a un "estado seguro" de la máquina gracias a la desconexión del motor.
- *Peligrosos* son los que, después de ocurrir, dan lugar a un estado "no seguro" de la máquina porque el motor no se puede desconectar o puede ponerse en marcha inesperadamente.

#### Categoría 4

La categoría 4 corresponde normalmente a la aplicación en la entrada de una señal dinámica que cambia continuamente. La presencia de una señal dinámica en la salida significa *en marcha* ("1") y la ausencia de una señal dinámica significa *parado* ("0").

Para un circuito de este tipo, lo normal es que después del fallo de cualquier componente la señal dinámica no se encuentre en la salida. (Nota: el potencial estático en la salida es indiferente). Estos circuitos se pueden llamar "a prueba de fallos". Todos los fallos se manifiestan inmediatamente y no después del primer cambio (como en los circuitos de la categoría 3).

#### Otros comentarios sobre las categorías de control

La Tabla 58.5 se ha preparado para los controles habituales de las máquinas y muestra sólo las estructuras básicas de los circuitos. Según la directiva de maquinaria es preciso calcular partiendo de la hipótesis de que sólo se producirá un fallo en un ciclo de la máquina. Esta es la razón de que la función de seguridad no se tenga que realizar en el caso de dos fallos coincidentes. Se supone que un fallo se detectará dentro de un ciclo de la máquina. La máquina se parará y luego será reparada. El sistema de control se pondrá de nuevo en funcionamiento, con todas sus funciones y sin fallos.

La primera intención del diseñador debe consistir en impedir los fallos "permanentes" que no se detecten durante un ciclo, ya que podrían combinarse después con nuevos fallos (acumulación de fallos). Esta combinación (un fallo permanente y un nuevo fallo) puede originar un fallo de funcionamiento hasta en un circuito de categoría 3.

A pesar de estas tácticas, es posible que se produzcan dos fallos independientes al mismo tiempo y dentro del mismo ciclo de la máquina. Esto es muy improbable, especialmente si se utilizan componentes altamente fiables. Para aplicaciones de muy alto riesgo deben utilizarse tres o más subcanales. Esta filosofía está basada en el hecho de que el tiempo medio entre fallos es mucho más largo que el ciclo de la máquina.

Con todo, esto no significa que la tabla no se pueda ampliar. La Tabla 58.5 es muy similar, tanto en su base como en su estructura, a la tabla 2 de la norma EN 954-1. Con todo, no pretende incluir demasiados criterios de clasificación. Los requisitos están definidos según los rigurosos principios de la lógica, por lo que sólo cabe esperar respuestas claras (SI o NO). Esto permite una evaluación, ordenación y clasificación más exactas de los circuitos examinados (canales de seguridad), y asimismo una significativa mejora de la reproducibilidad de la evaluación.

Lo ideal sería clasificar los riesgos en varios niveles, establecer después un enlace definido entre ellos y categorías de riesgo, y todo ello independientemente de la tecnología utilizada. Ahora bien, esto no es totalmente posible. Poco después de crear las categorías se puso de manifiesto que incluso con la misma tecnología, varias preguntas no tenían respuesta suficiente. ¿Qué es mejor, un componente fiable y bien diseñado de la categoría 1 o un sistema que cumpla los requisitos de la categoría 3 con escasa fiabilidad?

Para salir de este dilema es necesario diferenciar entre dos cualidades: fiabilidad y seguridad (contra fallos). No son cualidades comparables, ya que tienen distintas características:

- El componente con la máxima fiabilidad tiene la desventaja de que en caso de fallo (aunque sea altamente improbable) la función dejará de ejecutarse.
- Los sistemas de la categoría 3, en los cuales incluso en caso de fallo se ejecuta la función, no son seguros contra dos fallos simultáneos (un factor que puede ser importante es si se han utilizado componentes suficientemente fiables).

Figura 58.75 • Circuito que incluye un detector de fallos.

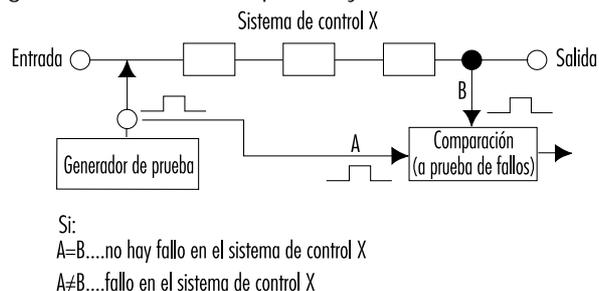
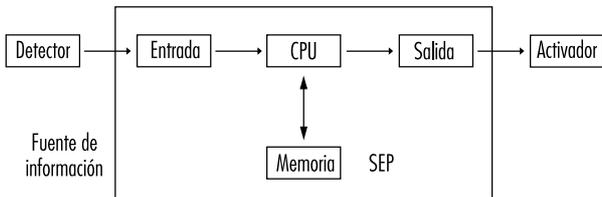


Figura 58.76 • Un circuito de SEP.



En vista de lo anterior, es posible que la mejor solución (desde el punto de vista del alto riesgo) consista en utilizar componentes muy fiables y configurarlos de manera que el circuito resulte seguro contra un fallo como mínimo (preferiblemente más). Es evidente que una solución de este tipo no será la más económica. En la práctica el proceso de optimización es, sobre todo, fruto de todas estas influencias y consideraciones.

La experiencia en el uso práctico de las categorías muestra que raras veces es posible diseñar un sistema de control que utilice exclusivamente una categoría. La combinación de dos o incluso tres componentes, cada uno de una categoría distinta, es corriente, como ilustra el siguiente ejemplo:

Muchas barreras de luz de seguridad se diseñan según la categoría 4, según la cual un canal funciona con una señal dinámica. En el extremo de este sistema hay normalmente dos subcanales supervisados mutuamente que funcionan con señales estáticas (esto cumple los requisitos de la categoría 3).

Según la norma EN 50100, estas barreras de luz se clasifican en la categoría de *Dispositivos de protección electrosensibles de tipo 4*, aunque constan de dos componentes. Lamentablemente no hay acuerdo en torno al modo de denominar los sistemas de control formados por dos o más componentes de categorías distintas.

### Sistemas electrónicos programables (SEP)

Los principios utilizados para crear la Tabla 58.5, también pueden aplicarse en general, con ciertas limitaciones como es natural, a los SEP.

#### Sistema con SEP en exclusiva

Al utilizar SEP para fines de control, la información se transfiere del sensor al activador a través de un gran número de componentes y pasa incluso "a través" del software (véase la Figura 58.76).

Aunque los modernos SEP son muy fiables, la fiabilidad no es tan alta como la que puede ser necesaria para procesar funciones de seguridad. Además, los sistemas de SEP habituales no son suficientemente seguros, ya que en caso de fallo no ejecutan la función de seguridad. Por tanto, el uso de SEP para procesar funciones de seguridad sin medidas adicionales no está permitido.

#### Aplicaciones de riesgo muy bajo: sistemas con un SEP y medidas adicionales

Cuando se usa un solo SEP para fines de control, el sistema consta de los siguientes componentes principales:

##### Componente de entrada

La fiabilidad de un sensor y una entrada de un SEP se puede mejorar duplicándolos. Esta configuración de entrada doble se puede supervisar además por software para comprobar si ambos subsistemas proporcionan la misma información. De esta manera se pueden detectar fallos en el componente de entrada. Es casi la misma filosofía que la exigida para la categoría 3. Ahora bien,

debido a que la supervisión se hace por software y una sola vez, se puede denominar 3- (o no tan fiable como 3).

##### Componente intermedio

Aunque este componente no es fácil de duplicar, se puede probar. Al proceder al encendido (o durante el funcionamiento) es posible comprobar el conjunto completo de instrucciones. Con los mismos intervalos se puede comprobar también la memoria mediante patrones de bits adecuados. Si estas pruebas se superan sin fallos, es evidente que ambos componentes (la CPU y la memoria) funcionan correctamente. El componente intermedio tiene ciertas características típicas de la categoría 4 (señal dinámica) y otras típicas de la categoría 2 (pruebas realizadas periódicamente en intervalos adecuados). El problema es que estas pruebas, a pesar de su amplitud, no pueden ser realmente completas, ya que el sistema de un único SEP intrínsecamente no lo permite.

##### Componente de salida

Igual que la entrada, la salida (incluidos los activadores) puede duplicarse. Ambos subsistemas se pueden supervisar con respecto al mismo resultado. Los fallos se detectan y la función de seguridad se ejecuta. Con todo, tiene los mismos puntos débiles que el componente de entrada. Por consiguiente, se elige en este caso la categoría 3.

En la Figura 58.77 la misma función se lleva a los relés *A* y *B*. Los contactos de control *a* y *b* informan entonces a dos sistemas de entrada si ambos relés están haciendo el mismo trabajo (a menos que se haya producido un fallo en uno de los canales). De nuevo, la supervisión corre a cargo del software.

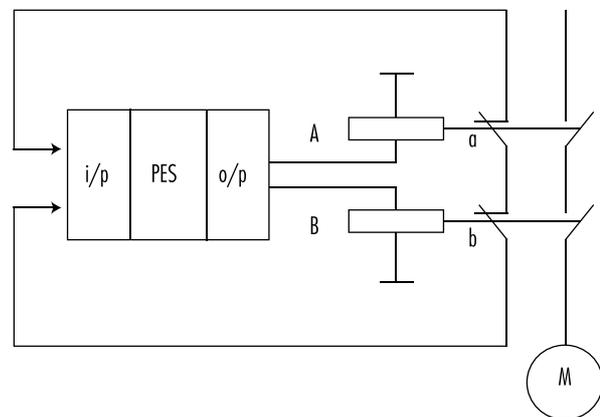
El sistema completo se puede clasificar en la categoría 3-/4/2/3- si se ha realizado correcta e íntegramente. No obstante, los puntos débiles de este tipo de sistemas, descritos anteriormente, no se pueden eliminar por completo. De hecho, actualmente los sistemas de un solo SEP para funciones de seguridad sólo se utilizan si los riesgos son muy bajos (Hölscher y Rader 1984).

#### Aplicaciones de riesgo bajo y medio con un SEP

Actualmente, casi todas las máquinas están equipadas con una unidad de control basada en un SEP. Para solucionar el problema de la insuficiente fiabilidad y la normalmente insuficiente seguridad contra fallos, suelen aplicarse los siguientes métodos de diseño:

- En máquinas relativamente sencillas, como ascensores, las funciones se dividen en dos grupos: (1) las funciones no

Figura 58.77 • Un circuito de SEP con un sistema de detección de fallos



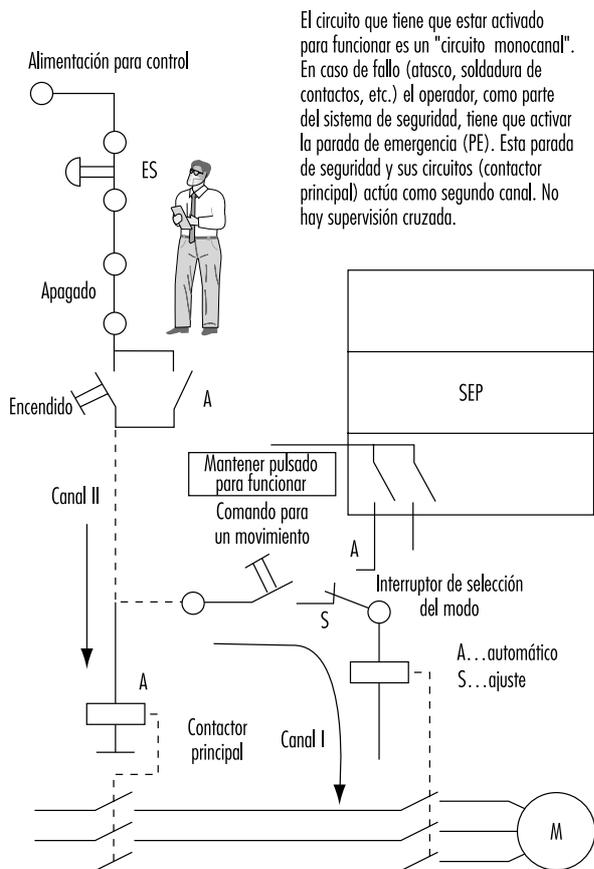
relacionadas con la seguridad, que son procesadas por el SEP, y (2) las relacionadas con la seguridad, que se combinan en una cadena (circuito de seguridad) y se procesan fuera del SEP (véase la Figura 58.78).

- El método anterior no es adecuado para máquinas más complejas. Una razón es que esas soluciones no suelen ser suficientemente seguras. Para aplicaciones de riesgo medio, las soluciones deben cumplir los requisitos de la categoría 3. En las Figuras 58.79 y 58.80 se presentan los rasgos generales de posibles concreciones de este tipo de diseños.

**Aplicaciones de riesgo alto: sistemas con dos (o más) SEP**

Aparte de la complejidad y el coste, no hay otros factores que impidan a los diseñadores utilizar SEP totalmente duplicados como Siemens Simatic S5-115F, 3B6 Typ CAR-MIL, etc. Estos suelen incorporar dos SEP idénticos con software homogéneo y suponen el uso de SEP y compiladores "probados" (se puede considerar "probado" un SEP o compilador si en numerosas aplicaciones prácticas durante tres o más años se ha demostrado que se ha eliminado todo fallo sistemático). Aunque estos sistemas de SEP duplicados no tienen los puntos débiles de los de un solo SEP, eso no significa que aquellos resuelvan todos los problemas (véase la Figura 58.81).

Figura 58.78 • Estado de la técnica en categoría de parada 0.



Fuente: según EN 60204-1: 1992, párrafo 9.2.2.

**Fallos sistemáticos**

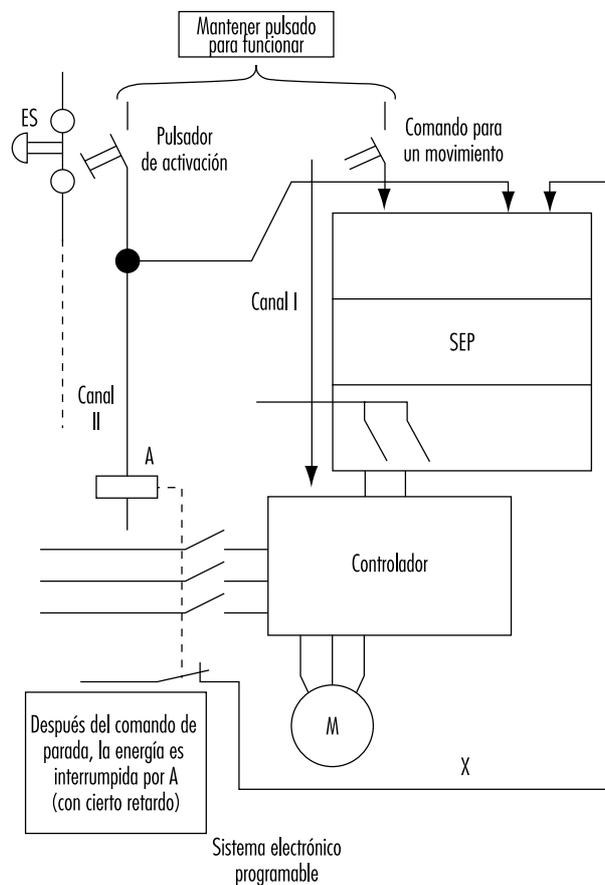
Los fallos sistemáticos pueden deberse a errores de especificación, diseño y otras causas y son posibles tanto en el soporte físico como en el soporte lógico. Los SEP dobles sirven para aplicaciones relacionadas con la seguridad. Estas configuraciones permiten la detección de fallos aleatorios del soporte físico. Mediante la diversificación del hardware, utilizando por ejemplo dos modelos distintos o productos de distintos fabricantes, podrían descartarse fallos sistemáticos del hardware (es altamente improbable que se produzca un fallo sistemático de hardware en ambos SEP).

**Software**

El software es un elemento nuevo en materia de seguridad. El software es correcto o incorrecto (respecto a los fallos). Una vez es correcto, no se puede tornar de pronto incorrecto (a diferencia del hardware). Los objetivos son erradicar todos los errores del software o al menos identificarlos.

Figura 58.79 • Estado de la técnica en categoría de parada 1.

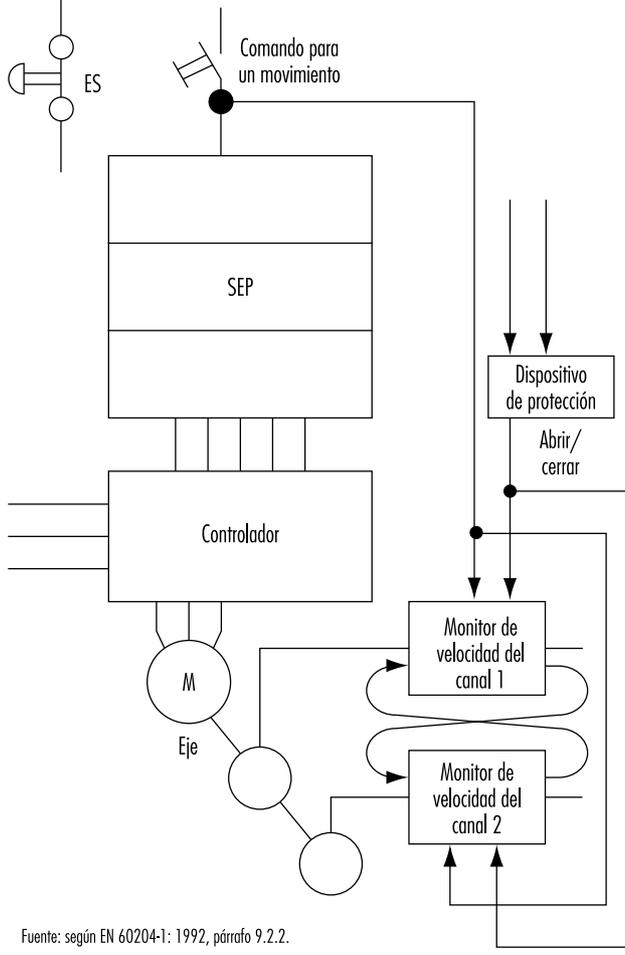
Para que funcione el accionamiento, el pulsador de activación y el pulsador de comando tienen que accionarse simultáneamente. Un fallo en el canal I no se detecta automáticamente. Sin embargo, para la mayoría de los fallos en el canal I, la máquina no funcionará correctamente y por tanto el operador advertirá el fallo. Un fallo en el canal II será detectado por el SEP (véase el circuito de vigilancia X). La interrupción del movimiento es segura (S), ya que la energía se interrumpe dos veces. La vigilancia cruzada se puede considerar casi completa.



Fuente: Según EN 60204-1: 1992, párrafo 9.2.2.

Figura 58.80 • Estado de la técnica en categoría de parada 2.

Los comandos de funcionamiento o parada los ejecuta el sistema operativo solo, que por sí mismo no es suficientemente seguro. Por consiguiente, es necesario un "sistema seguro de supervisión de la velocidad" adicional para "ausencia de movimiento" y "movimiento a velocidad baja". En caso de fallo del sistema operativo (SEP, unidad de control/accionamiento), el sistema adicional de supervisión de la velocidad detectará el estado no seguro y parará la máquina en condiciones de seguridad.



Fuente: según EN 60204-1: 1992, párrafo 9.2.2.

Hay varias maneras de alcanzar este objetivo. Una es la *verificación* del programa (una segunda persona intenta descubrir los errores en una prueba posterior). Otra posibilidad es la *diversidad* del software, mediante la cual dos programas distintos escritos por dos programadores diferentes tratan el mismo problema. Si los resultados son idénticos (dentro de ciertos límites), se puede suponer que ambos programas son correctos. Si son distintos, se puede suponer que hay errores. (Nota: Por supuesto, también hay que tener en cuenta la *arquitectura* del hardware).

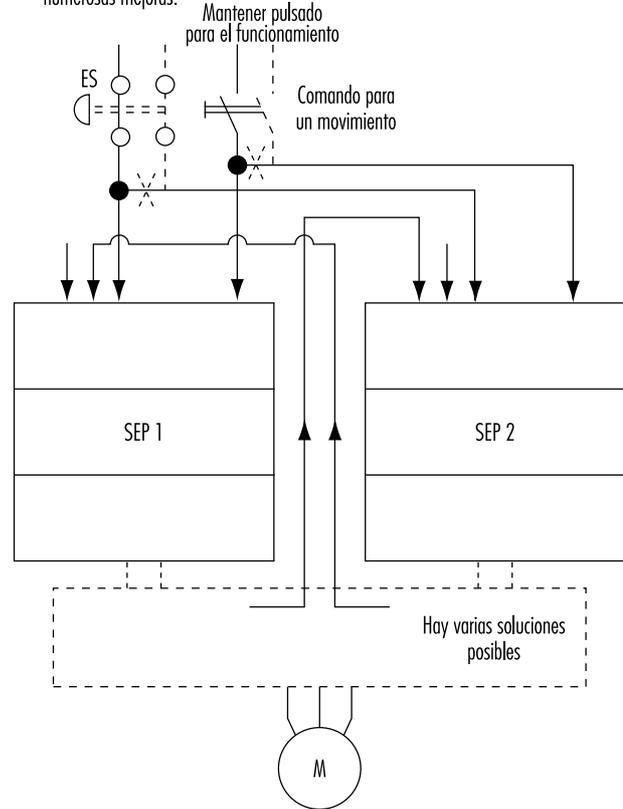
**Resumen**

En general, cuando se utilizan SEP hay que partir siempre de las siguientes consideraciones básicas (descritas en capítulos anteriores).

- Un sistema de control único sin redundancia se puede asignar a la categoría B. Un sistema de control único con medidas adicionales puede ser de categoría 1 o superior, pero nunca superior a la categoría 2.

Figura 58.81 • Sistema sofisticado con dos SEP.

Todas las funciones de seguridad se procesan electrónicamente, pero por dos SEP independientes con supervisión cruzada completa y permanente. Obsérvese que esta arquitectura describe sólo una arquitectura básica del sistema. Se pueden introducir numerosas mejoras.



- Un sistema de control de dos componentes con comparación recíproca de resultados se puede asignar a la categoría 3. Un sistema de control de dos componentes con comparación recíproca de resultados y más o menos diversificado se puede asignar a la categoría 3 y sirve para aplicaciones de riesgo más elevado.

Un nuevo factor es que para el sistema con un SEP es preciso evaluar incluso el software desde el punto de vista de la corrección. El software, si es correcto, es fiable al 100 %. En esta fase de desarrollo tecnológico no se utilizarán probablemente las mejores soluciones técnicas posibles y conocidas, ya que los factores limitadores siguen siendo económicos. Además, diversos grupos de expertos siguen desarrollando normas para aplicaciones de seguridad de SEP (por ejemplo, CE, EWICS). Aunque ya existen varias normas (VDE 0801, CEI 65A, etc.) este tema es tan amplio y complejo que ninguna se puede considerar definitiva.

**PRINCIPIOS DE SEGURIDAD PARA MAQUINAS HERRAMIENTA CNC**

*Toni Retsch, Guido Schmitter y Albert Marty*

Siempre que se automatizan equipos de producción sencillos y convencionales como máquinas herramienta, resultan sistemas técnicos complejos y nuevos peligros. Esta automatización se

logra mediante el uso de sistemas de control numérico por computador (CNC) en máquinas herramienta que pasan a llamarse *máquinas herramienta CNC* (por ejemplo, fresadoras, centros de mecanizado, taladradoras y rectificadoras). Para poder identificar los peligros potenciales intrínsecos de las máquinas herramienta automáticas, es necesario analizar las diversas modalidades de funcionamiento de cada sistema. Análisis anteriores indican la conveniencia de distinguir entre dos tipos de funcionamiento: normal y especial.

A menudo es imposible especificar requisitos de seguridad para máquinas herramienta CNC en forma de medidas específicas. Esto puede ser debido a que hay pocos reglamentos y normas específicos para estos equipos que ofrezcan soluciones concretas. Sólo es posible especificar los requisitos de seguridad si pueden determinarse sistemáticamente los peligros realizando un análisis de riesgos, especialmente si estos sistemas técnicos complejos tienen sistemas de control programables a voluntad (como ocurre con las máquinas herramienta CNC).

En el caso de las máquinas herramienta CNC de nueva concepción, el fabricante está obligado a realizar un análisis de riesgos del equipo para identificar los peligros presentes y mostrar, mediante soluciones de diseño, que se han eliminado todos los peligros para las personas en todas las modalidades posibles de funcionamiento. Todos los peligros identificados tienen que someterse a una evaluación de riesgos en la que cada riesgo de un suceso dependa del alcance de los daños y de la frecuencia con la que pueda ocurrir. Al peligro a evaluar se le asigna también una categoría de riesgo (minimizado, normal, aumentado). Siempre que no se pueda aceptar el riesgo a la luz de su evaluación, será necesario encontrar soluciones (medidas de seguridad). Estas soluciones tienen por objeto reducir la frecuencia y el alcance de los daños de un incidente no planificado y potencialmente peligroso (un "suceso").

Los planteamientos de las soluciones para riesgos normales y aumentados han de basarse en la tecnología de seguridad directa e indirecta; para los riesgos minimizados, se basarán en la tecnología de seguridad de referencia:

- *Tecnología de seguridad directa.* Se adoptan medidas en la fase de diseño para eliminar cualquier peligro (por ejemplo, la eliminación de puntos de cizallamiento y atenuado).
- *Tecnología de seguridad indirecta.* El peligro permanece; claro está que la adición de dispositivos técnicos impide que se convierta en un suceso (por ejemplo, tales medidas pueden incluir la prevención del acceso a elementos móviles peligrosos por medio de cubiertas físicas de seguridad, dispositivos de seguridad que cortan la alimentación, barreras de retención de elementos proyectados, uso de defensas, etc.).
- *Tecnología de seguridad de referencia.* Esta sólo es aplicable a peligros residuales y riesgos minimizados, es decir, peligros que pueden provocar un suceso como consecuencia de factores humanos. Dicho suceso se puede prevenir mediante un comportamiento adecuado de la persona afectada (por ejemplo, normas de conducta en manuales de funcionamiento y mantenimiento, formación del personal, etc.).

### Requisitos de seguridad internacionales

La Directiva sobre máquinas de la CE (89/392/CEE; véase el recuadro) de 1989 establece los principales requisitos de seguridad y salud en relación con las máquinas. (Según la directiva, se considera una máquina la suma total de componentes o dispositivos interconectados, de los cuales al menos uno se puede mover y tiene una función asociada). Además se elaboran normas específicas por parte de organismos internacionales de normalización para ilustrar posibles soluciones (por ejemplo, atendiendo a aspectos fundamentales de la seguridad o examinado equipos

eléctricos montados en máquinas industriales). La finalidad de estas normas es especificar objetivos de protección. Estos requisitos internacionales de seguridad proporcionan a los fabricantes la base jurídica necesaria para especificarlos en los análisis y evaluaciones de riesgos anteriormente mencionados.

### Modalidades de funcionamiento

Al utilizar máquinas herramienta se distingue entre funcionamiento especial y normal. Las estadísticas e investigaciones indican que la mayoría de accidentes e incidentes no tienen lugar durante el funcionamiento normal (es decir, durante la ejecución automática de cada tarea). Estos tipos de máquinas e instalaciones destacan en particular por modalidades de funcionamiento especiales, como la puesta en marcha, preparación, programación, pruebas de funcionamiento, comprobaciones, localización de averías o mantenimiento. En estas modalidades de funcionamiento, las personas suelen permanecer en una zona de peligro. El dispositivo de seguridad tiene que proteger al personal frente a sucesos perjudiciales en tales situaciones.

#### *Funcionamiento normal*

Cuando una máquina automática funciona normalmente ocurre lo siguiente: *a)* la máquina ejecuta el trabajo asignado para el que ha sido diseñada y construida, sin intervención adicional del operador, y *b)* aplicado a un torno sencillo, esto significa que torne la pieza a la forma correcta y que se desprenden virutas. Si se cambia manualmente la pieza, el cambio es una modalidad de funcionamiento especial.

#### *Modalidades de funcionamiento especiales*

Las modalidades de funcionamiento especiales son procesos de trabajo imprescindibles para el funcionamiento normal. Bajo esta denominación se incluirían, por ejemplo, cambios de piezas o herramientas, rectificación de un error en un proceso de producción, preparación, programación, pruebas de funcionamiento, limpieza y mantenimiento. En funcionamiento normal, los sistemas automáticos ejecutan las tareas asignadas independientemente. Con todo, desde el punto de vista de la seguridad del trabajador, el funcionamiento automático normal es crítico cuando el operador tiene que intervenir en los procesos de trabajo. De ningún modo las personas que intervienen en tales procesos deberán exponerse a un peligro.

#### **Personal**

Al considerar la protección de máquinas herramienta es necesario tener en cuenta a las personas que trabajan en las distintas modalidades de funcionamiento y también a terceros. Entre estos últimos se incluyen a quienes se ven afectados indirectamente por la máquina, como capataces, inspectores, auxiliares que transportan el material y realizan trabajos de desmontaje, visitantes y otros.

### Exigencias y medidas de seguridad para los accesorios de máquinas

Las intervenciones en tareas asociadas a modalidades de funcionamiento especiales suponen que es necesario utilizar accesorios especiales para asegurar que el trabajo se podrá realizar con seguridad. El *primer tipo* de accesorios incluye los equipos y elementos utilizados para intervenir en procesos automáticos sin que el operador tenga que acceder a una zona peligrosa. Este tipo de accesorios incluye: (1) ganchos y tenazas para virutas que se han diseñado de manera que las virutas de la zona de la máquina puedan retirarse o extraerse a través de aberturas dispuestas en las defensas, y (2) dispositivos de fijación de la pieza de trabajo con los cuales el material de producción se puede introducir o retirar manualmente de un ciclo automático.

Varias modalidades de funcionamiento especiales, como por ejemplo los trabajos de reparación o mantenimiento, implican la intervención del personal en un sistema. También en estos casos existe una amplia gama de accesorios diseñados para aumentar la seguridad en el trabajo, por ejemplo, dispositivos para manipular muelas pesadas cuando éstas se cambian en las rectificadoras, así como eslingas especiales de grúas para desmontar o montar componentes pesados cuando se realizan revisiones generales de las máquinas. Estos dispositivos son el *segundo tipo* de accesorios de máquinas para aumentar la seguridad en el trabajo en modalidades especiales. También se puede considerar que los sistemas especiales de control del funcionamiento representan un segundo tipo de accesorios de máquinas. Con tales accesorios es posible desempeñar con seguridad actividades concretas. Por ejemplo, se puede poner un dispositivo en los ejes de la máquina cuando es necesario ejecutar movimientos de alimentación con las defensas abiertas.

Estos sistemas de control de modalidades especiales tienen que satisfacer requisitos de seguridad especiales. Por ejemplo, tienen que asegurar que sólo se realizará el movimiento necesario, en la forma necesaria y durante el tiempo necesario. Por tanto, el sistema de control tiene que diseñarse de manera que impida cualquier acción incorrecta que pueda traducirse en movimientos o estados peligrosos.

Los equipos que aumentan el grado de automatización de una instalación se pueden considerar una *tercera clase* de accesorios de máquinas para aumentar la seguridad en el trabajo. Acciones que antes se realizaban manualmente pasan a ejecutarse automáticamente por la máquina en régimen de funcionamiento normal con equipos como cargadoras de pórtico que cambian automáticamente las piezas de trabajo en las máquinas herramienta. La protección del funcionamiento automático normal origina pocos problemas, porque no es necesario que intervenga el operador y las potenciales intervenciones se pueden impedir mediante dispositivos de seguridad.

### Requisitos y medidas de seguridad para la automatización de máquinas herramienta

Por desgracia, la automatización no ha conducido a la eliminación de accidentes en las fábricas. Las investigaciones demuestran que sólo se ha producido un desplazamiento de los accidentes del régimen de funcionamiento normal al especial, debido sobre todo a la automatización del funcionamiento normal, de modo que las intervenciones durante la producción ya no son necesarias y el personal ya no está por tanto expuesto a peligros. Por otra parte, las máquinas muy automatizadas son sistemas complejos difíciles de evaluar cuando se producen fallos. Incluso los técnicos encargados de corregir fallos no siempre son capaces de hacerlo sin sufrir accidentes. El software necesario para hacer funcionar máquinas cada vez más complejas crece en volumen y complejidad, con el resultado de que sufren accidentes un número cada vez mayor de electricistas y técnicos de puesta en marcha. El software sin defectos no existe y toda variación del software comporta a menudo cambios en otros sitios, que no son esperados ni deseados. Para evitar que ello afecte a la seguridad, deben descartarse los comportamientos defectuosos y peligrosos debidos a influencias externas y fallos de componentes. Esta condición sólo se puede cumplir si el circuito de seguridad se diseña lo más sencillo posible y separado del resto de los controles. Los elementos o subconjuntos utilizados en el circuito de seguridad tienen que ser también a prueba de fallos.

Corresponde al diseñador desarrollar diseños que satisfagan los requisitos de seguridad. El diseñador no puede dejar de considerar atentamente los procedimientos de trabajo necesarios, incluidas las modalidades especiales. Es necesario hacer análisis para determinar qué procedimientos de seguridad en el

trabajo son necesarios y el personal operativo tiene que familiarizarse con ellos. En la mayoría de los casos se precisará un sistema de control para operaciones especiales. Normalmente, el sistema de control observa o controla un movimiento y evita al mismo tiempo que se inicie cualquier otro movimiento (ya que no se necesita ningún otro movimiento para este trabajo y el operador no lo espera). El sistema de control no tiene que llevar a cabo necesariamente las mismas tareas en las distintas modalidades de funcionamiento especiales.

### Requisitos y medidas de seguridad en modalidades de funcionamiento normales y especiales

#### **Funcionamiento normal**

La especificación de los requisitos de seguridad no debe impedir el progreso técnico porque es posible seleccionar soluciones adaptadas. El uso de máquinas herramienta CNC plantea las máximas exigencias con respecto al análisis y evaluación de riesgos y conceptos de seguridad. Lo que sigue es una descripción más detallada de varios objetivos de seguridad y posibles soluciones.

#### **Objetivo de seguridad**

- Es necesario impedir el acceso manual o físico a zonas peligrosas durante los movimientos automáticos.

#### **Posibles soluciones.**

- Impedir el acceso manual o físico a zonas peligrosas por medio de barreras mecánicas.
- Incorporar dispositivos de seguridad que respondan a la aproximación (barreras de luz, alfombrillas de seguridad) y paren la máquina con seguridad durante las intervenciones o en caso de acceso.
- Permitir el acceso manual o físico a la maquinaria (o a su proximidad) sólo cuando el sistema completo se encuentre en estado seguro (por ejemplo, mediante dispositivos de enclavamiento con mecanismos de cierre en las puertas de acceso).

#### **Objetivo de seguridad**

- Eliminar la posibilidad de que alguna persona resulte lesionada como consecuencia de la liberación de energía (elementos proyectados o haces de energía).

#### **Posible solución**

- Impedir la liberación de energía desde la zona de peligro, por ejemplo, mediante una cubierta de seguridad de dimensiones adecuadas.

#### **Funcionamiento especial**

Se precisan interfaces entre el funcionamiento normal y el especial (por ejemplo, dispositivos de enclavamiento de puertas, barreras de luz, alfombrillas de seguridad) para permitir que el sistema de control de seguridad reconozca automáticamente la presencia de personas. Seguidamente se describen algunas modalidades de funcionamiento especiales (por ejemplo, preparación, programación) en máquinas herramienta CNC que requieren movimientos que tienen que ser evaluados directamente en el lugar de trabajo.

#### **Objetivos de seguridad**

- Los movimientos han de ejecutarse exclusivamente de manera que no supongan un peligro para las personas afectadas. Dichos movimientos han de ejecutar siempre en la forma y a la velocidad programadas y durante el tiempo especificado.
- Sólo deberán emprenderse si es posible garantizar que ninguna parte del cuerpo humano se encuentra en la zona de peligro.

### Características principales de la Directiva sobre máquinas de la CEE

La Directiva del Consejo del 14 de junio de 1989 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas (89/392/EEC) será aplicable a cada estado individual.

- Cada Estado individual deberá integrar la directiva en su legislación.
- Válida desde el 1 de enero de 1993.
- Requiere que todos los fabricantes apliquen los últimos métodos.
- El fabricante tiene que preparar un archivo técnico de construcción que contenga información completa de todos los aspectos fundamentales de seguridad e higiene.
- El fabricante tiene que emitir la declaración de conformidad y la marca CE de las máquinas.
- Si no se pone documentación técnica completa a disposición de un centro de supervisión del estado, esto se considerará como un incumplimiento de las directrices de máquinas. La consecuencia puede ser la prohibición de su venta en toda la CEE.

### Objetivos de seguridad para la construcción y uso de máquinas herramientas CNC

#### 1. Tornos

##### 1.1 Modo normal de funcionamiento

- 1.1.1 La zona de trabajo estará protegida de modo que sea imposible alcanzar o situarse en zonas de peligro de movimientos automáticos, voluntaria o involuntariamente.
- 1.1.2 El cargador de herramientas estará protegido de modo que sea imposible alcanzar o situarse en zonas de peligro de movimientos automáticos, voluntaria o involuntariamente.
- 1.1.3 El cargador de piezas de trabajo estará protegido de modo que sea imposible alcanzar o situarse en zonas de peligro de movimientos automáticos, voluntaria o involuntariamente.
- 1.1.4 La retirada de virutas no podrá dar lugar a lesiones personales debido a las propias virutas o a elementos móviles de la máquina.
- 1.1.5 Deberán impedirse las lesiones personales debidas al acceso a sistemas de accionamiento.
- 1.1.6 Deberá impedirse la posibilidad de acceder a las zonas de peligro de los transportadores de virutas.
- 1.1.7 Los operadores y terceros no podrán sufrir lesiones debidas a piezas de trabajo o partes de las mismas que sean proyectadas.  
Por ejemplo, esto puede ocurrir:
- debido a sujeción insuficiente
  - debido a fuerza de corte inadmisibles
  - debido a velocidad de giro inadmisibles
  - debido a choque con la herramienta o elementos de la máquina
  - debido a rotura de la pieza de trabajo
  - debido a dispositivos de sujeción defectuosos
  - debido a fallo de la alimentación eléctrica
- 1.1.8 No se producirán lesiones personales como consecuencia de la proyección de dispositivos de sujeción de las piezas de trabajo
- 1.1.9 No se producirán lesiones personales como consecuencia de la proyección de virutas.
- 1.1.10 No se producirán lesiones personales como consecuencia de la proyección herramientas o partes de las mismas.  
Por ejemplo, esto puede ocurrir
- debido a defectos del material
  - debido a fuerza de corte inadmisibles
  - debido a choque con la pieza de trabajo o un elemento de la máquina
  - debido a apriete o sujeción inadecuados

##### 1.2 Modos especiales de funcionamiento

- 1.2.1 Cambio de la pieza de trabajo.
- 1.2.1.1 La sujeción de la pieza de trabajo deberá hacerse de modo que ninguna parte del cuerpo pueda quedar atrapada por los dispositivos de sujeción al cerrar y la pieza de trabajo o entre la punta del manguito que avanza y la pieza de trabajo.
- 1.2.1.2 Deberá evitarse el arranque de una unidad (ejes, husillos, manguitos, torretas o transportadores de virutas) como consecuencia de un comando incorrecto o no válido.
- 1.2.1.3 Deberá ser posible la manipulación sin peligro de la pieza de trabajo, manualmente o con herramientas.
- 1.2.2 Cambio de herramientas en el portaherramientas o en la torreta.
- 1.2.2.1 Deberán impedirse los peligros resultantes de un comportamiento defectuoso del sistema o de la introducción de un comando no válido.
- 1.2.3 Cambio de herramientas en el cargador de herramientas.
- 1.2.3.1 Deberán impedirse movimientos del cargador de herramientas resultantes de la introducción de un comando incorrecto o no válido durante el cambio de herramientas.
- 1.2.3.2 No será posible acceder a otros elementos móviles de la máquina desde la estación de carga de herramientas.
- 1.2.3.3 No será posible acceder a zonas de peligro en los movimientos sucesivos del cargador de herramientas o durante la búsqueda. Si se hace con las defensas para el funcionamiento normal desmontadas, estos movimientos sólo podrán ser del tipo designado, sólo se podrán realizar durante el período de tiempo establecido y sólo cuando se pueda asegurar que ninguna parte del cuerpo se encontrará en esas zonas de peligro.
- 1.2.4 Comprobación de las medidas.

- 1.2.4.1 El acceso a la zona de trabajo sólo será posible una vez que todos los movimientos se hayan detenido totalmente.
- 1.2.4.2 Deberá impedirse el arranque de una unidad como consecuencia de un comando incorrecto o no válido.
- 1.2.5 Preparación.
- 1.2.5.1 Si es necesario ejecutar movimientos durante la preparación con las defensas del modo normal de funcionamiento desmontadas, el operador deberá estar protegido por otros medios.
- 1.2.5.2 No deberá iniciarse ningún movimiento o cambio de movimiento peligroso como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.
- 1.2.6 Programación.
- 1.2.6.1 Durante la programación, no se podrá iniciar ningún movimiento que pueda poner en peligro a una persona situada en la zona de trabajo.
- 1.2.7 Fallo de producción.
- 1.2.7.1 Deberá impedirse el arranque de una unidad como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.
- 1.2.7.2 El movimiento o retirada de la pieza de trabajo o residuos no deberá dar lugar a movimientos o situaciones peligrosas.
- 1.2.7.3 Si es necesario realizar movimientos con las defensas del modo normal de funcionamiento desmontadas, estos movimientos sólo podrán ser del tipo designado, sólo se podrán realizar durante el período de tiempo establecido y sólo cuando se pueda asegurar que ninguna parte del cuerpo se encontrará en esas zonas de peligro.
- 1.2.8 Localización de averías.
- 1.2.8.1 Deberá impedirse el acceso a zonas de movimientos automáticos peligrosos.
- 1.2.8.2 Deberá impedirse el arranque de una unidad como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.
- 1.2.8.3 Deberá impedirse cualquier movimiento de la máquina al manipular la pieza defectuosa.
- 1.2.8.4 Deberán impedir lesiones personales debidas a la desintegración o caída de piezas de la máquina.
- 1.2.8.5 Si, durante la localización de averías, es necesario realizar movimientos con las defensas del modo normal de funcionamiento desmontadas, estos movimientos sólo podrán ser del tipo designado, sólo se podrán realizar durante el período de tiempo establecido y sólo cuando se pueda asegurar que ninguna parte del cuerpo se encontrará en esas zonas de peligro.
- 1.2.9 Funcionamiento incorrecto y reparación de la máquina.
- 1.2.9.1 Deberá impedirse el arranque de la máquina.
- 1.2.9.2 Deberá ser posible la manipulación sin ningún peligro de distintas partes de la máquina, manualmente o con herramientas.
- 1.2.9.3 No será posible tocar partes de la máquina bajo tensión.
- 1.2.9.4 No deberán producirse lesiones personales como consecuencia de la proyección de líquidos o gases.

## 2. Fresadoras

### 2.1 Modo normal de funcionamiento

- 2.1.1 La zona de trabajo deberá protegerse de modo que sea imposible alcanzar o situarse en zonas de peligro de movimientos automáticos, voluntaria o involuntariamente.
- 2.1.2 La retirada de virutas no dará lugar a lesiones personales debido a las propias virutas o a elementos móviles de la máquina.
- 2.1.3 Deberá impedirse cualquier lesión personal debida al acceso a sistemas de accionamiento.  
Los operadores y terceros no podrán sufrir lesiones debidas a piezas de trabajo o partes de las mismas que sean proyectadas.  
Por ejemplo, esto puede ocurrir
  - debido a sujeción insuficiente
  - debido a fuerza de corte inadmisibles
  - debido a choque con la herramienta o elementos de la máquina
  - debido a rotura de la pieza de trabajo
  - debido a dispositivos de sujeción defectuosos
  - debido a fallo de la alimentación eléctrica
- 2.1.4 No deberán producirse lesiones personales como consecuencia de dispositivos de sujeción de la pieza de trabajo que sean proyectados.
- 2.1.5 No deberán producirse lesiones personales como consecuencia de la proyección de virutas.
- 2.1.6 No deberán producirse lesiones personales como consecuencia de herramientas o partes de las mismas que sean proyectadas.  
Por ejemplo, esto puede ocurrir
  - debido a defectos del material
  - debido a velocidad de giro inadmisibles
  - debido a fuerza de corte inadmisibles
  - debido a choque con la pieza de trabajo o parte de la máquina
  - debido a sujeción o apriete inadecuados
  - debido a fallo de la alimentación eléctrica

### 2.2 Modos especiales de funcionamiento

- 2.2.1 Cambio de la pieza de trabajo.
- 2.2.1.1 Si se utilizan dispositivos de sujeción motorizados, no deberá ser posible que ninguna parte del cuerpo sea atrapada entre las piezas que cierran de los dispositivos de fijación y la pieza de trabajo.
- 2.2.1.2 Deberá impedirse el arranque de una unidad (eje, husillo) como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.
- 2.2.1.3 Deberá ser posible la manipulación sin peligro de la pieza de trabajo, manualmente o con herramientas.

- 2.2.2 Cambio de herramientas.
  - 2.2.2.1 Deberá impedirse el arranque de una unidad como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.
  - 2.2.2.2 No deberá ser posible que los dedos sean atrapados al colocar herramientas.
- 2.2.3 Comprobación de las medidas.
  - 2.2.3.1 El acceso a la zona de trabajo sólo será posible después de haber detenido todos los movimientos por completo.
  - 2.2.3.2 Deberá impedirse el arranque de una unidad como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.
- 2.2.4 Preparación.
  - 2.2.4.1 Si es necesario ejecutar movimientos durante la preparación con las defensas del modo normal de funcionamiento desmontadas, el operador deberá estar protegido por otros medios.
  - 2.2.4.2 No deberá iniciarse ningún movimiento o cambio de movimiento peligroso como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.
- 2.2.5 Programación.
  - 2.2.5.1 Durante la programación, no se podrá iniciar ningún movimiento que pueda poner en peligro a una persona situada en la zona de trabajo.
- 2.2.6 Fallo de producción.
  - 2.2.6.1 Deberá impedirse el arranque de una unidad como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.
  - 2.2.6.2 El movimiento o retirada de la pieza de trabajo o residuos no deberá dar lugar a movimientos o situaciones peligrosas.
  - 2.2.6.3 Si es necesario realizar movimientos con las defensas del modo normal de funcionamiento desmontadas, estos movimientos sólo podrán ser del tipo designado, sólo se podrán realizar durante el período de tiempo establecido y sólo cuando se pueda asegurar que ninguna parte del cuerpo se encontrará en esas zonas de peligro.
- 2.2.7 Localización de averías.
  - 2.2.7.1 Deberá impedirse el acceso a zonas de movimientos automáticos peligrosos.
  - 2.2.7.2 Deberá impedirse el arranque de una unidad como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.
  - 2.2.7.3 Deberá impedirse cualquier movimiento de la máquina al manipular la pieza defectuosa.
  - 2.2.7.4 Deberán impedirse lesiones personales debidas a la desintegración o caída de piezas de la máquina.
  - 2.2.7.5 Si, durante la localización de averías, es necesario realizar movimientos con las defensas del modo normal de funcionamiento desmontadas, estos movimientos sólo podrán ser del tipo designado, sólo se podrán realizar durante el período de tiempo establecido y sólo cuando se pueda asegurar que ninguna parte del cuerpo se encontrará en esas zonas de peligro.
- 2.2.8 Funcionamiento incorrecto y reparación de la máquina.
  - 2.2.8.1 Deberá impedirse el arranque de la máquina.
  - 2.2.8.2 Deberá ser posible la manipulación sin ningún peligro de distintas partes de la máquina, manualmente o con herramientas.
  - 2.2.8.3 No será posible tocar partes de la máquina bajo tensión.
  - 2.2.8.4 No deberán producirse lesiones personales como consecuencia de la proyección de líquidos o gases.

### 3. Centros de mecanizado

#### 3.1 Modo normal de funcionamiento

- 3.1.1 La zona de trabajo estará protegida de modo que sea imposible alcanzar o situarse en zonas de peligro de movimientos automáticos, voluntaria o involuntariamente.
- 3.1.2 El cargador de herramientas estará protegido de modo que sea imposible alcanzar o situarse en zonas de peligro de movimientos automáticos, voluntaria o involuntariamente.
- 3.1.3 El cargador de piezas de trabajo estará protegido de modo que sea imposible alcanzar o situarse en zonas de peligro de movimientos automáticos, voluntaria o involuntariamente.
- 3.1.4 La retirada de virutas dará lugar a lesiones personales debido a las propias virutas o a elementos móviles de la máquina.
- 3.1.5 Deberán evitarse las lesiones personales debidas al acceso a sistemas de accionamiento.
- 3.1.6 Deberá evitarse la posibilidad de acceder a las zonas de peligro de los transportadores de virutas.
- 3.1.7 Los operadores y terceros no deberán poder sufrir lesiones debidas a piezas de trabajo o partes de las mismas que sean proyectadas.
 

Por ejemplo, esto puede ocurrir:

  - debido a sujeción insuficiente
  - debido a fuerza de corte inadmisibles
  - debido a choque con la herramienta o elementos de la máquina
  - debido a rotura de la pieza de trabajo
  - debido a dispositivos de sujeción defectuosos
  - debido a cambio a una pieza de trabajo incorrecta
  - debido a fallo de la alimentación eléctrica
- 3.1.8 No se producirán lesiones personales como consecuencia de la proyección de dispositivos de sujeción de las piezas de trabajo
- 3.1.9 No se producirán lesiones personales como consecuencia de la proyección de virutas.
- 3.1.10 No se producirán lesiones personales como consecuencia de la proyección de herramientas o partes de las mismas.
 

Por ejemplo, esto puede ocurrir:

  - debido a defectos del material
  - debido a velocidad de giro inadmisibles
  - debido a fuerza de corte inadmisibles
  - debido a choque con la pieza de trabajo o un elemento de la máquina

- debido a apriete o sujeción inadecuados
- debido a salir proyectada la herramienta del cambiador de herramientas
- debido a la selección de una herramienta incorrecta
- debido a fallo de la alimentación eléctrica

### 3.2 Modos especiales de funcionamiento

#### 3.2.1 Cambio de la pieza de trabajo.

3.2.1.1 Si se utilizan dispositivos de fijación motorizados, no deberá ser posible que ninguna parte del cuerpo sea atrapada entre las piezas que cierran de los dispositivos de fijación y la pieza de trabajo.

3.2.1.2 Deberá impedirse el arranque de una unidad (eje, husillo) como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.

3.2.1.3 Deberá ser posible la manipulación sin peligro de la pieza de trabajo, manualmente o con herramientas.

3.2.1.4 Si las piezas de trabajo se cambian en una estación de sujeción, no deberá ser posible acceder o situarse en zonas de secuencias automáticas de movimientos de la máquina o del cargador de piezas. El control no deberá iniciar ningún movimiento estando presente una persona en la zona de sujeción.

La inserción automática de la pieza de trabajo sujeta en la máquina o cargador de piezas de trabajo sólo tendrá lugar cuando la estación de sujeción esté protegida por un sistema de protección equivalente al del modo normal de funcionamiento.

#### 3.2.2 Cambio de herramientas en el eje.

3.2.2.1 Deberá impedirse el arranque de una unidad como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.

3.2.2.2 No deberá ser posible que los dedos queden atrapados al colocar herramientas.

#### 3.2.3 Cambio de herramientas en el cargador de herramientas.

3.2.3.1 Durante el cambio de herramientas, deberán impedirse los movimientos debidos a la introducción de comandos incorrectos o no válidos.

3.2.3.2 No será posible acceder a otras piezas móviles de la máquina desde la estación de carga de herramientas.

3.2.3.3 No será posible acceder a zonas de peligro en movimientos sucesivos del cargador de herramientas o durante la búsqueda. Si se hace con las defensas para el funcionamiento normal desmontadas, estos movimientos sólo podrán ser del tipo designado, sólo se podrán realizar durante el período de tiempo establecido y sólo cuando se pueda asegurar que ninguna parte del cuerpo se encontrará en esas zonas de peligro.

#### 3.2.4 Comprobación de medidas.

3.2.4.1 El acceso a la zona de trabajo sólo será posible después de haber detenido todos los movimientos por completo.

3.2.4.2 Deberá impedirse el arranque de una unidad como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.

#### 3.2.5 Preparación.

3.2.5.1 Si es necesario ejecutar movimientos durante la preparación con las defensas del modo normal de funcionamiento desmontadas, el operador deberá estar protegido por otros medios.

3.2.5.2 No deberá iniciarse ningún movimiento o cambio de movimiento peligroso como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.

#### 3.2.6 Programación

3.2.6.1 Durante la programación, no se podrá iniciar ningún movimiento que pueda poner en peligro a una persona situada en la zona de trabajo.

#### 3.2.7 Fallo de producción.

3.2.7.1 Deberá impedirse el arranque de una unidad como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.

3.2.7.2 El movimiento o retirada de la pieza de trabajo o residuos no deberá dar lugar a movimientos o situaciones peligrosas.

3.2.7.3 Si es necesario realizar movimientos con las defensas del modo normal de funcionamiento desmontadas, estos movimientos sólo podrán ser del tipo designado, sólo se podrán realizar durante el período de tiempo establecido y sólo cuando se pueda asegurar que ninguna parte del cuerpo se encontrará en esas zonas de peligro.

#### 3.2.8 Localización de averías.

3.2.8.1 Deberá impedirse el acceso a zonas de movimientos automáticos peligrosos.

3.2.8.2 Deberá impedirse el arranque de una unidad como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.

3.2.8.3 Deberá impedirse cualquier movimiento de la máquina al manipular la pieza defectuosa.

3.2.8.4 Deberán impedirse lesiones personales debidas a la desintegración o caída de piezas de la máquina.

3.2.8.5 Si, durante la localización de averías, es necesario realizar movimientos con las defensas del modo normal de funcionamiento desmontadas, estos movimientos sólo podrán ser del tipo designado, sólo se podrán realizar durante el período de tiempo establecido y sólo cuando se pueda asegurar que ninguna parte del cuerpo se encontrará en esas zonas de peligro.

#### 3.2.9 Funcionamiento incorrecto y reparación de la máquina

3.2.9.1 Deberá impedirse el arranque de la máquina.

3.2.9.2 Deberá ser posible la manipulación sin ningún peligro de distintas partes de la máquina, manualmente o con herramientas

3.2.9.3 No será posible tocar partes de la máquina bajo tensión.

3.2.9.4 No deberán producirse lesiones personales como consecuencia de la proyección de líquidos o gases.

## 4. Rectificadoras

### 4.1 Modo normal de funcionamiento

- 4.1.1 La zona de trabajo se tiene que proteger de modo que sea imposible alcanzar o situarse en zonas de peligro de movimientos automáticos, voluntaria o involuntariamente.
- 4.1.2 Deberán impedirse las lesiones personales debidas al acceso a sistemas de accionamiento.
- 4.1.3 Los operadores y terceros no deberán poder sufrir lesiones debidas a piezas de trabajo o partes de las mismas que sean proyectadas.  
Por ejemplo, esto puede ocurrir:
- debido a sujeción insuficiente
  - debido a fuerza de corte inadmisibile
  - debido a velocidad de giro inadmisibile
  - debido a choque con la herramienta o elementos de la máquina
  - debido a rotura de la pieza de trabajo
  - debido a dispositivos de sujeción defectuosos
  - debido a fallo de la alimentación eléctrica
- 4.1.4 No deberán producirse lesiones personales debido a la proyección de dispositivos de fijación de la pieza de trabajo.
- 4.1.5 No deberán producirse lesiones personales o incendios a causa de las chispas.
- 4.1.6 No deberán producirse lesiones personales debidas a fragmentos de las muelas que sean proyectados.  
Por ejemplo, esto puede ocurrir
- debido a velocidad de giro inadmisibile
  - debido a fuerza de corte inadmisibile
  - debido a defectos de material
  - debido a choque con la pieza de trabajo o un elemento de la máquina
  - debido a sujeción inadecuada (bridas)
  - debido al uso de una muela inadecuado

### 4.2 Modos especiales de funcionamiento

- 4.2.1 Cambio de la pieza de trabajo.
- 4.2.1.1 Si se utilizan dispositivos de fijación motorizados, no deberá ser posible que ninguna parte del cuerpo sea atrapada entre las piezas que cierran de los dispositivos de fijación y la pieza de trabajo.
- 4.2.1.2 Deberá impedirse el arranque de una unidad de alimentación como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.
- 4.2.1.3 Deberán impedirse lesiones personales causadas por la muela en movimiento al manipular la pieza de trabajo.
- 4.2.1.4 No deberán ser posibles lesiones personales debidas a la desintegración de una muela.
- 4.2.1.5 Deberá ser posible la manipulación sin ningún peligro de la pieza de trabajo, manualmente o con herramientas.
- 4.2.2 Cambio de herramientas (cambio de la muela)
- 4.2.2.1 Deberá impedirse el arranque de una unidad de alimentación como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.
- 4.2.2.2 Durante los procedimientos de medida, no deberán ser posibles lesiones causadas por la muela en movimiento.
- 4.2.2.3 No deberán ser posibles lesiones causadas por la desintegración de una muela.
- 4.2.3 Comprobación de medidas.
- 4.2.3.1 Deberá impedirse el arranque de una unidad de alimentación como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.
- 4.2.3.2 Durante los procedimientos de medida, no deberán ser posibles lesiones causadas por la muela en movimiento.
- 4.2.3.3 No deberán ser posibles lesiones causadas por la desintegración de una muela.
- 4.2.4 Preparación.
- 4.2.4.1 Si es necesario ejecutar movimientos durante la preparación con las defensas del modo normal de funcionamiento desmontadas, el operador deberá estar protegido por otros medios.
- 4.2.4.2 No deberá iniciarse ningún movimiento o cambio de movimiento peligroso como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.
- 4.2.5 Programación
- 4.2.5.1 Durante la programación, no se podrá iniciar ningún movimiento que pueda poner en peligro a una persona situada en la zona de trabajo.
- 4.2.6 Fallo de producción.
- 4.2.6.1 Deberá impedirse el arranque de una unidad de alimentación como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.
- 4.2.6.2 El movimiento o retirada de la pieza de trabajo o residuos no deberá dar lugar a movimientos o situaciones peligrosas.
- 4.2.6.3 Si es necesario realizar movimientos con las defensas del modo normal de funcionamiento desmontadas, estos movimientos sólo podrán ser del tipo designado, sólo se podrán realizar durante el período de tiempo establecido y sólo cuando se pueda asegurar que ninguna parte del cuerpo se encontrará en esas zonas de peligro.
- 4.2.6.4 Deberán impedirse las lesiones personales debidas a la muela en movimiento.
- 4.2.6.5 No deberán ser posibles lesiones personales debidas a la desintegración de una muela.
- 4.2.7 Localización de averías
- 4.2.7.1 Deberá impedirse el acceso a las zonas de peligro de movimientos automáticos.

- 4.2.7.2 Deberá impedirse el arranque de una unidad como consecuencia de la introducción de un comando incorrecto o no válido.
- 4.2.7.3 Deberá impedirse cualquier movimiento de la máquina durante la manipulación de la parte defectuosa.
- 4.2.7.4 Deberán impedirse lesiones personales resultantes de la fragmentación o caída de una parte de la máquina.
- 4.2.7.5 Deberán impedirse las lesiones personales del operador como consecuencia del contacto con la muela en movimiento o de la desintegración de ésta.
- 4.2.7.6 Si, durante la localización de averías, es necesario realizar movimientos con las defensas del modo normal de funcionamiento desmontadas, estos movimientos sólo podrán ser del tipo designado, sólo se podrán realizar durante el período de tiempo establecido y sólo cuando se pueda asegurar que ninguna parte del cuerpo se encontrará en esas zonas de peligro.
- 4.2.8 Funcionamiento incorrecto y reparación de la máquina
  - 4.2.8.1 Deberá impedirse el arranque de la máquina.
  - 4.2.8.2 Deberá ser posible la manipulación sin ningún peligro de distintas partes de la máquina, manualmente o con herramientas
  - 4.2.8.3 No será posible tocar partes de la máquina bajo tensión.
  - 4.2.8.4 No deberán producirse lesiones personales como consecuencia de la proyección de líquidos o gases.

#### Possible solución

- Instalar sistemas especiales de control del funcionamiento que sólo permitan movimientos controlables y ajustables, como un control inmediato por medio de pulsadores del tipo de "acuse de recibo". Así se reduce de forma segura la velocidad de los movimientos (siempre que la energía se haya reducido por medio de un transformador separador de circuitos o un dispositivo de supervisión del estado de seguridad a prueba de fallo similar).

#### Requisitos de los sistemas de control de seguridad

Una de las características de un sistema de control de seguridad tiene que ser que esté garantizada la ejecución de la función de seguridad independientemente de cualquier fallo que se produzca, para trasladar los procesos de un estado peligroso a otro seguro.

#### Objetivos de seguridad

- Un fallo en el sistema de control de seguridad no debe provocar un estado peligroso.
- Un fallo en el sistema de control de seguridad tiene que ser identificado (inmediatamente o a intervalos).

#### Posibles soluciones

- Instalar sistemas de control electromecánicos redundantes y diversos, incluidos circuitos de prueba.
- Instalar sistemas de control por microprocesador redundantes y diversificados, desarrollados por equipos distintos. Este planteamiento se considera acorde con el estado de la técnica, por ejemplo, en el caso de las barreras de luz de seguridad.

#### Conclusiones

Es evidente que la tendencia al aumento de los accidentes en las modalidades de funcionamiento normal y especial no se podrá detener sin un concepto de seguridad claro e inequívoco. Es necesario tener en cuenta este hecho al elaborar reglamentos y normas de seguridad. Se precisan nuevas directrices en forma de objetivos de seguridad para poder llegar a soluciones avanzadas. Estos objetivos permiten a los diseñadores elegir la solución óptima y demostrar al mismo tiempo las características de seguridad de sus máquinas de una forma bastante sencilla, describiendo una solución correspondiente a cada objetivo de seguridad. Esta solución se puede comparar entonces con otras soluciones existentes y aceptadas, y si es mejor, o al menos tiene el mismo valor, se podrá elegir entonces una nueva solución. De esta manera, el progreso no se verá obstaculizado por reglamentos formulados con estrechez de miras.

## PRINCIPIOS DE SEGURIDAD PARA ROBOTS INDUSTRIALES

*Toni Retsch, Guido Schmitter y Albert Marty*

Los robots industriales se emplean en toda la industria, y concretamente en los lugares de trabajo donde se exige una productividad elevada. Ahora bien, el uso de robots requiere el diseño, aplicación e implantación de controles de seguridad apropiados para no crear peligros para el personal de producción, programadores, técnicos de mantenimiento e ingenieros de sistemas.

### ¿Por qué son peligrosos los robots industriales?

Una definición del robot es: "máquinas automáticas móviles programables a voluntad y capaces de funcionar con una interfaz humana reducida o nula". Estos tipos de máquinas se utilizan actualmente en muchas aplicaciones industriales y médicas, incluida la formación. Los robots industriales se utilizan cada vez más para funciones fundamentales como nuevas estrategias de fabricación (CIM, JIT, producción ajustada sin piezas sobrantes, etc.) en instalaciones complejas. Su número y ámbito de aplicación y la complejidad de los equipos e instalaciones dan lugar a peligros como los siguientes:

- movimientos y secuencias de movimientos que son casi imposibles de seguir, ya que los movimientos a alta velocidad de los robots dentro de su radio de acción se solapan a menudo con los de otras máquinas y equipos;
- liberación de energía en forma de partículas proyectadas o haces de energía como los emitidos por láseres o chorros de agua;
- libertad de programación en términos de dirección y velocidad;
- susceptibilidad a errores inducidos del exterior (por ejemplo, compatibilidad electromagnética),
- factores humanos.

Según investigaciones realizadas en Japón, más del 50 % de los accidentes de trabajo con robots pueden atribuirse a fallos de los circuitos electrónicos de los sistemas de control. Según las mismas investigaciones, los errores humanos son responsables de menos del 20 % de los accidentes. La conclusión lógica de esto es que los peligros debidos a fallos del sistema no se pueden evitar con medidas relativas al comportamiento del personal. Por tanto, diseñadores y operadores tienen que aportar y aplicar medidas técnicas de seguridad (véase la Figura 58.82).

Figura 58.82 • Sistema especial de control del funcionamiento para la preparación de un robot de soldadura móvil.



**Accidentes y modalidades de funcionamiento**

A principios del decenio de 1980 comenzaron a producirse accidentes mortales relacionados con robots. Las estadísticas e investigaciones indican que la mayoría de accidentes e incidentes no tienen lugar durante el funcionamiento normal (ejecución automática de la tarea asignada). Cuando se trabaja con máquinas e instalaciones de robots industriales cobran mayor importancia las modalidades de funcionamiento especiales, como la puesta en marcha, preparación, programación, pruebas de funcionamiento, localización de averías o mantenimiento. En estas modalidades de funcionamiento, las personas se encuentran normalmente en zonas de peligro. El concepto de seguridad tiene que proteger a las personas frente a sucesos negativos en situaciones de este tipo.

**Requisitos de seguridad internacionales**

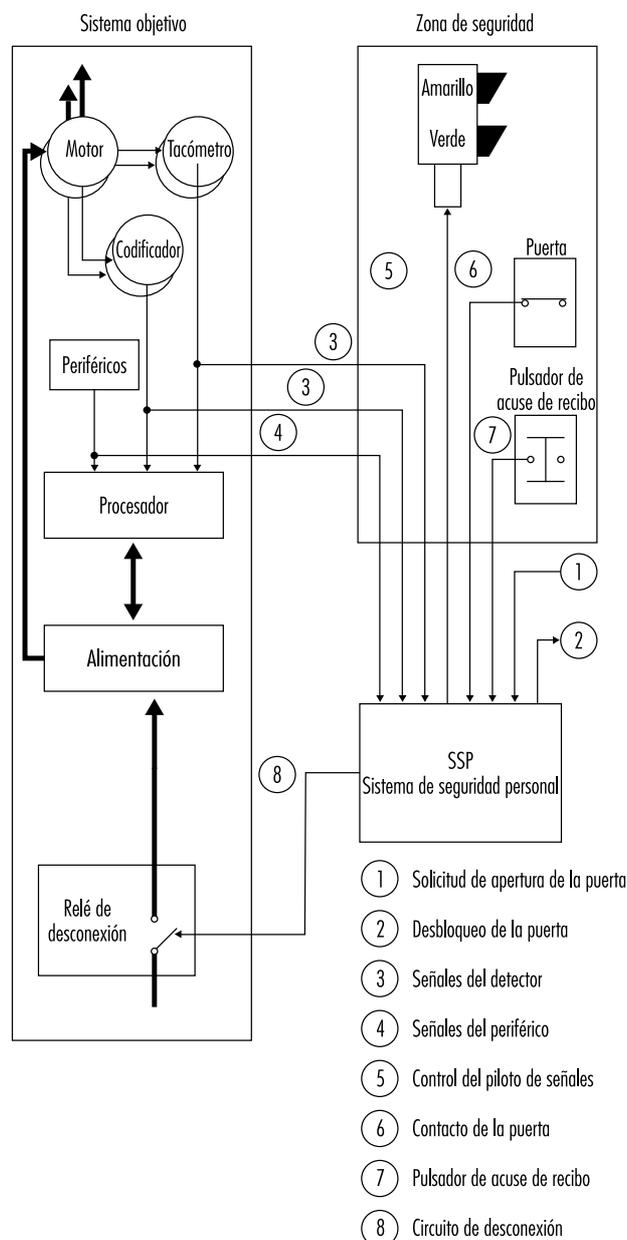
La Directiva de Maquinaria de la CEE de 1989 (89/392/CEE (véase el artículo "Principios de seguridad para máquinas herramienta CNC" en este capítulo y otras partes de esta *Enciclopedia*) establece los principales requisitos de seguridad y salud en relación con las máquinas. Una máquina se considera la suma total de elementos o dispositivos interconectados de los cuales uno al menos puede moverse y ejerce una función asociada. Si se trata de robots industriales debe tenerse en cuenta que es el sistema completo y no un solo equipo de la máquina el que tiene que cumplir los requisitos de seguridad y tiene que estar equipado con los dispositivos de seguridad apropiados. El análisis de peligros y la evaluación de riesgos son métodos adecuados para determinar si se cumplen estos requisitos (véase la Figura 58.83).

**Requisitos y medidas de seguridad en régimen de funcionamiento normal**

El uso de la tecnología de robots plantea las máximas exigencias en cuanto a análisis de peligros, evaluación de riesgos y conceptos de seguridad. Por esta razón, los ejemplos y sugerencias siguientes son sólo orientativos:

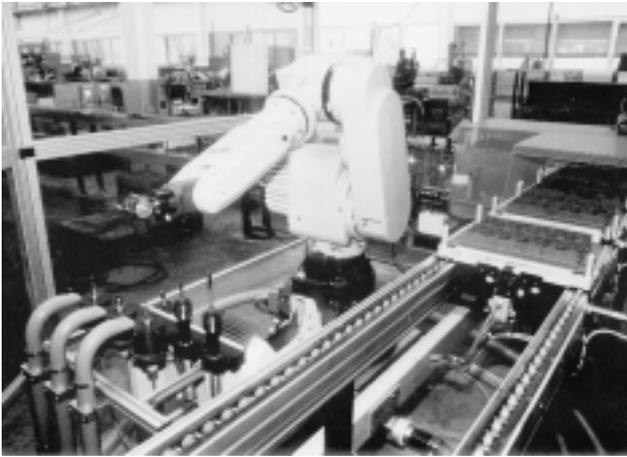
1. Dado el objetivo de seguridad de que es necesario impedir el acceso manual o físico a zonas peligrosas en las que se realicen movimientos automáticos, las soluciones sugeridas incluyen las siguientes:
  - Impedir el acceso manual o físico a zonas peligrosas por medio de barreras mecánicas.

Figura 58.83 • Diagrama de bloques de un sistema de seguridad personal.



- Utilizar dispositivos de seguridad de un tipo que responda a la aproximación (barreras de luz, alfombrillas de seguridad) y que paren la máquina con seguridad cuando se produzca un acceso o penetración.
  - Permitir el acceso manual o físico sólo cuando el sistema completo se encuentre en un estado seguro. Por ejemplo, esto se puede lograr mediante dispositivos de enclavamiento con mecanismos de cierre de las puertas de acceso.
2. Dado el objetivo de seguridad de que ninguna persona resulte lesionada como consecuencia de la liberación de energía (partículas proyectadas o haces de energía), las soluciones sugeridas incluyen:
    - El diseño debe impedir toda liberación de energía (por ejemplo, conexiones bien dimensionadas, dispositivos

Figura 58.84 • Robot industrial de seis ejes en una jaula de seguridad con puertas de entrada de materiales.



pasivos de enclavamiento para mecanismos de cambio de mordazas, etc.).

- Impedir la liberación de energía desde la zona de peligro, por ejemplo, mediante una cubierta de seguridad bien dimensionada.
3. Se precisan interfaces entre el funcionamiento normal y el especial (por ejemplo, dispositivos de enclavamiento de puertas, barreras de luz, alfombrillas de seguridad) para permitir que el sistema de control de seguridad reconozca la presencia de personas.

### Exigencias y medidas de seguridad en modalidades de funcionamiento especiales

Determinadas modalidades de funcionamiento especiales (por ejemplo, preparación, programación) de un robot industrial requieren movimientos que tienen que ser evaluados directamente sobre el terreno. El objetivo de seguridad correspondiente es que ningún movimiento ponga en peligro a las personas que intervienen. Los movimientos deberán

- ejecutarse siempre en la forma y a la velocidad programadas;
- tener siempre la duración especificada,
- ser exclusivamente los que se puedan ejecutar con la garantía de que ninguna parte del cuerpo humano estará en la zona de peligro.

Una solución sugerida para alcanzar este objetivo sería el uso de sistemas de control especiales que sólo permitieran movimientos controlables y ajustables utilizando controles con acuse de recibo. De esta manera la velocidad de los movimientos se reduce con seguridad (reducción de energía mediante la conexión de un transformador separador de circuito o el uso de un dispositivo de supervisión del estado de seguridad a prueba de fallos) y se acusa recibo del estado de seguridad antes de permitir la activación del control (véase la Figura 58.84).

### Exigencias relativas a los sistemas de control de seguridad

Una de las características de un sistema de control de seguridad ha de ser la garantía de la ejecución de la función de seguridad siempre que se produzca cualquier fallo. Los robots industriales deben pasar casi instantáneamente de un estado peligroso a un

estado seguro. Las medidas de control de seguridad necesarias para conseguirlo incluyen los siguientes objetivos:

- Un fallo en el sistema de control de seguridad no debe dar lugar a un estado peligroso.
- Un fallo en el sistema de control de seguridad tiene que ser identificado (inmediatamente o a intervalos).

Las soluciones sugeridas para proporcionar sistemas de control de seguridad fiables serían:

- diseño redundante y diversificado de sistemas de control electromecánicos, incluidos circuitos de prueba,
- diseño redundante y diversificado de sistemas de control por microprocesador desarrollados por equipos distintos. Este planteamiento moderno se considera acorde con el estado de la técnica, como por ejemplo los que utilizan barreras de luz de seguridad.

### Objetivos de seguridad para la construcción y uso de robots industriales

Cuando se construyen y usan robots industriales, los fabricantes y usuarios están obligados a instalar controles de seguridad acordes con el estado de la técnica. Aparte del aspecto de la responsabilidad jurídica, puede haber también una obligación moral de asegurarse de que la robótica es asimismo una tecnología segura.

#### **Modalidad de funcionamiento normal**

Cuando los robots funcionan en modalidad normal, tienen que cumplirse las siguientes condiciones de seguridad:

- El campo de movimientos del robot y las zonas de procesado utilizadas por equipos periféricos tienen que asegurarse de tal manera que se impida a las personas el acceso manual o físico a las zonas que sean peligrosas como consecuencia de movimientos automáticos.
- También debe existir protección para que piezas o herramientas proyectadas no puedan causar daños.
- Ninguna persona debe poder sufrir lesiones causadas por partículas, herramientas o piezas proyectadas por el robot o por la liberación de energía debido a defectos de las mordazas, a la pérdida de fuerza de agarre de las mordazas, a una velocidad inadmisiblemente alta, a colisiones o piezas de trabajo defectuosas.
- Ninguna persona debe poder sufrir lesiones debido a la liberación de energía o a piezas proyectadas por equipos periféricos.
- Las aberturas de alimentación y retirada de piezas deberán diseñarse de manera que se impida el acceso manual o físico a zonas peligrosas a causa de movimientos automáticos. Esta condición deberá cumplirse también cuando se retire el material de producción. Si el material de producción se alimenta al robot automáticamente, no podrán crearse zonas peligrosas a causa de las aberturas de alimentación y retirada ni del material de producción en movimiento.

#### **Modalidades de funcionamiento especiales**

Deberán cumplirse las siguientes condiciones de seguridad cuando los robots estén funcionando en modalidades especiales:

##### **Durante la reparación de una avería en el proceso de producción, deberá evitarse lo siguiente:**

- acceso manual o físico a zonas que sean peligrosas debido a movimientos automáticos del robot o de los equipos periféricos;
- peligros derivados del comportamiento defectuoso del sistema o de la introducción de comandos inadmisibles, si personas o partes del cuerpo se encuentran en la zona expuesta a movimientos peligrosos;

- movimientos o condiciones peligrosos iniciados por el movimiento o retirada de material de producción o desechos;
- lesiones causadas por equipos periféricos,
- movimientos que tengan que ejecutarse con las defensas de la modalidad de funcionamiento normal desmontadas y que sólo se llevarán a cabo dentro del ámbito operativo y a la velocidad especificados y durante el tiempo especificado. Además, ninguna persona o parte del cuerpo podrá estar presente en la zona de peligro.

**Durante la preparación deberán asegurarse las siguientes condiciones de seguridad:**

No se podrá iniciar ningún movimiento peligroso como consecuencia de un comando erróneo o de la introducción incorrecta de un comando.

- El cambio del robot o de los equipos periféricos no deberá dar lugar a estados o movimientos peligrosos.
- Si es necesario ejecutar movimientos con las defensas correspondientes a la modalidad de funcionamiento normal desmontadas al realizar operaciones de preparación, dichos movimientos sólo se realizarán dentro del ámbito operativo y a la velocidad especificados y durante el tiempo especificado. Además, ninguna persona o parte del cuerpo podrá estar presente en la zona de peligro.
- Durante las operaciones de preparación, los equipos periféricos no deberán ejecutar movimientos peligrosos ni crear un estado peligroso.

**Durante la programación se aplicarán las siguientes condiciones de seguridad:**

- Deberá impedirse el acceso manual o físico a zonas peligrosas debido a movimientos automáticos.
- Si se ejecutan movimientos con las defensas correspondientes al funcionamiento normal desmontadas, deberán cumplirse las siguientes condiciones:
- (a) Sólo podrá ejecutarse el comando de movimiento y sólo durante el tiempo que se emita.
- (b) Sólo podrán ejecutarse movimientos controlables (es decir, tendrán que ser movimientos claramente visibles a baja velocidad).
- (c) Solo podrán iniciarse movimientos si no constituyen un peligro para el programador u otras personas.
- Los equipos periféricos no podrán representar un peligro para el programador ni para otras personas.

**Las operaciones de prueba seguras requieren las precauciones siguientes:**

Impedir el acceso manual o físico a zonas que sean peligrosas debido a movimientos automáticos.

- Los equipos periféricos no deberán ser una fuente de peligro.

**Al inspeccionar robots, los procedimientos seguros deberán incluir lo siguiente:**

- Si es necesario entrar en el campo de movimientos del robot a efectos de inspección, esto sólo se podrá hacer si el sistema se encuentra en estado seguro.
- Deberán prevenirse los peligros debidos a un comportamiento incorrecto del sistema o a la introducción de comandos inadmisibles.
- Los equipos periféricos no deberán ser una fuente de peligro para el personal de inspección.

**La localización de averías requiere con frecuencia poner en marcha el robot cuando este se halla en condiciones potencialmente peligrosas, por lo que deben utilizarse procedimientos especiales de trabajo seguros como los siguientes:**

- Deberá impedirse el acceso a zonas que sean peligrosas debido a movimientos automáticos.
- Deberá impedirse la puesta en marcha de una unidad de accionamiento como consecuencia de un comando incorrecto o de la introducción de un falso comando.
- Al manipular una pieza defectuosa, deberán impedirse todos los movimientos del robot.
- Deberán prevenirse lesiones causadas por piezas que puedan ser expulsadas o caerse de la máquina.
- Si durante la localización de averías es necesario realizar movimientos con las defensas correspondientes al funcionamiento normal desmontadas, dichos movimientos sólo se realizarán dentro del ámbito operativo y a la velocidad especificados y durante el tiempo especificado. Además, ninguna persona o parte del cuerpo podrá estar presente en la zona de peligro.
- Deberán prevenirse las lesiones causadas por los equipos periféricos.

**Los trabajos de reparación y mantenimiento pueden requerir también la puesta en marcha de la máquina en condiciones no seguras y por tanto es necesario adoptar las siguientes precauciones:**

- El robot no debe poder ponerse en marcha.
- Debe ser posible manipular diversas piezas de la máquina, manualmente o con equipos auxiliares, sin riesgo de exposición a peligros.
- No debe ser posible el contacto con piezas en movimiento.
- Deben impedirse las lesiones causadas por escapes de líquidos o gases.
- Deben impedirse las lesiones causadas por equipos periféricos.

## SISTEMAS DE CONTROL DE SEGURIDAD ELECTRICOS, ELECTRONICOS Y PROGRAMABLES

*Ron Bell*

En este artículo se trata del diseño e implantación de sistemas de control relacionados con la seguridad que cubren todo tipo de sistemas eléctricos, electrónicos y programables. El planteamiento general es conforme a la norma 1508 propuesta por la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) (*Seguridad funcional: sistemas relacionados con la seguridad*) (CEI 1993).

### Antecedentes

Durante el decenio de 1980 se ha expandido el uso de sistemas basados en ordenador, con el nombre genérico de sistemas electrónicos programables (SEP), para funciones de seguridad. Las principales razones que impulsaron esta tendencia fue (1) la mejora de la funcionalidad y ventajas económicas (especialmente considerando el ciclo de vida total del dispositivo), y (2) las ventajas concretas de algunos diseños que solo se podían realizar con tecnología informática. En las primeras fases de introducción de sistemas basados en ordenador se hicieron algunos descubrimientos:

- La introducción del control por ordenador estuvo mal planteada y planificada.
- Se especificaron requisitos de seguridad insuficientes.

- Se desarrollaron procedimientos inadecuados respecto a la validación de software.
- Se encontraron pruebas de defectos de fabricación en relación con las normas de instalación de equipos.
- La documentación generada era insuficiente y carecía de una validación apropiada respecto a lo que realmente había en el equipo (distinto de lo que se creía que había).
- Se habían establecido procedimientos de funcionamiento y mantenimiento que no eran totalmente efectivos
- Había una preocupación justificada con respecto a la competencia de las personas para realizar las tareas que se requerían de ellas.

Para solucionar estos problemas, varios organismos publicaron o comenzaron a desarrollar directrices para permitir la explotación segura de la tecnología de SEP. En el Reino Unido, el Health and Safety Executive (HSE) desarrolló directrices para sistemas electrónicos programables utilizados en aplicaciones relacionadas con la seguridad y en Alemania se publicó un proyecto de norma (DIN 1990). Dentro de la Comunidad Europea se impulsó un importante instrumento para la armonización de las normas europeas relativas a sistemas de control relacionados con la seguridad (incluidos los SEP), con la promulgación de la Directiva de Maquinaria. En Estados Unidos, la Instrument Society of America (ISA) ha preparado una norma sobre SEP para uso en la industria transformadora y el Centro para la Seguridad de los Procesos Químicos (Center for Chemical Process Safety, CCPS), un órgano del American Institute of Chemical Engineers, ha elaborado directrices para la industria química.

Actualmente se está desarrollando una importante iniciativa en la CEI con miras a crear una norma internacional genérica para sistemas de seguridad eléctricos, electrónicos y programables (SE/E/P) que pueda ser utilizada por numerosos sectores, incluida la industria transformadora, el sector médico, los transportes y la construcción mecánica. La norma internacional CEI propuesta consta de 7 partes bajo el título general *CEI 1508. Seguridad funcional de sistemas de seguridad eléctricos/electrónicos/programables*. Dichas partes son las siguientes:

- Parte 1. Requisitos generales.
- Parte 2. Requisitos de los sistemas eléctricos, electrónicos y programables.
- Parte 3. Requisitos de software.
- Parte 4. Definiciones.
- Parte 5. Ejemplos de métodos para la determinación de los niveles de integridad de la seguridad.
- Parte 6. Directrices de aplicación de las partes 2 y 3.
- Parte 7. Descripción general de técnicas y medidas.

Cuando esté terminada, esta norma genérica internacional será una publicación básica sobre seguridad de la CEI que cubrirá la seguridad funcional de sistemas de seguridad eléctricos, electrónicos y programables y tendrá implicaciones en todas las normas CEI relativas a todos los sectores de aplicación, en relación con el diseño y uso de dichos sistemas en el futuro. Uno de los principales objetivos de la norma propuesta es facilitar el desarrollo de normas específicas para los distintos sectores (véase la Figura 58.85).

**Ventajas y problemas de los SEP**

La adopción de SEP con fines de seguridad encerraba muchas ventajas potenciales, pero se reconoció que éstas sólo se lograrían si se utilizaban metodologías de evaluación y diseño apropiadas porque: (1) muchas de las características de los SEP no permiten que la integridad de la seguridad (es decir, el comportamiento seguro de los sistemas que ejecutan las funciones de seguridad

requeridas) se pueda predecir con el grado de confianza que tradicionalmente han tenido los sistemas menos complejos basados en hardware (cableado permanente), (2) se reconoció que aunque los sistemas complejos requerían pruebas, no eran suficientes por sí solas. Esto significaba que incluso si el SEP tenía que ejecutar funciones de seguridad relativamente sencillas, el nivel de complejidad de los dispositivos electrónicos programables era mucho mayor que el de los sistemas con cableado permanente a los que estaban sustituyendo, y (3) este aumento de complejidad significaba que las tecnologías de diseño y evaluación tenían que ser objeto de mucha más atención que antes y que el nivel de cualificación del personal necesario para obtener prestaciones suficientes de los sistemas relacionados con la seguridad tenía que ser mayor.

Las ventajas de los SEP basados en ordenador son las siguientes:

- capacidad de realizar verificaciones de diagnóstico en línea para componentes críticos, con una frecuencia mucho mayor de la que sería posible de otra manera;
- posibilidad de establecer sofisticados enclavamientos de seguridad;
- posibilidad de realizar funciones de diagnóstico y supervisión de condiciones que se puede emplear para analizar y generar informes sobre el comportamiento de las máquinas y equipos en tiempo real;
- posibilidad de comparar condiciones reales del equipo con condiciones "ideales" del modelo;
- posibilidad de proporcionar una información más completa a los operadores y mejorar así la seguridad en la toma de decisiones;
- uso de avanzadas estrategias de control para permitir que los operadores humanos se sitúen lejos de entornos hostiles o peligrosos,
- posibilidad de diagnosticar el sistema de control desde un punto remoto.

El uso de sistemas basados en ordenador para aplicaciones relacionadas con la seguridad crea ciertos problemas que es necesario resolver adecuadamente, a saber:

- Las modalidades de fallo son complejas y no siempre previsibles.

Figura 58.85 • Normas genéricas y de sectores de aplicación.

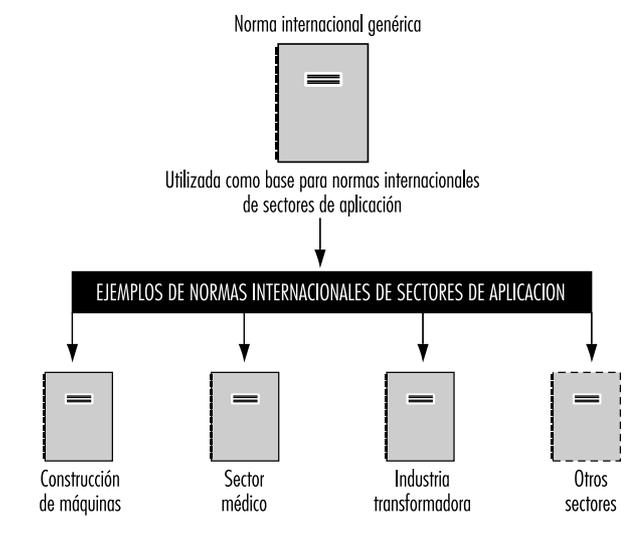
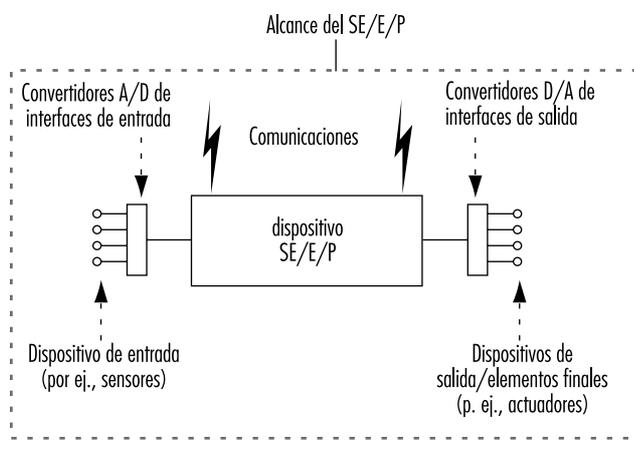


Figura 58.86 • Sistemas eléctricos, electrónicos y programables.



- La comprobación del ordenador es necesaria pero no suficiente por sí sola para determinar si las funciones de seguridad se ejecutarán con el grado de certidumbre exigido por la aplicación.
- Los microprocesadores pueden presentar sutiles variaciones entre los distintos lotes y por tanto pueden tener comportamientos distintos.
- Los sistemas basados en ordenador no protegidos son especialmente susceptibles a interferencias eléctricas (interferencias radiadas, sobretensiones en la red de alimentación, descargas electrostáticas, etc.)
- Es difícil y a veces imposible cuantificar la probabilidad de fallo de sistemas complejos relacionados con la seguridad que incorporan software. Debido a que no existe ningún método de cuantificación generalmente aceptado, la seguridad del software se ha basado en procedimientos y normas que describen los métodos a utilizar en el diseño, implantación y mantenimiento del software.

### Sistemas de seguridad considerados

Los tipos de sistemas relacionados con la seguridad que se consideran son los eléctricos, electrónicos y programables (SE/E/P). El sistema incluye todos los elementos, especialmente las señales que van desde los sensores u otros dispositivos de entrada situados en el equipo sometido a control y transmitidos a través de líneas de datos u otras vías de comunicación a los actuadores u otros dispositivos de salida (véase la Figura 58.86).

El término *dispositivo eléctrico, electrónico y programable* se ha utilizado para cubrir una amplia gama de dispositivos y abarca tres clases principales:

1. dispositivos eléctricos, como los relés electromecánicos
2. dispositivos electrónicos, como los instrumentos electrónicos de estado sólido y sistemas lógicos
3. dispositivos electrónicos programables, que incluyen una gran variedad de sistemas basados en ordenadores, como los siguientes:
  - microprocesadores
  - microcontroladores
  - controladores programables (PC)
  - circuitos integrados específicos de aplicación (ASIC)
  - controladores lógicos programables (PLC)
  - otros dispositivos basados en ordenador (por ejemplo, sensores "inteligentes", transmisores y actuadores).

Por definición, un sistema de seguridad sirve para dos fines:

1. Aplica las funciones de seguridad necesarias para que el equipo bajo control pase a un estado seguro o se mantenga en un estado seguro. El sistema de seguridad tiene que ejecutar las funciones de seguridad incluidas en la especificación de requisitos de seguridad del sistema. Por ejemplo, la especificación de requisitos de seguridad puede indicar que cuando la temperatura alcance un determinado valor  $x$ , la válvula  $y$  debe abrirse para permitir la entrada de agua en el recipiente.
2. Consigue por sí mismo o con otros sistemas relacionados con la seguridad el nivel necesario de integridad de la seguridad para la ejecución de las funciones de seguridad necesarias. Las funciones de seguridad tienen que ser ejecutadas por los sistemas relacionados con la seguridad con el grado de confianza suficiente para la aplicación, con objeto de conseguir el nivel requerido de seguridad en el equipo bajo control.

Este concepto se ilustra en la Figura 58.87.

### Fallos del sistema

Para garantizar el funcionamiento seguro de los sistemas de seguridad SE/E/P, es necesario reconocer varias causas de fallos posibles de estos sistemas y asegurar que se adoptan las precauciones necesarias frente a cada una de ellas. Los fallos se clasifican en dos categorías, según se ilustra en la Figura 58.88.

1. Fallos aleatorios del hardware son aquellos que resultan de diversos mecanismos de degradación del hardware. Hay muchos de estos mecanismos que actúan a distintos ritmos y en distintos componentes y, puesto que las tolerancias de fabricación pueden hacer que los componentes fallen a causa de estos mecanismos después de períodos de funcionamiento distintos, el fallo de un equipo completo formado por muchos componentes se puede producir al cabo de un tiempo

Figura 58.87 • Características principales de los elementos relacionados con la seguridad.

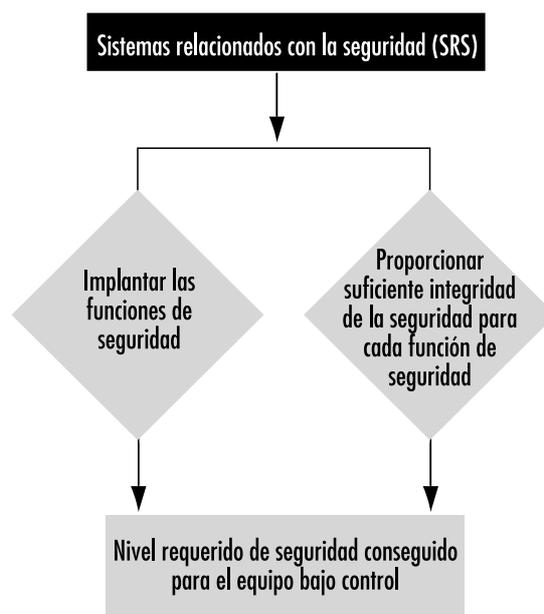
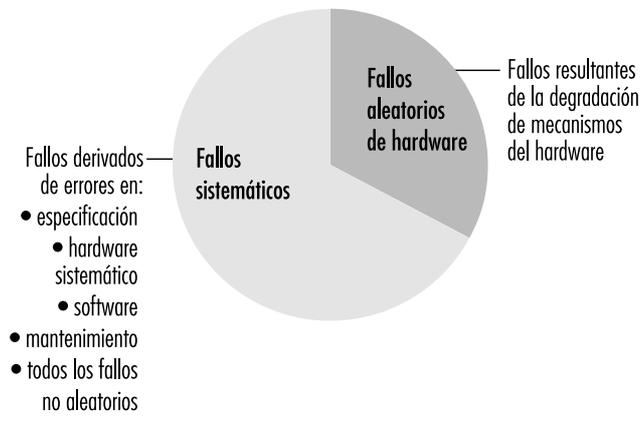


Figura 58.88 • Categorías de fallos.



imprevisible (aleatorio). Las cuantificaciones de la fiabilidad del sistema, como el tiempo medio entre fallos (MTBF), proporcionan una información valiosa, pero normalmente sólo se refieren a fallos aleatorios del hardware y no incluyen los fallos sistemáticos.

- Los fallos sistemáticos se producen como consecuencia de errores de diseño o construcción o del uso de un sistema que falla con una combinación concreta de entradas o en determinadas condiciones ambientales concretas. Si el fallo de un sistema se produce cuando se da un determinado conjunto de circunstancias, siempre que se presenten estas circunstancias en el futuro se producirá un fallo del sistema. Cualquier fallo de un sistema relacionado con la seguridad que no sea consecuencia de un fallo aleatorio del hardware es, por definición, un fallo sistemático. Estos fallos, en el contexto de los sistemas de seguridad SE/E/P, son:

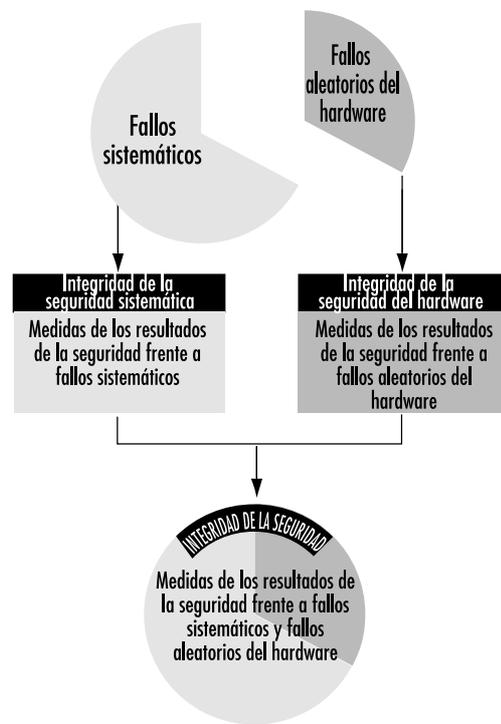
- fallos sistemáticos debidos a errores u omisiones en la especificación de los requisitos de seguridad
- fallos sistemáticos debidos a errores en el diseño, fabricación, instalación o funcionamiento del hardware. Aquí estarían incluidos los fallos atribuibles a causas ambientales o errores humanos (por ejemplo, del operador)
- fallos sistemáticos debidos a defectos del software
- fallos sistemáticos debidos a errores de mantenimiento y modificaciones.

### Protección de los sistemas de seguridad

Los términos que se utilizan para indicar las medidas de precaución necesarias para proteger un sistema relacionado con la seguridad frente a fallos del hardware y fallos sistemáticos son *medidas de integridad de la seguridad del hardware* y *medidas sistemáticas de integridad del software*, respectivamente. Las medidas de precaución que un sistema relacionado con la seguridad puede aportar frente a los fallos aleatorios del hardware y los fallos sistemáticos, se denominan *integridad de la seguridad*. Estos conceptos se ilustran en la Figura 58.89.

Dentro de la propuesta de norma internacional CEI 1508 hay cuatro niveles de integridad de la seguridad, que tienen asignados los números 1, 2, 3 y 4. El número 1 corresponde al nivel de integridad de la seguridad más bajo y el 4 al más alto. El nivel de integridad de la seguridad (1, 2, 3 ó 4) para el sistema de seguridad dependerá del papel que dicho sistema esté desempeñando a fin de conseguir el nivel requerido de seguridad del

Figura 58.89 • Términos de prestaciones de seguridad.



equipo bajo control. Pueden ser necesarios varios sistemas de seguridad, algunos de los cuales pueden estar basados en tecnología neumática o hidráulica.

### Diseño de sistemas de seguridad

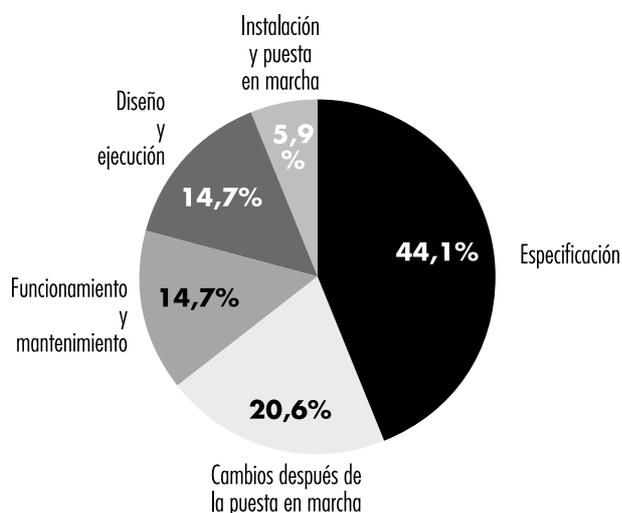
Un análisis reciente de 34 incidentes relacionados con sistemas de control (HSE) reveló que el 60 % de todos los casos de fallo se habían "incorporado" antes de que el sistema de control relacionado con la seguridad hubiera empezado a utilizarse (Figura 58.90). Es necesario considerar todas las fases del ciclo de vida de la seguridad para preparar sistemas de seguridad adecuados.

La seguridad funcional de los sistemas relacionados con la seguridad no sólo depende de asegurar que se han especificado correctamente los requisitos técnicos, sino de asegurar también que dichos requisitos se implantan eficazmente y que se mantiene la integridad de diseño inicial durante toda la vida del equipo. Esto sólo se puede lograr si existe un sistema eficaz de gestión de la seguridad y si las personas que intervienen en todas las actividades son competentes en relación con los trabajos que tienen que realizar. Especialmente cuando se trata de sistemas relacionados con la seguridad complejos, es esencial que exista un sistema adecuado de gestión de la seguridad. Esto conduce a una estrategia que asegura lo siguiente:

- Existe un sistema eficaz de gestión de la seguridad.
- Los requisitos técnicos especificados para los sistemas de seguridad SE/E/P son suficientes para hacer frente a causas de fallo aleatorias del software y sistemáticas.
- La competencia de las personas que intervienen es suficiente para los trabajos que tienen que realizar.

Con objeto de satisfacer todas las necesidades técnicas pertinentes de seguridad funcional de una forma sistemática, se ha

Figura 58.90 • Causa primaria (por fases) de fallos del sistema de control.



desarrollado el concepto de ciclo de vida de la seguridad. En la Figura 58.91 se muestra una versión simplificada del ciclo de vida de la seguridad de la norma internacional recientemente publicada CEI 1508. Las fases principales del ciclo de vida de la seguridad son:

- especificación;
- diseño e implantación;
- instalación y puesta en marcha;
- funcionamiento y mantenimiento;
- cambios después de la puesta en marcha.

**Nivel de seguridad.**

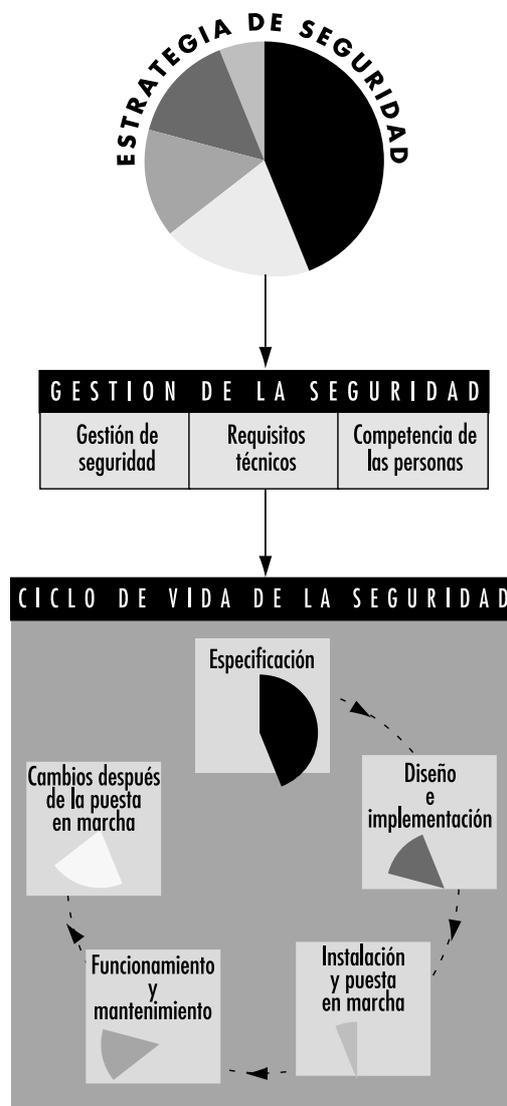
La estrategia de diseño para conseguir niveles adecuados de integridad de la seguridad en los sistemas relacionados con la seguridad se ilustra en las Figuras 58.92 y 58.93. Un nivel de integridad de la seguridad está basado en el papel que el sistema relacionado con la seguridad desempeña en la consecución del nivel global de seguridad para el equipo bajo control. El nivel de integridad de la seguridad especifica las precauciones que es necesario adoptar en el diseño frente a fallos aleatorios del hardware y fallos sistemáticos.

El concepto de seguridad y nivel de seguridad se aplica al equipo bajo control. El concepto de seguridad funcional se aplica a los sistemas relacionados con la seguridad. Es necesario conseguir la seguridad funcional de los sistemas relacionados con la seguridad si se desea alcanzar un nivel de seguridad adecuado para el equipo que da lugar al peligro. El nivel especificado de seguridad para una situación concreta es un factor fundamental de cara a la especificación de los requisitos de integridad de la seguridad de los sistemas de seguridad.

El nivel requerido de seguridad dependerá de muchos factores, por ejemplo: la gravedad de las lesiones, el número de personas expuestas al peligro y la duración de la exposición al suceso peligroso. Para llegar a lo que constituye un nivel apropiado de seguridad para una aplicación específica, es necesario considerar diversos datos, entre otros los siguientes:

- requisitos legales relevantes para la aplicación concreta;
- directrices de la autoridad competente en materia de seguridad;

Figura 58.91 • Influencia del ciclo de vida de la seguridad en la consecución de la seguridad funcional.



- negociaciones y acuerdos con las distintas partes que intervienen en la aplicación;
- normas industriales;
- normas nacionales e internacionales,
- un asesoramiento industrial, técnico y científico óptimo.

**Resumen**

Al diseñar y utilizar sistemas relacionados con la seguridad es necesario tener presente que es el equipo bajo control el que crea el peligro potencial. Los sistemas de seguridad se diseñan para reducir la frecuencia (o probabilidad) del suceso peligroso y/o de las consecuencias del suceso peligroso. Una vez que se ha establecido el nivel de seguridad para el equipo, se puede determinar el nivel de integridad de la seguridad para el sistema de seguridad, y es ese nivel de integridad el que permite al diseñador especificar las precauciones que es necesario incorporar en el diseño a efectos de protección contra fallos aleatorios del hardware y fallos sistemáticos.

Figura 58.92 • Influencia de los niveles de integridad de la seguridad en el proceso de diseño.

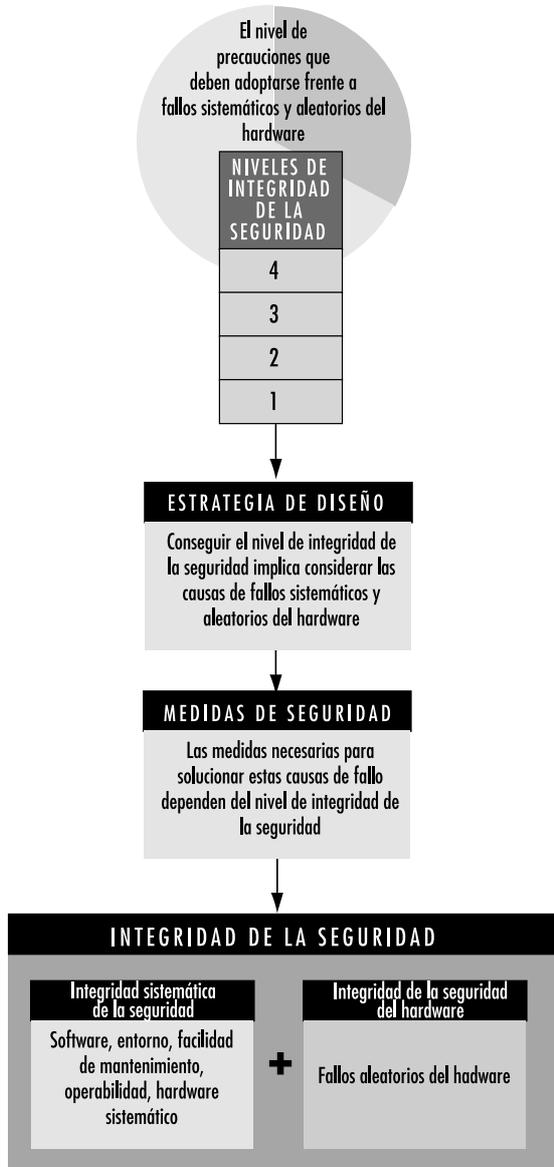
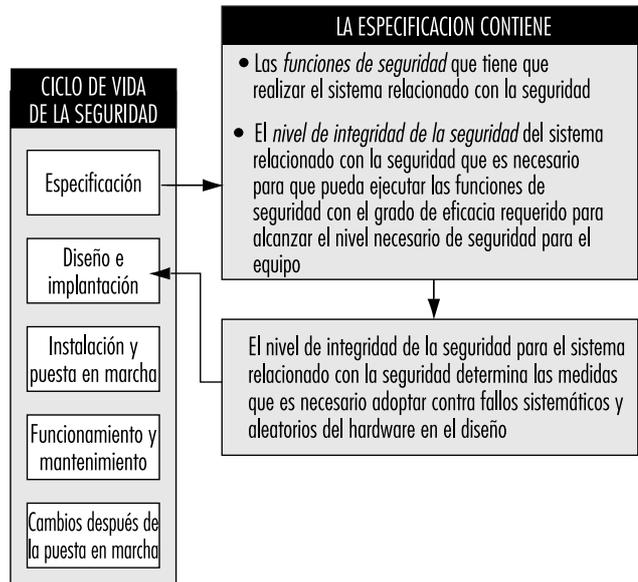


Figura 58.93 • Influencia del ciclo de vida de la seguridad en el proceso de especificación y diseño.



instalaciones y equipos puedan funcionar incorrectamente, están los fallos de los dispositivos electromecánicos, electrónicos y programables (SE/E/P) utilizados en el diseño de sus sistemas de seguridad o control. Estos fallos pueden ser debidos a fallos físicos de los dispositivos [por ejemplo, desgaste que se produce aleatoriamente en el tiempo (fallos aleatorios del hardware)] o a fallos sistemáticos (por ejemplo, errores cometidos en la especificación de un sistema que hacen que falle debido a (1) alguna combinación concreta de circunstancias; (2) alguna condición ambiental; (3) datos incompletos o incorrectos procedentes de sensores; (4) datos erróneos o incompletos introducidos por los operadores, y (5) fallos sistemáticos potenciales debidos a un deficiente diseño del interface).

**Fallos de sistemas relacionados con la seguridad**

Este artículo trata de la seguridad funcional de sistemas de control relacionados con la seguridad y considera los requisitos técnicos del hardware y software necesarios para conseguir la necesaria integridad de la seguridad. El planteamiento general se hace de acuerdo con la norma CEI 1508, partes 1 y 2 (CEI 1993) propuesta por la Comisión Electrotécnica Internacional. El objetivo global del proyecto de norma internacional CEI 1508, *Seguridad funcional: sistemas relacionados con la seguridad* es asegurar que las instalaciones y equipos puedan automatizarse con seguridad. Un objetivo fundamental del desarrollo de la norma internacional propuesta es impedir o minimizar la frecuencia de:

- fallos de sistemas de control que disparen otros sucesos que a su vez puedan dar lugar a un peligro (por ejemplo, fallos del sistema de control, pérdida del control, proceso descontrolado con resultado de incendio, liberación de materiales tóxicos, etc.);
- fallos de sistemas de alarma y supervisión que determinan que los operadores no sean informados de manera que puedan identificar y comprender rápidamente lo ocurrido, para adoptar la medidas de emergencia necesarias,
- fallos no detectados de sistemas de protección que hacen que no estén disponibles cuando se necesitan para una acción de

**REQUISITOS TECNICOS PARA SISTEMAS RELACIONADOS CON LA SEGURIDAD BASADOS EN DISPOSITIVOS ELECTRICOS, ELECTRONICOS Y PROGRAMABLES**

*John Brazendale y Ron Bell*

Las máquinas, instalaciones de proceso y otros equipos pueden generar riesgos debidos a sucesos peligrosos como incendios, explosiones, sobredosis de radiaciones y elementos en movimiento. Entre las posibles razones de que dichas máquinas,

Figura 58.94 • Reducción de riesgos: conceptos generales.

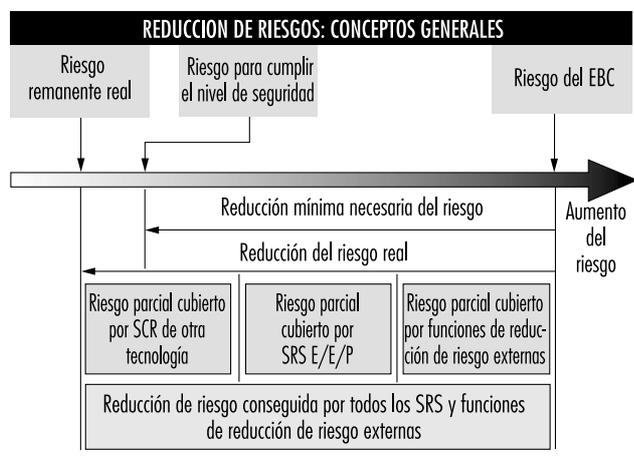


Figura 58.95 • Modelo global: niveles de protección.

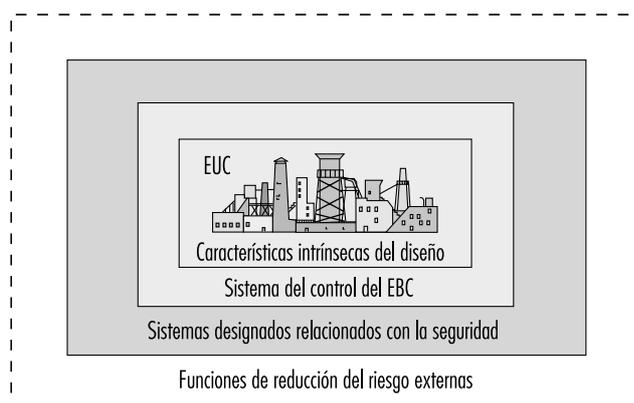
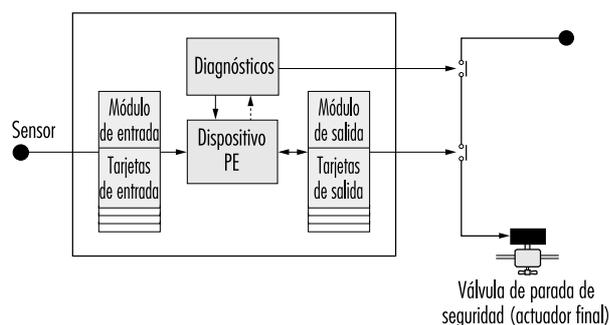


Figura 58.96 • Sistema típico de protección.



seguridad (por ejemplo, fallo de una tarjeta de entrada en un sistema de parada de emergencia).

El artículo "Sistemas de control de seguridad eléctricos, electrónicos y programables" expone el enfoque general de la gestión de la seguridad recogido en la parte 1 de la norma CEI 1508 para garantizar la seguridad de los sistemas de control y protección que afectan a la seguridad. Este artículo describe un

diseño global de ingeniería conceptual que se necesita para reducir el riesgo de accidente a un nivel aceptable, incluido el papel de cualquier sistema de control o protección basado en tecnología SE/E/P.

En la Figura 58.94, el riesgo procedente del equipo, instalación de proceso o máquina (denominados genéricamente *equipo bajo control* (EBC) sin dispositivos de protección) está marcado en un extremo de la escala de riesgos del EBC y el nivel objetivo de riesgo que es necesario alcanzar para cumplir el nivel de seguridad requerido se encuentra en el otro extremo. En medio aparece la combinación de sistemas de seguridad y factores externos de reducción de riesgos que se precisan para conseguir la reducción de riesgos requerida. Estos pueden ser de distintos tipos: mecánicos (por ejemplo, válvulas limitadoras de presión), hidráulicos, neumáticos, físicos y también sistemas SE/E/P. La Figura 58.95 resalta el papel de cada nivel de seguridad en la protección del EBC a medida que progresa el accidente.

Siempre que se haya realizado un análisis de peligros y riesgos en el EBC conforme a la parte 1 de la norma CEI 1508, se haya fijado el diseño conceptual global para la seguridad y por tanto se hayan definido las funciones requeridas y el objetivo de nivel de integridad de la seguridad (NIS) para cualquier sistema de control o protección SE/E/P. El objetivo de nivel de integridad de la seguridad se establece en relación con una medida de fallo objetivo (véase la Tabla 58.6).

### Sistemas de protección

Este artículo esboza los requisitos técnicos que debe considerar el diseñador de un sistema de seguridad SE/E/P para alcanzar el objetivo requerido de nivel de integridad de la seguridad. La explicación se centra en un sistema de protección típico que utiliza dispositivos electrónicos programables para poder profundizar en los problemas fundamentales sin apenas merma de su generalidad. Un sistema típico de protección es el que aparece en la Figura 58.96, que muestra un sistema de seguridad de un solo canal con disyuntor secundario activado a través de un dispositivo de diagnóstico. En régimen normal, la condición no segura del EBC (por ejemplo, exceso de velocidad de una máquina, alta temperatura en una instalación química) es detectada por el sensor y transmitida al dispositivo electrónico programable que ordenará a los actuadores (a través del relé de salida) que pongan el sistema en un estado seguro (por ejemplo, cortando la alimentación eléctrica del motor de la máquina o abriendo una válvula para reducir la presión).

Pero ¿qué ocurre si fallan los componentes del sistema de protección? Esta es la función del disyuntor secundario que es activado por la función de diagnóstico (autocomprobación) de este diseño. Con todo, el sistema no es totalmente a prueba de fallos, ya que el diseño sólo tiene una cierta probabilidad de estar disponible cuando se le ordene que ejecute su función de seguridad (tiene una cierta probabilidad de fallo a demanda o un

Tabla 58.6 • Niveles de integridad de la seguridad para sistemas de protección: medidas de fallos considerados como objetivos.

Nivel de integridad de la seguridad	Modo de funcionamiento bajo demanda (probabilidad de no ejecutar su función de diseño bajo demanda)
4	$10^{-5} \leq x < 10^{-4}$
3	$10^{-4} \leq x < 10^{-3}$
2	$10^{-3} \leq x < 10^{-2}$
1	$10^{-2} \leq x < 10^{-1}$

cierto nivel de integridad de la seguridad). Por ejemplo, el diseño descrito puede detectar y tolerar ciertos tipos de fallos de la tarjeta de salida, pero no podría tolerar un fallo de la tarjeta de entrada. Por tanto, su integridad de la seguridad será mucho más baja que la de un diseño con una tarjeta de entrada más fiable, con un diagnóstico mejorado o con una combinación de ambas cosas.

Hay otras causas posibles de fallos de tarjetas, incluidos los fallos físicos tradicionales del hardware, los fallos sistemáticos, incluidos los errores de especificación de los requisitos, los fallos de implantación del software y una protección insuficiente frente a las condiciones ambientales (por ejemplo, humedad). Es posible que el diagnóstico en este diseño de un solo canal no cubra todos estos tipos de fallos y por tanto esto limitaría el nivel de integridad de la seguridad alcanzado en la práctica. (La cobertura es una medida del porcentaje de fallos que un diseño puede detectar y tratar con seguridad).

**Requisitos técnicos**

Las partes 2 y 3 de la norma CEI 1508 ofrecen un marco para identificar diversas causas potenciales de fallos de hardware y software y para seleccionar características de diseño que permiten superar esas causas potenciales de fallo, apropiadas para el nivel de integridad de la seguridad requerido para el sistema relacionado con la seguridad. Por ejemplo, el planteamiento técnico global para el sistema de protección de la Figura 58.96 se reproduce en la Figura 58.97. La figura indica dos estrategias básicas para superar fallos y defectos: (1) *evitación de fallos*, cuando se adoptan medidas para evitar fallos, y (2) *tolerancia a fallos*, cuando se crea el sistema específicamente para que tolere los fallos especificados. El sistema monocal canal mencionado arriba es un ejemplo de diseño con tolerancia a fallos (limitada) en el que se utilizan diagnósticos para detectar determinados fallos y situar el sistema en un estado seguro antes de que se produzca un fallo peligroso.

Tabla 58.7 • Diseño y desarrollo de software.

Técnica/medida	SIL 1	SIL 2	SIL 3	SIL 4
1. Métodos formales incluidos, por ejemplo, CCS, CSP, HOL, LOTOS	—	R	R	HR
2. Métodos semiformales	HR	HR	HR	HR
3. Metodología estructurada incluidos, por ejemplo, JSD, MASCOT, SADT, SSADM y YOURDON	HR	HR	HR	HR
4. Planteamiento modular	HR	HR	HR	HR
5. Normas de diseño y codificación	R	HR	HR	HR

HR = altamente recomendado; R = recomendado; NR = no recomendado; — = neutro: la técnica de medida no está ni a favor ni en contra del SIL. Nota: se seleccionará una técnica/medida numerada de acuerdo con el nivel de integridad de la seguridad.

**Evitación de fallos**

La evitación de fallos intenta impedir que estos se introduzcan en el sistema. El enfoque principal consiste en utilizar un método sistemático de gestión del proyecto para que la seguridad se trate como una cualidad gestionable y definible del sistema durante el diseño y después durante el funcionamiento y mantenimiento. El planteamiento, que es similar al del aseguramiento de la calidad, está basado en el concepto de realimentación e implica: (1) *planificación* (definición de objetivos de seguridad, identificando la manera de alcanzar los objetivos); (2) *medida* logros conseguidos en comparación con el plan durante la implantación, y (3) *aplicación de realimentación* para corregir cualquier desviación. Las revisiones de los diseños son un buen ejemplo de esta técnica de evitación de fallos. En la norma CEI 1508 este enfoque de "calidad" para evitar fallos viene facilitado por los requisitos de utilizar un ciclo de vida de la seguridad y utilizar procedimientos de gestión de la seguridad para hardware y software. Para el

Figura 58.97 • Especificación de diseño: solución de diseño.

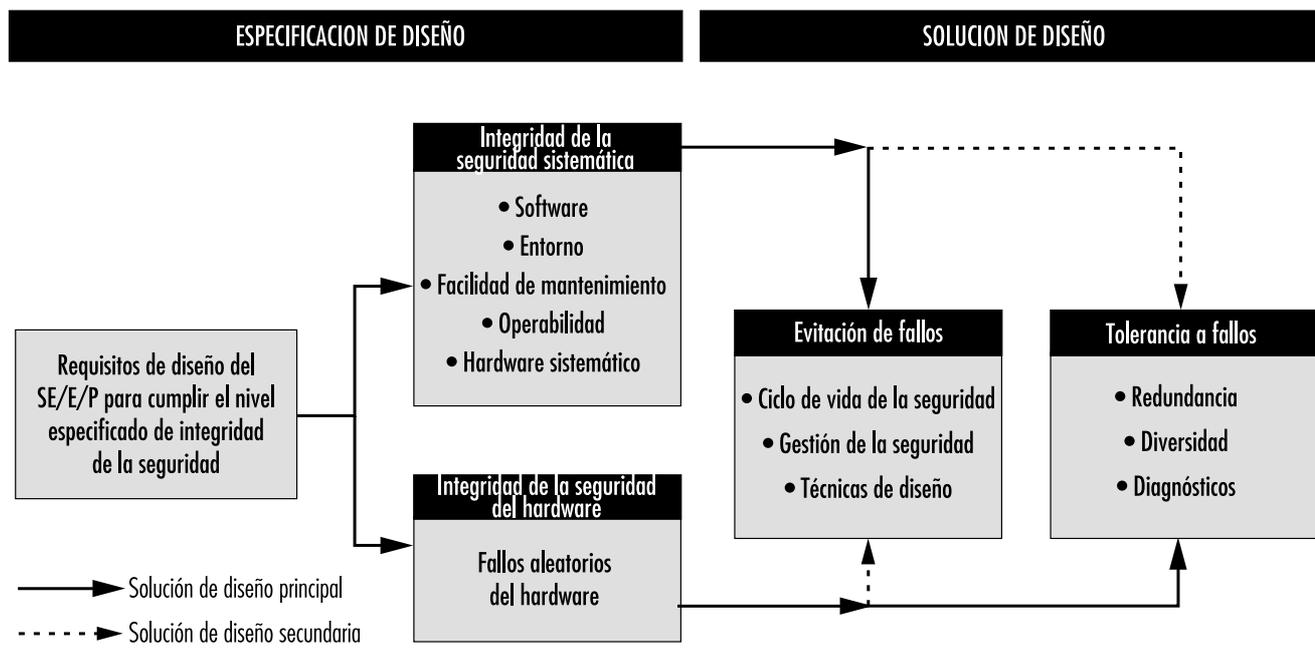


Tabla 58.8 • Nivel de integridad de la seguridad - Requisitos de los fallos para componentes del tipo B.

- 1 Los fallos no detectados relacionados con la seguridad serán detectados por la verificación.
- 2 Para componentes sin cobertura media de diagnóstico en línea, el sistema podrá realizar la función de seguridad en presencia de un solo fallo. Los fallos no detectados relacionados con la seguridad serán detectados por la verificación.
- 3 Para componentes con cobertura alta de diagnóstico en línea, el sistema podrá realizar la función de seguridad en presencia de un solo fallo. Para componentes sin cobertura alta de diagnóstico en línea, el sistema podrá realizar la función de seguridad en presencia de dos fallos. Los fallos no detectados relacionados con la seguridad serán detectados por la verificación.
- 4 Los componentes podrán realizar la función de seguridad en presencia de dos fallos. Los fallos se detectarán mediante cobertura alta de diagnóstico en línea. Los fallos no detectados relacionados con la seguridad serán detectados por la verificación. El análisis cuantitativo del hardware estará basado en las hipótesis correspondientes al caso peor.

<sup>1</sup> Componentes cuyos modos de fallo no estén bien definidos o no se puedan probar o para los cuales haya pocos datos de fallos por experiencia en campo (por ejemplo, componentes electrónicos programables)

último, estos se manifiestan con frecuencia por sí mismos como procedimientos de aseguramiento de la calidad del software, como los descritos en la norma ISO 9000-3 (1990).

Además, las partes 2 y 3 de la norma CEI 1508 (relativas a hardware y software, respectivamente) asignan grados a ciertas técnicas o medidas que se consideran útiles para evitar fallos durante las distintas fases del ciclo de vida de la seguridad. La Tabla 58.7 da un ejemplo de la parte 3 para la fase de diseño y desarrollo de software. El diseñador utilizaría la tabla como ayuda para la selección de técnicas encaminadas a evitar fallos, dependiendo del nivel requerido de integridad de la seguridad. Junto a cada técnica o medida de la tabla hay una recomendación para cada nivel de integridad de la seguridad, de 1 a 4. La gama de recomendaciones abarca los siguientes niveles: muy recomendado (MR); recomendado (R); neutral, es decir, ni a favor ni en contra (-), y no recomendado (NR).

### Tolerancia a fallos

La norma CEI 1508 requiere mayores niveles de tolerancia a fallos al aumentar el objetivo de integridad de la seguridad. Con todo, la norma reconoce que la tolerancia a fallos es más importante cuando los sistemas, y los componentes que los constituyen, son complejos (denominados del tipo B en la norma CEI 1508). En sistemas menos complejos y "probados" es posible relajar la tolerancia a fallos.

### Tolerancia a fallos aleatorios del hardware

La Tabla 58.8 muestra los requisitos de tolerancia a fallos aleatorios del hardware en el caso de componentes complejos (por ejemplo, microprocesadores) cuando se utilizan en sistemas de protección, como muestra la Figura 58.96. El diseñador puede tener que considerar una combinación apropiada de diagnósticos, tolerancia a fallos y comprobaciones manuales para superar este tipo de fallos, en función del nivel requerido de integridad de la seguridad.

La norma CEI 1508 ayuda al diseñador, ya que contiene tablas de especificación de diseños (véase la Tabla 58.9), con parámetros de diseño correlacionados con niveles de integridad

de la seguridad para varias arquitecturas de sistemas de protección utilizadas corrientemente.

La primera columna de la tabla refleja arquitecturas con varios grados de tolerancia a fallos. En general, las arquitecturas situadas al final de la tabla tienen un mayor grado de tolerancia a fallos que las del principio. Un sistema 1de2 (1 de un total de 2) es capaz de soportar cualquier fallo individual, como también un sistema 2de3.

La segunda columna describe la cobertura de los diagnósticos internos. Cuanto más alto sea el nivel de diagnóstico, más fallos serán detectados. En un sistema de protección, esto es importante, porque siempre que el componente defectuoso (por ejemplo, una tarjeta de entrada) sea reparado en un plazo razonable (normalmente 8 horas), la merma de seguridad funcional es escasa. (Nota: esto no sería así para un sistema de control continuo, porque cualquier fallo causaría probablemente una condición no segura inmediatamente y la posibilidad de un incidente).

La tercera columna muestra el intervalo entre pruebas de verificación. Estas son pruebas especiales realizadas para probar a fondo el sistema y verificar que no existen fallos latentes. Normalmente, estas pruebas las realiza el fabricante del equipo aprovechando los tiempos muertos de la instalación.

La cuarta columna muestra la tasa de disparos en falso. Un disparo en falso es el que origina la parada del equipo o instalación no existiendo ninguna desviación en el proceso. Con frecuencia, el precio de la seguridad es una tasa más alta de disparos en falso. Un sistema con una protección redundante simple (1de2) tiene, si los demás factores de diseño permanecen inalterados, un nivel de integridad de la seguridad más alto, pero también una tasa de disparos en falso más alta que un sistema monocal (1de1).

Tabla 58.9 • Requisitos para el nivel 2 de integridad de la seguridad – Arquitecturas de sistemas electrónicos programables para sistemas de protección.

Configuración del sistema EP	Cobertura de diagnóstico por canal	Intervalo de pruebas de verificación fuera de línea (TI)	Tiempo medio entre falsos disparos
EP sencillo, E/S sencilla, WD ext.	Alta	6+ meses	1,6 años
EP doble, E/S sencilla	Alta	6+ meses	10 años
EP doble, E/S doble, 2oo2	Alta	3+ meses	1,81 años
EP doble, E/S doble, 1oo2	Ninguna	2+ meses	1,4 años
EP doble, E/S doble, 1oo2	Baja	5+ meses	1,0 años
EP doble, E/S doble, 1oo2	Media	18+ meses	0,8 años
EP doble, E/S doble, 1oo2	Alta	36+ meses	0,8 años
EP doble, E/S doble, 1oo2D	Ninguna	2+ meses	1,9 años
EP doble, E/S doble, 1oo2D	Baja	4+ meses	4,7 años
EP doble, E/S doble, 1oo2D	Media	18+ meses	18 años
EP doble, E/S doble, 1oo2D	Alta	48+ meses	168 años
EP triple, E/S triple, IPC, 2oo3	Ninguna	1+ mes	20 años
EP triple, E/S triple, IPC, 2oo3	Baja	3+ meses	25 años
EP triple, E/S triple, IPC, 2oo3	Media	12+ meses	30 años
EP triple, E/S triple, IPC, 2oo3	Alta	48+ meses	168 años

Si no se utiliza una de las arquitecturas de la tabla o si el diseñador quiere realizar un análisis más fundamental, la norma CEI 1508 permite esta alternativa. Las técnicas de ingeniería de la fiabilidad, como los modelos de Markov, se pueden utilizar entonces para calcular el elemento de hardware del nivel de integridad de la seguridad (Johnson 1989; Goble 1992).

### **Tolerancia a fallos sistemáticos y de causas comunes**

Esta clase de fallos es muy importante en sistemas de seguridad y es el factor que limita la consecución de la integridad de la seguridad. En un sistema redundante se duplica un componente o subsistema, o incluso el sistema completo, para conseguir una mayor fiabilidad con componentes de menor fiabilidad. La mejora de la fiabilidad se consigue porque, estadísticamente, la probabilidad de que dos sistemas fallen simultáneamente por fallos aleatorios es el producto de las fiabilidades de los sistemas individuales y por tanto mucho menor. Por otra parte, los fallos sistemáticos y de causas comunes hacen que sistemas redundantes fallen simultáneamente cuando, por ejemplo, un error de especificación del software hace que componentes duplicados fallen a la vez. Otro ejemplo sería el fallo de una fuente de alimentación común para un sistema redundante.

La norma CEI 1508 incluye tablas de técnicas de ingeniería clasificadas en relación con el nivel de integridad de la seguridad que se considera eficaz para proporcionar protección contra fallos sistemáticos y de causas comunes.

Ejemplos de técnicas eficaces frente a fallos sistemáticos son la diversificación y la redundancia analítica. La diversificación se basa en que si el diseñador implanta un segundo canal en un sistema redundante utilizando una tecnología o lenguaje de software distintos, los fallos de los canales redundantes se pueden considerar independientes (es decir, la probabilidad de fallo coincidente es baja). Con todo, y especialmente en el área de sistemas basados en software, hay indicios de que esta técnica puede no ser eficaz, ya que la mayoría de las equivocaciones se cometen en la especificación. La redundancia analítica intenta aprovechar la información redundante existente en instalaciones o máquinas para identificar fallos. Para las demás causas de fallos sistemáticos (por ejemplo, esfuerzos externos), la norma incluye tablas con recomendaciones de buena práctica de ingeniería (por ejemplo, separación de los cables de señales y de alimentación) en relación con el nivel de integridad de la seguridad.

### **Conclusiones**

Los sistemas basados en ordenador ofrecen muchas ventajas, no sólo económicas, y también la posibilidad de mejorar la seguridad. Ahora bien, la minuciosidad necesaria para convertir esta posibilidad en realidad es mucho mayor que en el caso de componentes de sistemas convencionales. En este artículo se han descrito en líneas generales los requisitos técnicos principales que tiene que tener en cuenta un diseñador para aprovechar esta tecnología.

## ● VUELCO

*Bengt Springfeldt*

Los tractores y otras máquinas móviles utilizadas en la agricultura, explotación forestal, construcción y minería, así como en la manipulación de materiales, pueden dar lugar a graves peligros cuando los vehículos vuelcan lateralmente, hacia adelante o hacia atrás. Los riesgos aumentan en el caso de tractores de ruedas con centros de gravedad altos. Otros vehículos que presentan riesgo

de vuelco son los tractores de orugas, cargadoras, grúas, colectoras de frutas, excavadoras, volquetes, cucharas de arrastre y motoniveladoras. Normalmente, estos accidentes ocurren con demasiada rapidez para que los conductores y pasajeros puedan salir de la máquina, pudiendo quedar atrapados debajo del vehículo. Por ejemplo, los tractores que tienen el centro de gravedad alto pueden volcar con facilidad y los vehículos estrechos tienen menos estabilidad que los anchos. En los tractores se ha introducido un interruptor de mercurio para parar el motor al detectar un movimiento lateral, pero resulta demasiado lento para las fuerzas dinámicas generadas en el movimiento de vuelco (Springfeldt 1993) y por tanto se ha abandonado el uso de este dispositivo de seguridad.

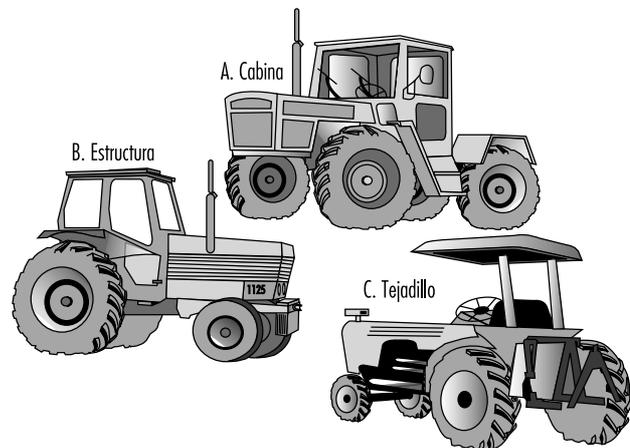
El hecho de que estos vehículos se utilicen con frecuencia en pendientes o terrenos irregulares o en tierra blanda y en ocasiones cerca de zanjas o excavaciones, es un factor importante que favorece el vuelco. Si un equipo auxiliar está montado en el tractor en una posición elevada, la probabilidad de volcar hacia atrás al subir por una pendiente (o de volcar hacia delante al descender) es mayor. Además, un tractor puede volcar debido a la pérdida de control provocada por la presión ejercida por un equipo remolcado (por ejemplo, cuando el tractor desciende por una pendiente y el equipo remolcado no tiene frenos y adelanta al tractor). Pueden producirse situaciones de peligro especiales cuando se utilizan los tractores para remolcar, especialmente si el gancho del tractor está situado a un nivel más alto que el eje de las ruedas.

### **Historia**

El problema de los vuelcos ha sido objeto de atención a escala nacional en algunos países donde se han producido muchos vuelcos con consecuencias mortales. En Suecia y Nueva Zelanda ya se desarrollaron y probaron estructuras de protección contra vuelcos (EPV) en tractores (Figura 58.98) en el decenio de 1950, pero estos trabajos solo dieron lugar a reglamentos promulgados por las autoridades suecas, y que entraron en vigor en 1959 (Springfeldt 1993).

Los proyectos de reglamento que declaraban obligatorio el uso de EPV en tractores chocaron con la resistencia del sector agrícola en varios países. Hubo una fuerte oposición a los planes que exigían a los patronos instalar EPV en los tractores existentes e incluso a la propuesta de que los fabricantes equiparan únicamente los tractores nuevos. En su momento, muchos países consiguieron declarar obligatorios los EPV en los nuevos tractores y posteriormente algunos países impulsaron el montaje de

Figura 58.98 • Tipos habituales de EPV en tractores.



EPV en tractores existentes. Las normas internacionales relativas a tractores y maquinaria de movimiento de tierras, incluidas las normas de ensayo de EPV, contribuyeron a que los diseños fueran más fiables. Los tractores se diseñaron y fabricaron con centros de gravedad y ganchos de remolque en posición más baja. La tracción a cuatro ruedas ha reducido el riesgo de vuelco. Pero la proporción de tractores con EPV en países en los que existen muchos tractores antiguos y no es obligatorio el montaje de EPV en tractores existentes, es todavía bastante baja.

### Investigaciones.

Los accidentes por vuelco, especialmente los relativos a tractores, han sido estudiados por investigadores de muchos países, pero no existen estadísticas internacionales centralizadas en relación con los accidentes causados por los tipos de máquinas móviles estudiados en este artículo. No obstante, las estadísticas disponibles a nivel nacional muestran que el número es alto, especialmente en la agricultura. Según un informe escocés de accidentes por vuelco de tractores en el período 1968–1976, el 85 % de los tractores implicados en accidentes llevaban un equipo adosado en el momento de producirse, y de estos, la mitad llevaban remolques y la otra mitad equipos montados fijamente. Dos tercios de los accidentes por vuelco de tractores del informe escocés se produjeron en pendientes (Springfeldt 1993). Posteriormente se demostró que el número de accidentes se redujo después de la implantación de cursillos de formación para la conducción en pendientes y de la aplicación de un instrumento para medir la pendiente combinado con un indicador de límites de seguridad en pendientes.

En otros estudios, investigadores neozelandeses observaron que la mitad de los accidentes mortales por vuelco se habían producido en terreno llano o con pendiente ligera y sólo una décima parte se había producido en pendientes acusadas. En terreno llano, los conductores de los tractores pueden prestar menos atención al peligro de vuelco y pueden juzgar erróneamente el riesgo planteado por zanjas e irregularidades del terreno. De los accidentes mortales por vuelco de tractores en Nueva Zelanda en el período 1949–1980, el 80 % correspondió a tractores de ruedas y el 20 % a tractores de oruga (Springfeldt 1993). Según estudios realizados en Suecia y Nueva Zelanda, aproximadamente el 80 % de los accidentes mortales por vuelco de tractores se produjeron por vuelco lateral. La mitad de los tractores con accidentes mortales en Nueva Zelanda habían dado una vuelta de campana.

Según estudios de correlación entre vuelcos con consecuencias mortales en Alemania Occidental y el año de construcción de los tractores agrícolas (Springfeldt 1993), uno de cada 10.000 tractores antiguos sin protección fabricados antes de 1957 había sufrido un accidente por vuelco con efecto mortal. De los tractores con EPV obligatorios fabricados a partir de 1970, uno de cada 25.000 tractores había intervenido en un accidente mortal por vuelco. De los vuelcos de tractores con consecuencias mortales en el período 1980–1985, dos tercios de las víctimas habían salido despedidas de la zona protegida siendo después atropelladas o golpeadas por el tractor (Springfeldt 1993). De los vuelcos sin consecuencias mortales, la cuarta parte de los conductores habían salido despedidos de su asiento pero no habían sido atropellados. Es evidente que el riesgo de accidente mortal aumenta si el conductor sale despedido de la zona protegida (como ocurre en los accidentes de automóvil). La mayoría de los tractores implicados tenían un tejadillo con dos montantes (Figura 58.98), pero esto no impidió que el conductor saliera despedido de la zona protegida. En pocos casos habían sufrido los EPV roturas o deformaciones importantes.

Las frecuencias relativas de lesiones por cada 100.000 tractores en distintos períodos en los mismos países y la reducción de la tasa de accidentes mortales fue calculada por

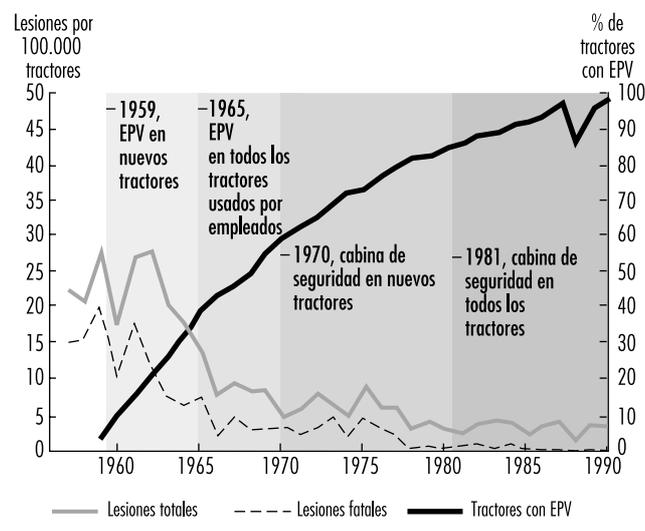
Springfeldt (1993). La eficacia de los EPV en la disminución de accidentes por vuelco de tractores se ha demostrado en Suecia, donde el número de accidentes mortales por cada 100.000 tractores se redujo aproximadamente de 17 a 0,3 a lo largo de tres decenios (1960–1990). (Figura 58.99). Al final del período se estimó que aproximadamente el 98 % de los tractores llevaban montados EPV, sobre todo en forma de una cabina resistente al aplastamiento (Figura 58.98 A). En Noruega, los accidentes mortales se redujeron aproximadamente de 24 a 4 por cada 100.000 tractores en un período similar, mientras que los resultados en Finlandia y Nueva Zelanda fueron peores.

### Prevención de lesiones debidas a vuelcos

El riesgo de vuelco es máximo en el caso de los tractores; ahora bien, en trabajos agrícolas y forestales es poco lo que se puede hacer para evitar que los tractores vuelquen. Montando EPV en tractores y en los demás tipos de maquinaria de movimientos de tierras con peligro de vuelco, se puede reducir el riesgo de lesiones personales, siempre que los conductores permanezcan en sus asientos durante el vuelco (Springfeldt 1993). La frecuencia de los accidentes mortales por vuelco depende en gran medida de la proporción de máquinas protegidas en uso y de los tipos de EPV utilizados. Un tejadillo (Figura 58.98) proporciona una protección mucho menor que una cabina o una estructura (Springfeldt 1993). La estructura más eficaz es una cabina a prueba de aplastamiento, que permite al conductor permanecer dentro, protegido, en caso de vuelco. (Otra razón para elegir una cabina es que ofrece protección contra la intemperie.) El medio más eficaz para mantener al conductor dentro de la protección del EPV durante un vuelco es un cinturón de seguridad, siempre que el conductor lo utilice mientras maneja el equipo. En algunos países se colocan placas informativas junto al asiento del conductor advirtiéndole que el volante quedará bloqueado en caso de vuelco. Una medida de seguridad adicional es diseñar la cabina del conductor o el entorno interior y el EPV de manera que se impida la exposición a peligros como bordes afilados o protuberancias.

En todos los países, los vuelcos de maquinaria móvil, principalmente tractores, causan lesiones graves. Con todo, hay diferencias considerables entre los diversos países relativas a las especificaciones técnicas para el diseño de las máquinas y

Figura 58.99 • Lesiones por vuelco por 100.000 tractores en Suecia entre 1957 y 1990.



también a los procedimientos administrativos de examen, prueba, inspección y comercialización. La diversidad internacional que caracteriza los esfuerzos en materia de seguridad a este respecto se pueden explicar por consideraciones como las siguientes:

- la obligatoriedad del uso de EPV (en forma de reglamentos o leyes), la existencia de meras recomendaciones o la ausencia total de reglamentos;
- la necesidad de reglamentos para máquinas nuevas y de reglamentos aplicables a equipos más antiguos;
- la realización de inspecciones por parte de las autoridades, la existencia de una presión social y un clima cultural favorable al respeto de los reglamentos de seguridad; en muchos países, el cumplimiento de las directrices de seguridad no se comprueba mediante inspecciones en los trabajos agrícolas;
- la presión de los sindicatos; ahora bien, hay que tener en cuenta que las organizaciones de trabajadores tienen menos influencia en las condiciones de trabajo en la agricultura que en otros sectores, debido a que existen muchas explotaciones familiares en la agricultura;
- el tipo de EPV utilizada en el país;
- información y comprensión de los riesgos a los que están expuestos los conductores de tractores; a menudo existen problemas prácticos para llegar a los agricultores y trabajadores forestales con fines de información y educación,
- la geografía del país, especialmente en los lugares donde se realizan trabajos agrícolas, forestales y de obras públicas.

### Reglamentos de seguridad.

La naturaleza de los reglamentos que rigen los requisitos para los EPV y el grado de aplicación de los reglamentos en un país, influyen mucho en los accidentes por vuelco, especialmente los mortales. Teniendo esto en cuenta, se ha favorecido el desarrollo de máquinas más seguras mediante directivas, códigos y normas publicados por organismos nacionales e internacionales. Además, muchos países han adoptado normas rigurosas para los EPV, con la consecuencia de una gran disminución en lesiones por vuelco.

### Comunidad Económica Europea

A partir de 1974, la Comunidad Económica Europea (CEE) promulgó directivas relativas a la homologación de tractores agrícolas y forestales de ruedas y en 1997 publicó otras directivas especiales relativas a EPV, que incluían su fijación a los tractores (Springfeldt 1993; CEE 1974, 1977, 1979, 1982, 1987). Las directivas establecen un procedimiento para la homologación y la aprobación de modelo por los fabricantes de tractores, y los EPV tienen que ser revisados mediante un examen de aprobación de tipo de la CEE. Estas directivas han sido aceptadas por todos los países miembros.

Algunas directivas de la CEE relativas a EPV de tractores se abolieron el 31 de diciembre de 1995, siendo sustituidas por la directiva general de maquinaria que es aplicable a todo tipo de máquinas que presentan peligros debido a su movilidad (CEE 1991). Los tractores de ruedas, así como algunas máquinas de movimiento de tierras con una potencia superior a 15 kW (concretamente las cargadoras de ruedas y de orugas, las palas retrocargadoras, los tractores de orugas, las cucharas de arrastre, las motoniveladoras y los volquetes articulados) tienen que estar dotados de una EPV. En caso de vuelco, la EPV tiene que ofrecer al conductor y a los operadores un volumen adecuado que limite la deformación (es decir, espacio que permita el movimiento de los cuerpos de los ocupantes antes de que entren en contacto con elementos interiores en caso de accidente). Es responsabilidad del fabricante o de su representante autorizado la realización de las pruebas pertinentes.

### Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

En 1973 y en 1987 la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) aprobó normas para la prueba de tractores (Springfeldt 1993; OCDE 1987). Estas normas reflejan los resultados de las pruebas de los tractores y describen los equipos y las condiciones de prueba. Las normas requieren la prueba de muchos elementos y funciones de máquinas, por ejemplo la resistencia de las EPV. Las normas de tractores de la OCDE describen un método estático y dinámico para la prueba de EPV en determinados tipos de tractores. Una EPV se puede diseñar para proteger exclusivamente al conductor en caso de vuelco del tractor. La EPV tiene que volver a probarse para cada modelo de tractor en el que se monte. Las normas también exigen que se pueda montar una protección contra la intemperie en la estructura de naturaleza más o menos temporal. Las normas aplicables a los tractores han sido aceptadas por todos los organismos miembros de la OCDE a partir de 1988, pero en la práctica Estados Unidos y Japón también aceptan EPV que no cumplen los requisitos de las normas si existen cinturones de seguridad. (Springfeldt 1993).

### Organización Internacional del Trabajo

En 1965, la Organización Internacional del Trabajo (OIT), en su manual *Seguridad y salud en el trabajo agrícola*, exigía montar en los tractores una cabina o estructura de resistencia suficiente para proporcionar una protección satisfactoria al conductor y los pasajeros en caso de vuelco del tractor (Springfeldt 1993; ILO 1965). Según los códigos de prácticas de la OIT, los tractores forestales y agrícolas deben estar dotados de EPV para proteger al operador y a cualquier pasajero en caso de vuelco, caída de objetos o desplazamiento de cargas (OIT 1976).

El montaje de EPV no debe afectar adversamente

- el acceso entre el suelo y el puesto del conductor;
- el acceso a los controles principales del tractor;
- la maniobrabilidad del tractor en espacios limitados;
- el montaje o uso de cualquier equipo que se pueda conectar al tractor,
- el control y ajuste de los equipos asociados.

### Normas nacionales e internacionales

En 1981 la Organización Internacional de Normalización (ISO) publicó una norma relativa a tractores y maquinaria agrícola y forestal (ISO 1981). La norma describe un método estático de prueba para EPV y establece las condiciones de aceptación. Esta norma ha sido aprobada por los organismos miembros de 22 países, pero Canadá y Estados Unidos no han aprobado el documento por razones técnicas. Una norma y práctica recomendada publicada en 1974 por la Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE) en Norteamérica contiene requisitos para EPV en tractores agrícolas de ruedas y tractores industriales utilizados en la construcción, cucharas de arrastre con ruedas de goma, cargadoras frontales, excavadoras, cargadoras de orugas y motoniveladoras motorizadas (SAE 1974 y 1975). El contenido de la norma se ha adoptado con carácter reglamentario en Estados Unidos y en las provincias canadienses de Alberta y British Columbia.

### Reglamentos y su cumplimiento

Hay códigos de la OCDE y normas internacionales que se refieren al diseño y construcción de EPV y al control de su resistencia, pero carecen de fuerza legal para imponer la aplicación de este tipo de protección (OCDE; ISO 1981). La Comunidad Económica Europea también ha propuesto que tractores y máquinas de movimiento de tierras se equipen con sistemas de protección (CEE 1974-1987). El objetivo de las directivas de la CEE es conseguir la uniformidad entre las entidades nacionales

en relación con la seguridad de la maquinaria nueva en su fase de fabricación. Los países miembros están obligados a respetar las directivas y a publicar los reglamentos correspondientes. A partir de 1996, los países miembros de la CEE pretenden publicar reglamentos que exijan que los nuevos tractores y máquinas de movimiento de tierras estén equipados con EPV.

En 1959, Suecia fue el primer país que exigió EPV para nuevos tractores (Springfeldt 1993). Preceptos similares entraron en vigor en Dinamarca y Finlandia diez años más tarde. Posteriormente, en los decenios de 1970 y 1980 entraron en vigor requisitos para EPV en nuevos tractores en Gran Bretaña, Alemania Occidental, Nueva Zelanda, Estados Unidos, España, Noruega, Suiza y otros países. En todos estos países, con excepción de Estados Unidos, los reglamentos se extendieron a tractores existentes algunos años después, pero estos reglamentos no siempre eran preceptivos. En Suecia, todos los tractores tienen que estar equipados con una cabina protectora, regla que en Gran Bretaña sólo es aplicable a todos los tractores utilizados por trabajadores agrícolas (Springfeldt 1993). En Dinamarca, Noruega y Finlandia, todos los tractores tienen que tener al menos una estructura, mientras que en Estados Unidos y Australia se aceptan los tejadillos. En Estados Unidos, los tractores tienen que llevar cinturones de seguridad.

En Estados Unidos, la maquinaria de manipulación de materiales fabricada después de 1972 y utilizada en obras públicas tiene que estar equipada con EPV que cumplan las normas de características mínimas (US Bureau of National Affairs 1975). Las máquinas sujetas a este requisito incluyen algunas cucharas de arrastre, cargadoras frontales, excavadoras, tractores de orugas, cargadoras y motoniveladoras. También se han montado EPV en máquinas fabricadas tres años antes aproximadamente.

## Resumen

En países con requisitos obligatorios de EPV para nuevos tractores y tractores existentes, ha habido una disminución de las lesiones por vuelco y sobre todo de accidentes mortales. Es evidente que una cabina a prueba de aplastamiento es el tipo más eficaz de EPV. Un tejadillo proporciona una protección deficiente en caso de vuelco. Muchos países han declarado obligatorio el uso de EPV eficaces al menos en los tractores nuevos y, a partir de 1996, en máquinas de movimiento de tierras. A pesar de esto, algunas autoridades aceptan tipos de EPV que no cumplen los requisitos promulgados por la OCDE y la ISO. Se espera que se produzca gradualmente en todo el mundo, incluidos los países en vías de desarrollo, una armonización más general de los reglamentos relativos a las EPV.

## ● CAIDAS DESDE ALTURAS

*Jean Arteau*

Las caídas desde alturas son accidentes graves que se producen en muchas industrias y profesiones y que tienen como resultado lesiones que se producen por contacto entre la persona que cae y el origen de la lesión en las siguientes circunstancias:

- El movimiento de la persona y la fuerza de choque se producen por gravedad.
- El punto de contacto con el origen de la lesión está más bajo que la superficie que soporta la persona al comienzo de la caída.

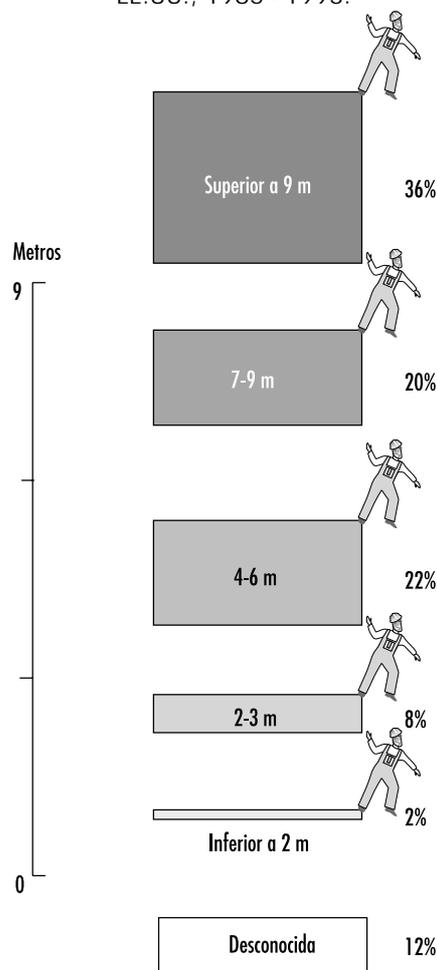
A partir de esta definición se puede suponer que las caídas son inevitables porque la gravedad siempre está presente. Las caídas son accidentes con frecuencia graves y en parte previsibles que

se producen en todos los sectores de la industria y profesiones. En este artículo se proponen algunas estrategias para reducir el número de caídas o al menos reducir la gravedad de las lesiones que éstas producen.

## Altura de la caída

La gravedad de las lesiones causadas por caídas está relacionada intrínsecamente con la altura de la caída. Pero esto es sólo una verdad parcial, ya que la energía de la caída libre es el producto de la masa que cae por la altura de la caída y la gravedad de las lesiones es directamente proporcional a la energía transferida durante el choque. Las estadísticas de los accidentes por caída confirman esta relación, aunque también indican que las caídas desde una altura inferior a 3 m pueden ser mortales. Un estudio detallado de las caídas mortales en el sector de la construcción muestra que el 10 % de los accidentes mortales por caídas se produjeron desde una altura inferior a 3 m (véase la Figura 58.100). En este sentido, es necesario analizar cuestiones: el límite legal de 3 m y cómo y cuándo se detienen las caídas.

Figura 58.100 • Muertes por caídas y altura de caída en el sector de la construcción en EE.UU., 1985 - 1993.



Número total de muertes debidas a caídas: 1.954  
Número total de muertes (todas las causas): 5.964

Fuente: Culver y Connolly 1994.

En muchos países, los reglamentos hacen obligatoria la protección contra caídas cuando el trabajador está expuesto a una caída de más de 3 m. Una interpretación simplista es que las caídas desde menos de 3 m no son peligrosas. De hecho, el límite de 3 m es el resultado de un consenso social, político y práctico que no impone como obligatoria la protección contra caídas cuando se trabaja a la altura de un solo piso. Incluso existiendo el límite legal de 3 m para la protección obligatoria contra caídas, esta protección debería considerarse siempre. La altura de la caída no es el único factor que explica la gravedad de los accidentes y la mortalidad causada por caídas; también tiene que tenerse en cuenta dónde y cuándo se detiene la caída. Para ello es preciso analizar los sectores industriales con mayor incidencia de caídas desde alturas.

### Dónde se producen las caídas

Las caídas desde alturas se asocian con frecuencia al sector de la construcción porque representan un alto porcentaje de todos los accidentes mortales. Por ejemplo, en Estados Unidos, el 33 % de todos los accidentes mortales en este sector son debidos a caídas desde alturas y en el Reino Unido la cifra es del 52 %. También se producen caídas desde alturas en otros sectores industriales. La minería y la fabricación de equipos de transporte tienen también una alta tasa de caídas desde alturas. En Quebec, donde muchas minas son subterráneas, estrechas y muy pendientes, el 20 % de todos los accidentes corresponde a caídas desde alturas. La fabricación, el uso y el mantenimiento de equipos de transporte como aviones, camiones y vagones de ferrocarril, son actividades con una alta tasa de accidentes por caída. (Tabla 58.10). La proporción varía de un país a otro dependiendo del grado de industrialización, el clima, etc. pero las caídas desde alturas se producen en todos los sectores de la industria con consecuencias parecidas.

Después de tener en cuenta la altura de caída, el siguiente factor por orden de importancia es cómo se detiene la caída. Las caídas en líquidos calientes, carriles electrificados o trituradores de piedra pueden ser mortales aunque la altura de la caída sea inferior a 3 m.

### Causas de las caídas

Hasta ahora hemos dicho que las caídas se producen en todos los sectores económicos y también desde alturas inferiores a 3 m. Pero, ¿por qué se caen las personas? Existen muchos factores humanos que pueden intervenir en las caídas y cuya clasificación en grandes grupos es tan sencilla conceptualmente como útil en la práctica:

Las *oportunidades* de caer vienen determinadas por factores ambientales y originan el tipo más corriente de caída, es decir, un tropiezo o resbalón con resultado de caída desde el nivel del suelo. Otras oportunidades de caída están relacionadas con actividades que se realizan por encima del nivel del suelo.

Las *propensiones* a caer se asocian a enfermedades agudas y crónicas. Las enfermedades específicas que pueden causar una caída afectan normalmente a los sistemas nervioso, circulatorio y/o musculoesquelético.

Las *tendencias* a caer se asocian a los cambios degenerativos intrínsecos que caracterizan el proceso normal de envejecimiento. Al caer, la capacidad de mantener la posición vertical o la estabilidad postural es la función que falla como consecuencia de una combinación de tendencias, propensiones y oportunidades.

### Estabilidad postural

Las caídas se producen por un fallo de la estabilidad postural que mantiene a la persona en posición vertical. La estabilidad postural es un sistema formado por numerosos ajustes rápidos a fuerzas perturbadoras externas, especialmente la gravedad. Estos

Tabla 58.10 • Caídas desde alturas: Quebec 1982–1987.

	Caídas desde alturas por 1.000 trabajadores	Caídas desde alturas en todos los accidentes
Construcción	14,9	10,1%
Industria pesada	7,1	3,6%

ajustes son en su mayoría acciones reflejas servidas por un gran número de arcos reflejos, cada uno de ellos con su información sensorial, conexiones internas de integración y respuesta motora. Las fuentes de información sensorial son la visión, los mecanismos del oído interno que detectan la posición, el aparato somatosensor que detecta estímulos de presión en la piel y la posición de las articulaciones que soportan el peso corporal. Parece ser que la percepción visual desempeña un papel especialmente importante. Se sabe muy poco sobre las estructuras normales de integración y sobre las funciones de la médula espinal o del cerebro. El componente de la respuesta motora del arco reflejo es la reacción muscular.

### Visión

La principal fuente de información sensorial es la visión. Existen dos funciones visuales relacionadas con la estabilidad postural y el control de la marcha:

- la percepción de lo vertical y horizontal es básica para la orientación espacial
- la capacidad de detectar y distinguir objetos en entornos atestados.

Otras dos funciones visuales importantes son:

- la capacidad de estabilizar la dirección de la vista para estabilizar el mundo circundante mientras nos movemos e inmovilizar un punto de referencia visual
- la capacidad de fijar y perseguir objetos definidos dentro del campo visual grande ("mantener la vista en"); esta función requiere una atención considerable y produce un deterioro en la realización de cualquier otra tarea simultánea que requiera atención.

### Causas de inestabilidad postural

Las tres fuentes de información sensorial son interactivas y está interrelacionadas. La ausencia de una fuente de información (y/o la existencia de información falsa) produce inestabilidad postural e incluso caídas. ¿Qué puede causar inestabilidad?

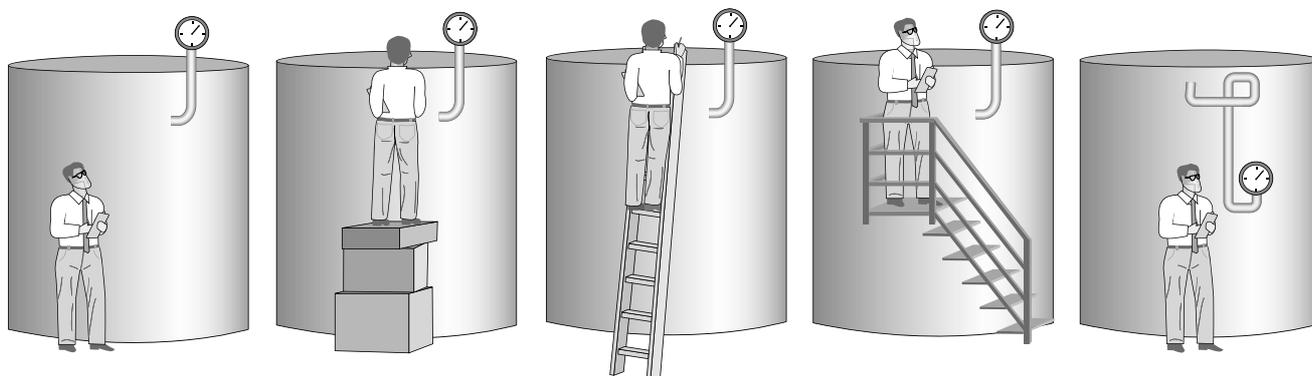
### Visión

- la ausencia de referencias horizontales y verticales, por ejemplo, un conector en la parte superior de un edificio;
- la ausencia de referencias visuales estables, por ejemplo, el agua que pasa por debajo de un puente o las nubes en movimiento no son referencias estables;
- la fijación de un objeto definido para fines de trabajo que deteriora otras funciones visuales, como la capacidad de detectar y distinguir objetos en un entorno atestado,
- un objeto móvil sobre un fondo o referencia móvil, por ejemplo, una viga de acero transportada por una grúa sobre un fondo de nubes en movimiento como referencia visual.

### Oído interno

- tener a una persona cabeza abajo cuando el funcionamiento óptimo del sistema de equilibrio requiere la posición horizontal;

Figura 58.101 • Instalaciones de lectura de un manómetro.



- viajar en un avión no presurizado;
- movimientos muy rápidos como en una montaña rusa,
- enfermedades.

**Aparato somatosensor (estímulos de presión en la piel y posición de las articulaciones que soportan el peso corporal)**

- permanecer vertical sobre un pie;
- extremidades dormidas por permanecer en la misma posición durante largo tiempo, por ejemplo, arrodillado;
- botas rígidas,
- extremidades muy frías.

**Respuesta motora**

- extremidades dormidas;
- cansancio muscular;
- enfermedades, lesiones;
- envejecimiento, discapacidades temporales o permanentes,
- ropas voluminosas.

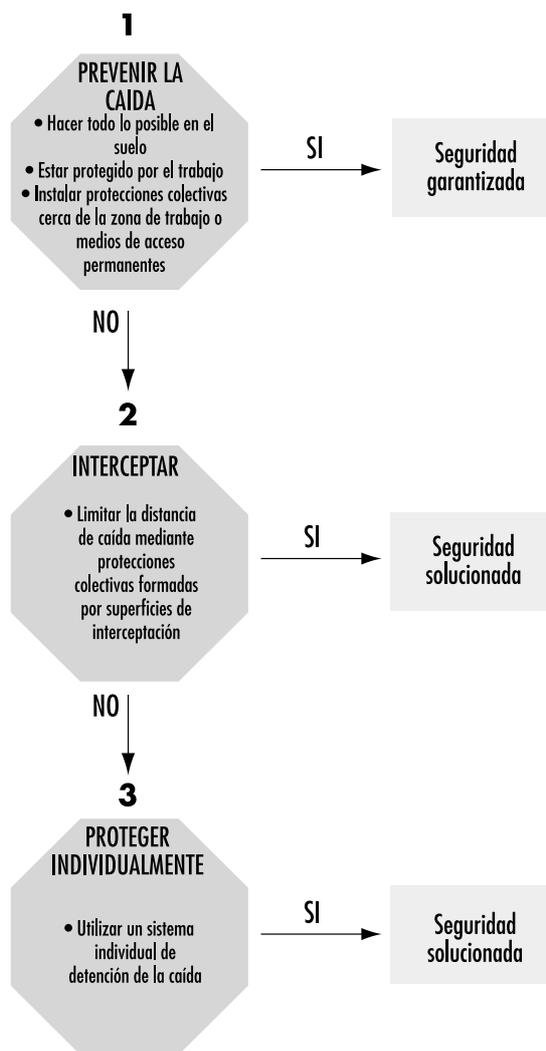
La estabilidad postural y el control de la marcha son reflejos muy complejos del ser humano. Cualquier perturbación de la información sensorial puede originar caídas. Todas las perturbaciones descritas en esta sección son frecuentes en el lugar de trabajo. Por tanto, las caídas son episodios bastante naturales que deben prevenirse.

**Estrategia para la protección contra caídas**

Como se ha indicado antes, los riesgos de caída pueden ser identificados. En la Figura 58.101 se muestra una situación muy corriente que consiste en la lectura de un indicador. La primera ilustración corresponde a la situación tradicional: un manómetro instalado en la parte superior de un depósito sin medio de acceso. En la segunda, un trabajador improvisa un medio de acceso apilando varias cajas: una situación peligrosa. En la tercera, el trabajador utiliza una escalera, lo que supone una mejora. En cualquier caso, la escalera no está fijada permanentemente al depósito y es probable que se esté utilizando en otro lugar de la fábrica cuando se necesite hacer una lectura. El riesgo de caída sigue existiendo aún cuando se añada a la escalera o al tanque un equipo de detención de caídas, el trabajador lleve un arnés completo y se utilice una cuerda de seguridad unida al anclaje.

En la cuarta ilustración se mejora el acceso con una escalera, una plataforma y barandillas. De esta forma se reduce el riesgo de caída y se facilita la lectura (comodidad), disminuyendo la duración y precisión de la misma gracias a una postura de trabajo estable.

Figura 58.102 • Estrategia de prevención de caídas.



Fuente: OPPBTP 1984.

La última ilustración muestra la solución correcta. Durante la fase de diseño de la instalación se tuvieron en cuenta las actividades de manejo y mantenimiento y se instaló el manómetro de manera que se pudiera leer desde el suelo. De esta forma se elimina la posibilidad de una caída desde alturas y, por tanto, ya no existe ningún peligro.

Esta estrategia se centra en la prevención de caídas utilizando medios de acceso adecuados (por ejemplo, andamios, escaleras de mano, escaleras fijas) (Bouchard 1991). Si no se puede prevenirse la caída, tendrán que utilizarse sistemas de detención de la caída (Figura 58.102), cuya eficacia exige una correcta planificación. El punto de anclaje es un factor clave y se tiene que preparar con antelación. Los sistemas de detención de caídas tienen que ser eficaces, fiables y cómodos. Arteau, Lan y Corbeil (pendiente de publicación) y Lan, Arteau y Corbeil (pendiente de publicación) ofrecen dos ejemplos de estos sistemas. En la Tabla 58.11 se indican algunos sistemas típicos de prevención y detención de caídas. Sulowski (1991) describe con detalle los sistemas de detención de caídas y sus componentes.

El énfasis en la prevención no es una cuestión ideológica, sino más bien práctica. La Tabla 58.12 muestra las diferencias entre prevención y detención de caídas, la solución tradicional.

Para las empresas y los técnicos es más fácil construir sistemas de prevención de caídas porque sus requisitos de resistencia mínima a la rotura son de 10 a 20 veces menores que los correspondientes a los sistemas de detención de caídas. Por ejemplo, el requisito de resistencia mínima a la rotura de una barandilla es de 1 kN aproximadamente, el peso de un hombre corpulento, mientras que el correspondiente al punto de anclaje de un sistema de detención de caídas podría ser de 20 kN, el peso de dos vehículos pequeños o 1 metro cúbico de hormigón. La prevención evita las caídas y, por tanto, elimina el riesgo de lesiones. Con los sistemas de detención de caídas, éstas se producen y aunque se detengan, existe un riesgo residual de lesiones.

Tabla 58.11 • Sistemas típicos de prevención y detención de caídas.

	Sistemas de prevención de caídas	Sistemas de detención de caídas
Protección colectiva	Barandillas	Red de seguridad
Protección individual	Sistema de limitación del recorrido (TRS)	Arnés, cuerda de seguridad, dispositivo de absorción de energía, anclaje, etc.

Tabla 58.12 • Diferencias entre la prevención de caídas y la detención de caídas.

	Prevención	Detención
Producción de la caída	No	Sí
Equipo típico	Barandillas	Arnés, cordón de seguridad, dispositivo de absorción de energía y anclaje (sistema de detención de caídas)
Carga de diseño (fuerza)	1 a 1,5 kN aplicada horizontalmente y 0,45 kN aplicada verticalmente en cualquier punto de la parte superior	Resistencia mínima a la rotura del punto de anclaje 18 a 22 kN
Carga	Estática	Dinámica

## ESPACIOS CONFINADOS

Neil McManus

Los espacios confinados se encuentran en todas las industrias y son lugares en los que repetidamente se producen accidentes mortales y no mortales. El término *espacio confinado* se ha utilizado tradicionalmente para designar estructuras concretas como depósitos, recipientes, pozos, vertederos, tolvas, etc. Ahora bien, cualquier definición basada en una descripción de este tipo es excesivamente restrictiva y cuestiona la extrapolación directa a estructuras en las cuales se han producido accidentes. En teoría, cualquier estructura en la que trabajen personas puede ser o convertirse en un espacio confinado. Los espacios confinados pueden ser muy grandes o muy pequeños. Lo que realmente describe el término es un entorno en el que puede darse una gran variedad de condiciones peligrosas. Estas pueden incluir el confinamiento personal y peligros estructurales, de procesos, mecánicos, de materiales líquidos o a granel, atmosféricos, físicos, químicos, biológicos, de seguridad y ergonómicos. Muchas de las condiciones producidas por estos peligros no son privativas de los espacios confinados, pero se agravan por efecto de las superficies limitantes del espacio confinado.

Los espacios confinados son mucho más peligrosos que los normales. Modificaciones aparentemente mínimas de las condiciones pueden cambiar rápidamente estos espacios de trabajo de inocuos a muy peligrosos. Estas condiciones pueden ser transitorias y sutiles y, por tanto, difíciles de reconocer y corregir. Algunas de las tareas que se realizan en espacios confinados están relacionadas con la construcción, la inspección, el mantenimiento, la modificación y la rehabilitación. Suelen ser trabajos no rutinarios, de corta duración, no repetitivos e imprevisibles (con frecuencia, fuera de las horas de trabajo normales o cuando la unidad está fuera de servicio).

### Accidentes en espacios confinados

Los accidentes que ocurren en espacios confinados difieren de los que ocurren en espacios de trabajo normales. Un error aparentemente mínimo o un descuido en la preparación del espacio, la selección o el mantenimiento del equipo o la actividad laboral puede precipitar un accidente. Esto se debe a que la tolerancia a errores en estas situaciones es más pequeña que en las actividades normales.

Las profesiones de las víctimas de accidentes en espacios confinados abarcan todo el espectro laboral. Aunque la mayoría son trabajadores, como cabría esperar, las víctimas también incluyen personal técnico y de ingeniería, capataces, directivos y personal de emergencia. El personal de seguridad e higiene industrial también se ha visto afectado por accidentes en espacios confinados. Los únicos datos disponibles sobre accidentes en espacios confinados proceden de Estados Unidos y sólo incluyen los accidentes mortales (NIOSH 1994). En todo el mundo, estos accidentes provocan unas 200 víctimas anuales en la industria, la agricultura y los hogares (Reese y Mills 1986). Esta es, en el mejor de los casos, una estimación basada en datos incompletos, pero parece aplicable en la actualidad. Aproximadamente las dos terceras partes de los accidentes se produjeron por condiciones atmosféricas peligrosas en los espacios confinados. En casi el 70 % de estos casos, dichas condiciones existían antes de la entrada de los trabajadores y del comienzo del trabajo. A veces, estos accidentes ocasionan varias víctimas, algunas como consecuencia del incidente original y otras como consecuencia de los intentos de rescate. Las condiciones de alto estrés durante los intentos de rescate someten con frecuencia a los rescatadores a riesgos mucho más altos que los corridos por la víctima inicial.

Las causas y resultados de los accidentes de las personas que trabajan fuera de estructuras que confinan atmósferas peligrosas son similares a los que ocurren dentro de espacios confinados. Las explosiones o incendios relacionados con una atmósfera confinada causaron aproximadamente la mitad de los accidentes mortales en trabajos de corte y soldadura en Estados Unidos. Aproximadamente en el 16 % de estos accidentes intervinieron bidones "vacíos" de 205 l u otros recipientes (OSHA 1988).

### Identificación de espacios confinados

El análisis de los accidentes que tienen lugar en espacios confinados indica que la mejor defensa reside en la información y el entrenamiento de los trabajadores, así como en un programa de identificación y gestión de riesgos. También es esencial la adquisición de destrezas para que capataces y trabajadores puedan reconocer condiciones potencialmente peligrosas. Una contribución a este programa es un inventario exacto y actualizado de los espacios confinados que incluya el tipo de espacio, su ubicación, sus características, su contenido, las condiciones peligrosas, etc. En muchos casos, la elaboración de este tipo de inventario es difícil porque el tipo y número de espacios confinados varía constantemente. Por otra parte, los espacios confinados en operaciones de proceso son fácilmente identificables, aunque permanecen cerrados e inaccesibles la mayor parte del tiempo. En algunos casos, un espacio pasa de ser confinado a no serlo de un día para otro.

Una ventaja de la identificación de los espacios confinados es la oportunidad de colocar carteles de advertencia. Estos carteles permiten a los trabajadores relacionar el término *espacio confinado* con ciertos equipos y estructuras de su lugar de trabajo. Los aspectos negativos de esta medida son: (1) el cartel puede pasar desapercibido si se colocan muchas otras señales de advertencia; (2) las organizaciones con muchos espacios confinados pueden encontrar grandes dificultades para advertir de su presencia por medio de carteles; (3) los carteles sirven de poco cuando los espacios confinados cambian con frecuencia, y (4) el recurso de los carteles de advertencia como única forma de identificar los espacios confinados causa dependencia y puede hacer que estos espacios se pasen por alto.

### Valoración de riesgos

El aspecto más complejo y difícil de los espacios confinados es la valoración de riesgos, que consiste en identificar las condiciones peligrosas existentes y potenciales y evaluar el nivel y aceptabilidad del riesgo. La dificultad de la valoración de riesgos se debe a que muchas de las condiciones peligrosas que pueden producir lesiones traumáticas o agudas son difíciles de identificar y evaluar y con frecuencia cambian dependiendo de las condiciones. Por tanto, la eliminación o reducción de riesgos durante la preparación del espacio para el acceso de los trabajadores es esencial para minimizar el riesgo durante el trabajo.

La valoración de riesgos proporciona una estimación cualitativa del nivel de preocupación que origina una situación concreta en un momento concreto (Tabla 58.13). El nivel de preocupación dentro de cada categoría varía entre un nivel mínimo y otro máximo. La comparación entre categorías no procede, ya que el nivel máximo de preocupación puede variar considerablemente.

Cada entrada de la Tabla 58.13 puede ampliarse para facilitar detalles sobre las condiciones peligrosas que causan preocupación. También se pueden dar detalles para eliminar categorías que no son causa de preocupación.

Para el éxito de la identificación y valoración de riesgos, es fundamental la intervención de una *persona cualificada*. Se considera que una persona está cualificada cuando, por su experiencia, sus estudios y/o su formación especializada, es capaz de

prever, reconocer y evaluar exposiciones a sustancias peligrosas o a otras condiciones poco seguras y de recomendar medidas de control y/o de protección. Es decir, la persona cualificada tiene que saber lo que es necesario en el contexto de una situación concreta de trabajo en un espacio confinado.

Se debe hacer una valoración de riesgos para cada uno de los cinco períodos del ciclo de vida de un espacio confinado (según proceda): espacio no perturbado, preparación previa al acceso, inspección previa al trabajo, actividades laborales (McManus, manuscrito) y respuesta de emergencia, ya que pueden producirse accidentes mortales en todos estos períodos. El espacio no perturbado se refiere a la situación existente desde la clausura de dicho espacio después del último acceso hasta el comienzo de la preparación para el siguiente acceso. Las preparaciones previas al acceso tienen como objetivo garantizar la seguridad del acceso y el trabajo en ese espacio. La inspección previa al trabajo consiste en el acceso inicial y el examen del espacio para

Tabla 58.13 • Ejemplo de formulario para evaluar situaciones peligrosas.

Condición peligrosa	Consecuencia real o potencial		
	Baja	Moderada	Alta
Trabajo en caliente			
Peligros atmosféricos			
falta de oxígeno			
exceso de oxígeno			
químicos			
biológicos			
incendio/explosión			
Ingestión/contacto con la piel			
Agentes físicos			
ruido/vibraciones			
estrés por calor/frío			
radiación ionizante/no ionizante			
láser			
Confinamiento personal			
Peligro mecánico			
Peligro de proceso			
Peligros para la seguridad			
estructurales			
absorción/inmersión			
enredamiento			
eléctricos			
caída			
resbalmiento/tropiezo			
nivel de iluminación/visibilidad			
explosión/implosión			
superficies calientes/frías			

NA = no aplicable.

Los significados de ciertos términos, como "sustancia tóxica", "falta de oxígeno", "exceso de oxígeno", "peligro mecánico", etc., requieren una especificación adicional de acuerdo con las normas existentes en cada jurisdicción concreta.

Tabla 58.14 • Un ejemplo de permiso de acceso.

EMPRESA ABC			
ESPACIO CONFINADO—PERMISO DE ACCESO			
<b>1. INFORMACION DESCRIPTIVA</b>			
Departamento:			
Ubicación:			
Edificio/taller:			
Equipo/espacio:			
Parte:			
Fecha:		Asesor:	
Duración:		Cualificación:	
<b>2. ESPACIOS ADYACENTES</b>			
Espacio:			
Descripción:			
Contenido:			
Proceso:			
<b>3. CONDICIONES PREVIAS AL TRABAJO</b>			
<b>Peligros atmosféricos</b>			
<i>Falta de oxígeno</i>	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlada
Concentración:	(Mínimo aceptable:		%)
<i>Exceso de oxígeno</i>	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
Concentración:	(Máximo aceptable:		%)
<i>Químico</i>	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
Concentración de la sustancia	(Normal aceptable:		)
<i>Biológico</i>	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
Concentración de la sustancia	(Normal aceptable:		)
<i>Incendio/explosión</i>	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
Concentración de la sustancia	(Máximo aceptable:		% LFL)
<i>Peligro por ingestión/contacto con la piel</i>	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
<b>Agentes físicos</b>			
<i>Ruido/vibraciones</i>	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
Nivel:	(Máximo aceptable:		dB(A)
<i>Estrés por calor/frío</i>	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
Temperatura:	(Intervalo aceptable:		)
<i>Radiación ionizante/no ionizante</i>	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlada
Tipo Nivel	(Máximo aceptable:		)
<i>Láser</i>	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlada
Tipo Nivel	(Máximo aceptable:		)
<i>Confinamiento personal</i> (véase la acción correctiva)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
<i>Peligro mecánico</i> (véase el procedimiento)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
<i>Peligro de proceso</i> (véase el procedimiento)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado

Continúa en la página siguiente.

Tabla 58.14 • Un ejemplo de permiso de acceso.

Continuación.

EMPRESA ABC			
ESPACIO CONFINADO—PERMISO DE ACCESO			
<b>Peligros para la seguridad</b>			
<i>Peligro estructural</i> (véase la acción correctiva)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
<i>Absorción/inmersión</i> (véase la acción correctiva)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
<i>Enredamiento</i> (véase la acción correctiva)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
<i>Eléctrico</i> (véase el procedimiento)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
<i>Caida</i> (véase la acción correctiva)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
<i>Resbalones/tropezos</i> (véase la acción correctiva)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
<i>Nivel de visibilidad/iluminación</i>	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
Nivel:	(Intervalo aceptable: lux)		
<i>Explosión/implosión</i> (véase la acción correctiva)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
<i>Superficies calientes/frías</i> (véase la acción correctiva)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Controlado
Para las casillas marcadas, indicar datos adicionales y consultar las medidas de protección. Para los peligros susceptibles de pruebas, consultar los requisitos de prueba. Proporcionar datos de la calibración más reciente. Los valores máximo, mínimo, normal o de intervalo aceptables dependen de la jurisdicción.			
<b>4. Procedimiento de trabajo</b>			
<b>Descripción:</b>			
<i>Trabajo en caliente</i> (Consultar las medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
<b>Peligro atmosférico</b>			
<i>Falta de oxígeno</i> (Consultar los requisitos para pruebas adicionales. Registrar los resultados. Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
Concentración:	(Mínimo aceptable: %)		
<i>Exceso de oxígeno</i> (Consultar los requisitos para pruebas adicionales. Registrar los resultados. Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
Concentración:	(Máximo aceptable: %)		
<i>Químico</i> (Consultar los requisitos para pruebas adicionales. Registrar los resultados. Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
Concentración de la substancia	(Normal aceptable: )		
<i>Biológico</i> (Consultar los requisitos para pruebas adicionales. Registrar los resultados. Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
Concentración de la substancia	(Normal aceptable: )		
<i>Incendio/explosión</i> (Consultar los requisitos para pruebas adicionales. Registrar los resultados. Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
Concentración de la substancia	(Normal aceptable: )		
<i>Peligro de ingestión/contacto con la piel</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
<b>Agentes físicos</b>			
<i>Ruido/vibraciones</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección. Consultar los requisitos para pruebas adicionales. Registrar los resultados.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
Nivel:	(Máximo aceptable: dBA)		
<i>Estrés por calor/frío</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección. Consultar los requisitos para pruebas adicionales. Registrar los resultados.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
Temperatura:	(Intervalo aceptable: )		
<i>Radiación ionizante/no ionizante</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección. Consultar los requisitos para pruebas adicionales. Registrar los resultados.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
Tipo Nivel	(Máximo aceptable: )		
<i>Láser</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible

Continúa en la página siguiente.

Tabla 58.14 • Un ejemplo de permiso de acceso.

Continuación.

EMPRESA ABC			
ESPACIO CONFINADO—PERMISO DE ACCESO			
<i>Peligro mecánico</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
<i>Peligro de proceso</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
<b>Peligros para la seguridad</b>			
<i>Peligros estructurales</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
<i>Absorción/inmersión</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
<i>Enredamiento</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
<i>Eléctrico</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
<i>Caída</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
<i>Resbalón/tropezón</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
<i>Nivel de visibilidad/iluminación</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
<i>Explosión/implosión</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
<i>Superficies calientes/frías</i> (Consultar los requisitos para medidas de protección.)	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Posible
Para las casillas Sí o Posible marcadas, proporcionar detalles adicionales y consultar las medidas de protección. Para los peligros susceptibles de pruebas, consultar los requisitos de prueba. Proporcionar datos de la calibración más reciente.			
<b>Medidas de protección</b>			
Equipo de protección individual (especificar)			
Equipo y procedimiento de comunicaciones (especificar)			
Sistemas de alarma (especificar)			
Equipos de rescate (especificar)			
Ventilación (especificar)			
Iluminación (especificar)			
Otros (especificar)			
<b>Requisitos para las pruebas</b>			
Especificar los requisitos para las pruebas y su frecuencia			
<b>Personal</b>			
Supervisor de acceso			
Supervisor de origen			
Personal autorizado a entrar			
Personal de pruebas			
Asistentes			

comprobar que es seguro para comenzar el trabajo. (Esta práctica es obligatoria en algunas jurisdicciones). Las actividades laborales son tareas individuales que tienen que realizar los trabajadores en el espacio confinado. La respuesta de emergencia consiste en las medidas que deben tomarse en caso de que sea necesario rescatar a los trabajadores o de que se produzca otra emergencia. Los peligros que persisten al comienzo de la actividad laboral o que son generados por ella dictan la naturaleza de los accidentes que pueden motivar un plan o respuesta de emergencia.

La valoración de riesgos en cada uno de estos períodos es esencial porque el enfoque varía continuamente. Por ejemplo, el nivel de preocupación por una condición específica puede desaparecer después de la preparación previa al acceso; sin embargo, puede reaparecer o surgir un peligro nuevo como consecuencia

de una actividad realizada dentro o fuera del espacio confinado. Por esta razón, la evaluación del nivel de preocupación por una condición peligrosa durante todo el ciclo, basada sólo en la valoración de las condiciones previas al acceso o durante el acceso, es inadecuada.

Para determinar el estado de algunos agentes físicos, químicos y biológicos presentes en el espacio confinado o en sus alrededores, se utilizan instrumentos y otros métodos de vigilancia. La vigilancia puede ser necesaria antes del acceso, durante el acceso o durante la actividad laboral. Se recurre al bloqueo, a carteles de advertencia o a otros procedimientos técnicos para desactivar fuentes de energía. El aislamiento utilizando bridas ciegas, tapas y tapones, doble bloqueo, purgas u otras configuraciones de válvulas impide la entrada de sustancias a través de las tuberías. La ventilación mediante extractores se utiliza con frecuencia

para conseguir un lugar de trabajo seguro con y sin protección respiratoria homologada. La evaluación y control de otras condiciones se basa en el juicio de la persona cualificada.

La última parte del proceso es la más crítica. La persona cualificada tiene que decidir si los riesgos asociados con el acceso y el trabajo son aceptables. El control es la mejor manera de garantizar la seguridad. Esta decisión no es difícil de tomar cuando se pueden controlar las condiciones peligrosas o potencialmente peligrosas. Cuanto menor sea el nivel de control percibido, mayor será la posibilidad de contingencias. En algunos casos, la única alternativa posible es prohibir el acceso.

### Control del acceso

Los métodos tradicionales de controlar las actividades en espacios confinados son la autorización de acceso y la presencia de una persona cualificada. En ambos casos, se necesita un reparto claro de autoridad y responsabilidad entre la persona cualificada y los trabajadores con autorización para acceder al espacio confinado, el personal de reserva, los responsables de la respuesta de emergencia y los directivos presentes.

La función de un documento de acceso es informar y documentar. El impreso que se muestra en la Tabla 58.14 puede servir para realizar la valoración de riesgos y documentar los resultados. Cuando se modifica para incluir sólo información relativa a una circunstancia concreta, sirve como autorización o certificado de acceso. La autorización de acceso tiene la máxima eficacia cuando incluye un resumen de las actividades realizadas e indica la necesidad de otras medidas de precaución. La autorización de acceso sólo debe ser emitida por una persona cualificada que tenga autoridad para cancelarla si cambian las condiciones. Esta persona debe ser además independiente de la jerarquía supervisora, de manera que no se vea sometida a presiones potenciales para acelerar el trabajo. La autorización especifica los procedimientos que deben seguirse y las condiciones en las que puede realizarse el acceso y el trabajo, registrando asimismo los resultados de las pruebas y otra información. La autorización debidamente firmada debe colocarse en la puerta o entrada al espacio o según lo especificado por la empresa o el organismo de control. Allí permanecerá hasta que se cancele, se sustituya por otra o se termine el trabajo. Este documento de autorización se convierte en un registro al terminar el trabajo y se tiene que conservarse en los archivos de la empresa el tiempo exigido por el organismo de control.

Este sistema de autorizaciones funciona mejor cuando se conocen condiciones peligrosas por la experiencia previa, habiéndose probado medidas de control que han resultado eficaces. El sistema de autorizaciones permite un reparto más eficaz de los recursos de expertos, pero tiene limitaciones cuando existen peligros no identificados previamente. Si la persona cualificada no está fácilmente disponible, estos peligros pueden permanecer desatendidos.

El certificado de acceso es un mecanismo alternativo al control del acceso. Exige la presencia de una persona cualificada con experiencia práctica en la identificación, evaluación y control de peligros. Una ventaja añadida es la capacidad de responder rápidamente a peligros imprevistos. Algunas jurisdicciones exigen que la persona cualificada realice personalmente una inspección visual del espacio antes de comenzar el trabajo. Una vez examinado el espacio y adoptadas las medidas de control oportunas, la persona cualificada emite un certificado que describe el estado y las condiciones del espacio bajo las cuales puede proceder el trabajo (NFPA 1993). Este planteamiento es ideal para instalaciones que tienen numerosos espacios confinados o en donde las condiciones o la configuración de los espacios pueden sufrir rápidos cambios.

## PRINCIPIOS DE LA PREVENCIÓN: MANIPULACION DE MATERIALES Y TRAFICO INTERNO

*Kari Häkkinen*

La manipulación de materiales y el tráfico interno son factores que contribuyen a una buena parte de los accidentes que se producen en muchos sectores de la industria. Dependiendo del tipo de industria, la proporción de accidentes de trabajo atribuidos a la manipulación de materiales varía entre el 20 % y el 50 %. El control de los riesgos de manipulación de materiales es el principal problema en muelles, obras de construcción, almacenes, serrerías, astilleros y otras industrias pesadas. En muchas industrias de proceso como la química, papelera y siderúrgica, los accidentes se producen principalmente durante la manipulación de los productos finales, ya sea manualmente o mediante grúas y carretillas elevadoras.

Este elevado riesgo de accidentes durante las actividades de manipulación de materiales se debe al menos a tres características básicas:

- Durante la manipulación y el transporte de materiales se liberan cantidades importantes de energía cinética y potencial que pueden causar lesiones y daños.
- El número de trabajadores que realizan actividades de manipulación y transporte y que, por tanto, están expuestos a los riesgos que conllevan estas actividades, sigue siendo relativamente elevado.
- Siempre que tengan que realizarse simultáneamente distintas operaciones dinámicas y éstas exijan la cooperación en varios entornos, existirá una necesidad especialmente urgente de información y comunicación clara y puntual. La alta probabilidad de errores y omisiones humanos puede crear situaciones peligrosas.

### Accidentes durante la manipulación de materiales

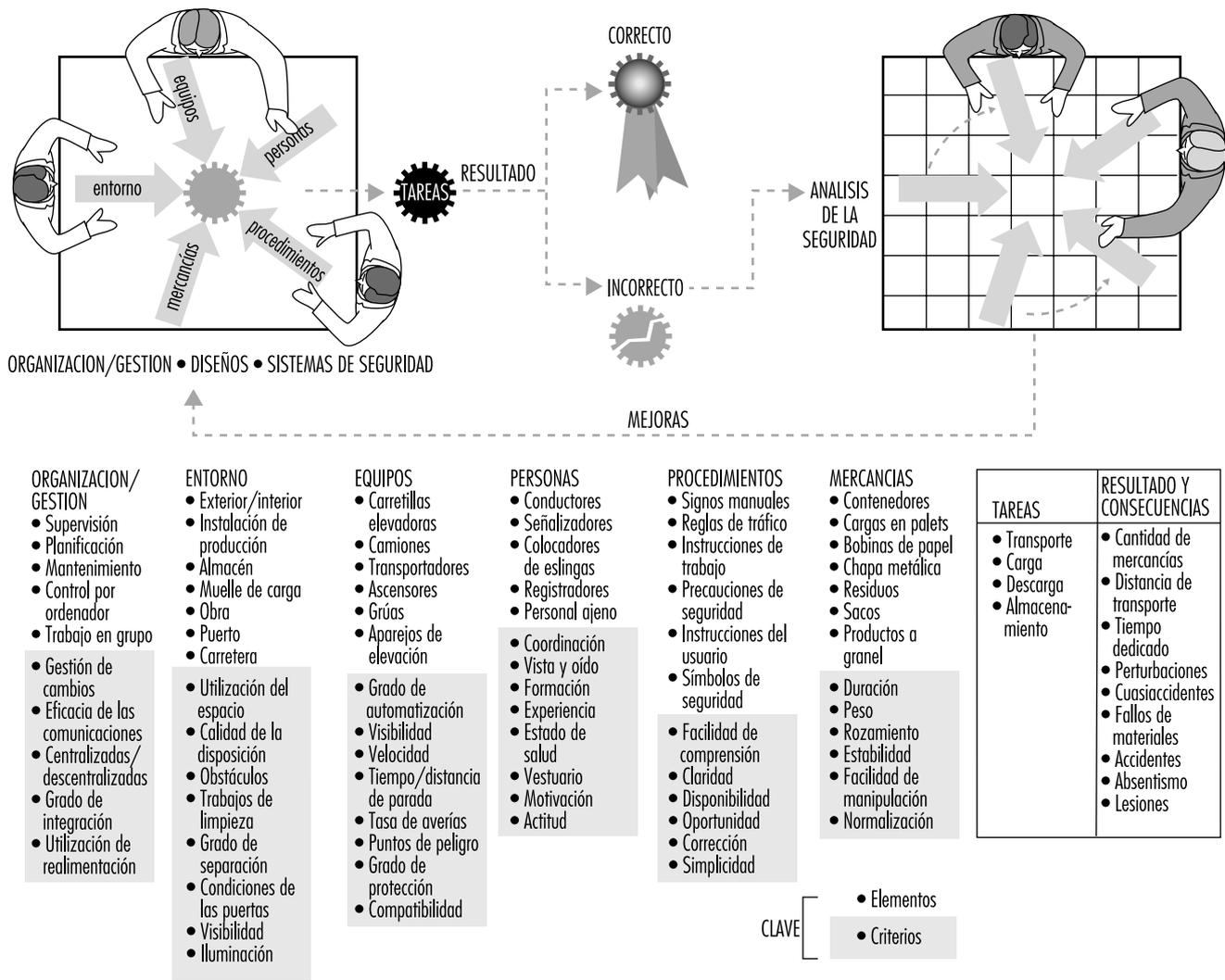
Cada vez que los trabajadores o las máquinas transportan cargas, existen un riesgo de accidente. La magnitud del riesgo viene determinada por las características tecnológicas y organizativas, el entorno y las medidas de prevención de accidentes adoptadas. A efectos de seguridad es útil representar la manipulación de materiales como un sistema con varios elementos interrelacionados (Figura 58.103). Cuando se introducen cambios en cualquier elemento del sistema, ya sean equipos, mercancías, procedimientos, entorno, personas, dirección u organización, es también probable que cambien los riesgos de lesiones.

Los tipos más corrientes de manipulación de materiales y tráfico interno que intervienen en accidentes están asociados con la manipulación, el transporte o la carga manual (carretillas, bicicletas, etc.) o el uso de camiones, carretillas elevadoras, grúas y aparejos, cintas transportadoras y sistemas de transporte por carriles.

En los lugares de trabajo se producen con frecuencia distintos tipos de accidentes asociados a la manipulación y transporte de materiales. La lista siguiente recoge los más frecuentes:

- esfuerzo físico durante la manipulación manual;
- cargas que caen sobre personas;
- personas atrapadas entre objetos;
- choques entre equipos;
- caídas de personas,
- golpes y cortes que reciben las personas de los equipos o cargas.

Figura 58.103 • Un sistema de manipulación de materiales.



**Elementos de los sistemas de manipulación de materiales**

Para cada elemento de un sistema de manipulación de materiales existen distintas opciones de diseño que influyen en el riesgo de accidentes. A estos elementos se les pueden aplicar distintos criterios de seguridad. Es importante considerar todas las etapas del ciclo de vida del sistema: diseño, funcionamiento normal y seguimiento de accidentes y problemas ocurridos en el pasado para introducir mejoras en el sistema.

**Principios generales de la prevención**

Algunos principios prácticos de prevención se consideran generalmente aplicables a la seguridad en la manipulación de materiales. Estos principios se pueden aplicar a sistemas manuales y mecánicos de manipulación de materiales en un sentido general y siempre que se estudia una fábrica, almacén u obra. Para conseguir resultados óptimos en materia de seguridad, se pueden aplicar muchos principios distintos al mismo proyecto. Normalmente, ninguna medida puede por sí sola prevenir todos los

accidentes. Por otra parte, no todos estos principios son necesarios y algunos pueden no ser adecuados para una situación concreta. Los profesionales de la seguridad y los técnicos de manipulación de materiales deben considerar los aspectos más importantes para orientar correctamente su trabajo en cada caso concreto. El problema más importante radica en la aplicación óptima de los principios para crear sistemas seguros y viables de manipulación de materiales, en lugar de apoyarse en un sólo principio técnico e ignorar los demás.

Durante el desarrollo y la evaluación de la seguridad de los sistemas pasados, presentes o futuros de manipulación de materiales, se pueden aplicar los 22 principios que se indican a continuación. Todos ellos pueden aplicarse a medidas de seguridad proactivas o reactivas. La lista no implica ningún orden de prioridad, aunque puede hacerse una distinción general: los principios que se citan primero son especialmente válidos para el diseño inicial de nuevas instalaciones y sistemas de manipulación de materiales, mientras que los últimos están más orientados al funcionamiento de sistemas de manipulación de materiales ya existentes.

## Veintidós principios para la prevención de accidentes durante la manipulación de materiales

1. *Eliminar todas las operaciones innecesarias de transporte y manipulación.* Debido a que muchos procesos de transporte y manipulación son intrínsecamente peligrosos, siempre tiene que considerarse la posibilidad de eliminar algunas operaciones de manipulación de materiales. Muchos procesos modernos de fabricación se pueden organizar como un flujo continuo sin fases separadas de transporte y manipulación. Muchas operaciones de montaje y construcción se pueden planificar y diseñar para eliminar transportes de cargas complejos y fatigosos. También se pueden encontrar soluciones para un transporte más eficaz y racional analizando la logística y el flujo de materiales durante los procesos de fabricación y transporte.
2. *Eliminar personas en el espacio dedicado a transporte y manipulación.* Cuando los trabajadores se alejan físicamente de las cargas que deben moverse, las condiciones de seguridad mejoran *ipso facto* al reducirse la exposición a peligros. En las acerías no se permite que trabajen personas en la zona de manipulación de chatarra porque pueden caer materiales de los prensos magnéticos que se utilizan para mover la chatarra, presentando un riesgo continuo de caída de cargas. En muchos casos, la manipulación de materiales en entornos peligrosos se puede automatizar con el uso de robots y carretillas automáticas para reducir el riesgo de accidentes al que están expuestos los trabajadores por el movimiento de cargas. Además, la prohibición de pasar innecesariamente por los lugares de carga y descarga elimina básicamente la exposición a varios tipos de peligros asociados a la manipulación de materiales.
3. *Separar al máximo entre sí las operaciones de transporte para minimizar los choques.* Cuanto mayor sea la frecuencia de cruce entre vehículos o entre vehículos y otros equipos o personas, mayor será la probabilidad de que se produzcan choques. La separación de las operaciones de transporte es importante cuando se planifica un transporte seguro dentro de la fábrica. Se pueden considerarse distintos tipos de separaciones, como las de peatones/vehículos, tráfico ligero/pesado, tráfico interno/externo hacia o desde el exterior, transporte entre lugares de trabajo/manipulación de materiales dentro de un lugar de trabajo, transporte/almacenamiento, transporte/línea de producción, recepción/expedición y transporte de materiales peligrosos/normales.  
Cuando la separación es imposible, se pueden asignar horas específicas para el acceso de medios de transporte y peatones a las zonas de trabajo (por ejemplo, en un almacén abierto al público). Si no pueden disponerse de vías distintas para los peatones, sus rutas deben indicarse con marcas y carteles. Para entrar en el edificio de una fábrica, los empleados deben disponer de puertas separadas para peatones. Si el tráfico peatonal y el tráfico de carretillas elevadoras se mezcla en las entradas, existe la tendencia a que la mezcla continúe más allá de la entrada, originando un peligro. Cuando se realizan obras en una fábrica, es necesario casi siempre restringir el transporte y el tráfico de personas en la zona de construcción o reparación. En cuanto al transporte con grúas elevadas, los choques pueden evitarse haciendo que las trayectorias de las grúas no se solapen e instalando interruptores de fin de carrera y barreras mecánicas.
4. *Proporcionar suficiente espacio para las operaciones de transporte y manipulación.* Una causa frecuente de accidentes es la existencia de un espacio insuficiente para la manipulación de materiales. Por ejemplo, las manos de los trabajadores pueden quedar pilladas entre la carga y una pared cuando los materiales se manipulan manualmente o las personas pueden quedar atrapadas entre el montante móvil de una grúa de transporte y una pila de materiales si la distancia mínima de seguridad de 0,5 m no se ha respetado. El espacio necesario para las operaciones de transporte y manipulación debe considerarse cuidadosamente cuando se diseña la instalación o se planifican modificaciones. Es aconsejable reservar un "margen de seguridad" para poder realizar cambios futuros en las dimensiones de las cargas y los tipos de equipos. Con frecuencia, el volumen de los productos fabricados tiende a aumentar con el tiempo, pero el espacio para su manipulación se hace cada vez más pequeño. Aunque la exigencia de un uso rentable del espacio sea una razón para minimizar el espacio destinado a la producción, se debe tener en cuenta que el espacio de maniobra necesario para el giro y el retroceso de las carretillas elevadoras con contrapesos es mayor de lo que parece a primera vista.
5. *Diseñar procesos de transporte continuos evitando puntos de discontinuidad en la manipulación de materiales.* El flujo continuo de los materiales reduce la probabilidad de accidentes. El diseño de una instalación tiene una importancia crucial para la aplicación de este principio de seguridad. Los accidentes se concentran en los puntos donde se interrumpe el flujo de materiales porque se cambian los equipos de transporte y manipulación o por razones de producción. Con frecuencia se requiere intervención humana para descargar y cargar, fijar, embalar, levantar y arrastrar, etc. Dependiendo de los materiales manipulados, las cintas transportadoras permiten en general un flujo más continuo de materiales que las carretillas elevadoras o las grúas. Conviene que las actividades de transporte se organicen de tal manera que los vehículos se muevan por la fábrica describiendo un círculo de una sola dirección, sin movimientos en zigzag ni retrocesos. Debido a que los puntos de discontinuidad tienden a producirse en las zonas que separan distintos departamentos o lugares de trabajo, la producción y el transporte deben planificarse de tal modo que se eviten esas "tierras de nadie" con movimiento incontrolado de materiales.
6. *Utilizar elementos estándar en los sistemas de manipulación de materiales.* A efectos de seguridad, en general es mejor utilizar elementos estándar de cargas, equipos y herramientas para la manipulación de materiales. El concepto de carga unitaria es bien conocido para los profesionales del transporte. Los materiales colocados en contenedores o pallets son más fáciles de fijar y mover cuando los demás elementos de la cadena de transporte (por ejemplo, estanterías de almacenamiento, carretillas elevadoras, vehículos motorizados y dispositivos de fijación grúas) están diseñados para estas cargas unitarias. El uso de tipos estándar de carretillas elevadoras con controles similares reduce la probabilidad de errores de los conductores, habiéndose producido accidentes cuando un conductor ha cambiado de un tipo de equipo a otro con distintos controles.
7. *Conocer los materiales que deben manipularse.* El conocimiento de las características de los materiales que deben transportarse es un requisito previo para la seguridad del transporte. La selección de las sujeciones adecuadas de la carga o los mecanismos de elevación tiene que realizarse teniendo en cuenta el peso, el centro de gravedad y las dimensiones de la mercancía que tiene que sujetarse para su elevación y transporte. Cuando se manipulan materiales peligrosos, se necesita información sobre reactividad, inflamabilidad y peligros para la salud. Existen peligros especiales en el caso de elementos frágiles, afilados, polvorientos, resbaladizos, sueltos o cuando se manipulan materiales explosivos y animales vivos, por ejemplo. En

los envases suele proporcionarse información importante para los trabajadores sobre los métodos correctos de manipulación, pero a veces se quitan las etiquetas o una envuelta protectora oculta información importante. Por ejemplo, en ocasiones el contenido de un paquete no es visible y no se puede estimar correctamente en centro de gravedad de la carga.

8. *Mantener la carga por debajo de la capacidad de carga de trabajo segura.* Las sobrecargas son una causa corriente de lesiones asociadas a los sistemas de manipulación de materiales. La pérdida de equilibrio y la rotura de materiales son resultados típicos de la sobrecarga de los equipos de manipulación. La carga de trabajo segura de eslingas y otros aparejos de elevación debe estar correctamente marcada y se deben seleccionar configuraciones apropiadas de eslingas. La sobrecarga puede producirse cuando se juzga erróneamente el peso o el centro de gravedad de la carga, con el resultado de una fijación y manipulación incorrectas. Cuando se utilizan eslingas para manipular cargas, el operador del equipo debe saber que una trayectoria inclinada puede generar fuerzas suficientes para que la carga se caiga o el equipo pierda el equilibrio. La capacidad de carga de las carretillas elevadoras tiene que estar marcada en el equipo y varía dependiendo de la altura de elevación y el tamaño de la carga. Se puede producir una sobrecarga por fatiga al manipularse repetitivamente cargas muy inferiores a la máxima si el componente no ha sido diseñado correctamente contra este tipo de fallo.
9. *Establecer límites de velocidad suficientemente bajos para garantizar en todo momento un movimiento seguro.* Los límites de velocidad de los vehículos en los lugares de trabajo varían entre 10 km/h y 40 km/h. En corredores, puertas, cruces y pasillos estrechos se requieren velocidades menores. Un conductor competente puede adaptar la velocidad del vehículo según requiera cada situación, pero es aconsejable colocar carteles indicadores de la velocidad máxima en los lugares críticos. Por ejemplo, la velocidad máxima de una grúa móvil con mando a distancia se tiene que determinar primero fijando una velocidad del vehículo comparable a una velocidad de marcha razonable para una persona y dejando después un margen suficiente para considerar el tiempo necesario de observación y control simultáneos de las cargas, de manera que no se supere el tiempo de respuesta del operador humano.
10. *Evitar la elevación de cargas por encima de los trabajadores.* La elevación de materiales por encima de la altura de la cabeza siempre conlleva el riesgo de que la carga se caiga. Aunque normalmente no se permite que nadie trabaje debajo de cargas suspendidas, el transporte rutinario de cargas por encima del personal de producción puede exponerle a peligros. La colocación de materiales en estanterías a gran altura con carretillas elevadoras y la elevación a pisos superiores son otros ejemplos de tareas de elevación por encima de las cabezas. Las cintas transportadoras elevadas de piedras, coque o piezas de fundición conllevan un riesgo de caída de materiales para las personas que pasan por debajo de ellas si no hay instaladas las defensas apropiadas. Cuando se considera un nuevo sistema de transporte elevado, los riesgos potencialmente mayores deben compararse con los riesgos menores asociados a un sistema de transporte al nivel del suelo.
11. *Evitar métodos de manipulación de materiales que exijan subir a y trabajar en superficies elevadas.* Cuando un trabajador se ve obligado a trepar, por ejemplo para soltar ganchos de eslingas, para ajustar el toldillo de un vehículo o para marcar cargas, corre el riesgo de caerse. Este peligro puede evitarse con una mejor planificación, modificando la secuencia de trabajos, utilizando diversos accesorios de elevación y herramientas de mando a distancia o mediante mecanización y automatización.
12. *Colocar defensas en los puntos de peligro.* Deben instalarse defensas en los puntos de peligro de los equipos de manipulación de materiales, como las cadenas de las carretillas elevadoras, los accionamientos por cables de las grúas y los puntos de atenuado de las cintas transportadoras. La protección consistente en situar los puntos de peligro fuera del alcance de las personas no es normalmente suficiente porque se puede acceder a ellos con escaleras y otros medios. También se deben utilizar defensas para protección contra fallos técnicos que puedan provocar lesiones (por ejemplo, retenes de cables en poleas de grúas, pestillos de seguridad en ganchos de elevación y almohadillas de protección de las lanzaderas textiles que protegen contra bordes afilados). Las barandillas y rodapiés instalados en los bordes de las plataformas de carga, las estanterías de almacenamiento elevado y los agujeros en el suelo pueden proteger contra la caída de personas y cosas. Este tipo de protección suele ser necesaria cuando se utilizan carretillas elevadoras y grúas para elevar cargas de un piso a otro. Se puede proteger a las personas contra la caída de objetos en operaciones de manipulación de materiales con redes de seguridad y defensas permanentes, como las cubiertas de chapa o malla de alambre en las cintas transportadoras.
13. *Transportar y elevar personas utilizando sólo equipos diseñados para ese fin.* Las grúas, las carretillas elevadoras, las excavadoras y las cintas transportadoras son máquinas que se utilizan para el movimiento de materiales, no de personas. Existen plataformas especiales para elevar personas; por ejemplo, para cambiar lámparas de techo. Si se equipa una carretilla o grúa con una jaula especial que pueda fijarse con seguridad al equipo y que cumpla los requisitos de seguridad adecuados, se puede elevar a personas sin un riesgo excesivo de lesiones graves.
14. *Mantener la estabilidad de equipos y cargas.* Algunos accidentes se producen como consecuencia de la pérdida de estabilidad de equipos, mercancías o estanterías de almacenamiento, especialmente en el caso de carretillas elevadoras o grúas móviles. La selección de equipos activamente estables es una primera medida para reducir el peligro. Además, es aconsejable utilizar equipos que emitan una señal de advertencia clara antes de alcanzar el límite de deformación. Otras medidas son la aplicación de unos métodos de trabajo correctos y la utilización de operarios cualificados. Los operarios con experiencia y formación saben estimar el centro de gravedad y reconocer condiciones de inestabilidad cuando se amontonan o apilan materiales, pudiendo hacer los ajustes necesarios.
15. *Proporcionar una buena visibilidad.* La visibilidad siempre está limitada cuando se manipulan materiales con carretillas elevadoras. Al comprar nuevos equipos es importante evaluar la visibilidad del conductor a través de las estructuras de los mástiles (y para carretillas de gran altura de elevación, la visibilidad a través del chasis elevado). En cualquier caso, los materiales originan pérdida de visibilidad y este efecto tiene siempre que considerarse. El campo de visión debe ampliarse al máximo, por ejemplo, quitando pilas de mercancías o disponiendo aberturas o secciones vacías en puntos críticos de las estanterías. Se pueden colocar espejos en los equipos y en puntos adecuados de la fábrica o el almacén para hacer las esquinas ciegas más seguras, pero los espejos son una medida preventiva menos importante que la eliminación de esquinas ciegas para permitir la visión directa. En el transporte por grúa es con frecuencia asignar a una persona encargada especialmente de comprobar que la zona donde se baje la carga no esté ocupada por personas. Una buena medida de

seguridad consiste en pintar o marcar de alguna otra manera los puntos de peligro y las obstrucciones en la zona de trabajo, por ejemplo, columnas, bordes de puertas y muelles de carga, elementos salientes de las máquinas y partes móviles de los equipos. Una iluminación adecuada puede mejorar considerablemente la visibilidad, por ejemplo, en escaleras, pasillos y puertas de salida.

16. *Sustituir la manipulación y el transporte manuales por manipulación mecánica y automatizada.* Aproximadamente el 15 % de todas las lesiones profesionales están relacionadas con la elevación y el transporte de cargas manualmente. La mayoría de las lesiones son provocadas por esfuerzos excesivos y el resto, por resbalones, caídas y lesiones en las manos por bordes afilados. Los trastornos traumáticos acumulativos y los problemas de espalda son problemas de salud típicos asociados a la manipulación manual de materiales. Aunque la mecanización y la automatización han eliminado en gran medida las tareas manuales de manipulación, existen todavía lugares de trabajo en donde la elevación y el transporte de cargas pesadas someten a los trabajadores a esfuerzos físicos excesivos. Se debe considerar el uso de unos equipos de manipulación adecuados, por ejemplo, grúas, polipastos, plataformas elevadoras, ascensores, carretillas elevadoras, cintas transportadoras, palletizadores, robots y manipuladores mecánicos.
17. *Proporcionar y mantener una comunicación eficaz.* Un factor frecuente en los accidentes graves es un fallo en las comunicaciones. El conductor de una grúa tiene que comunicarse con el encargado de colocar las eslingas que fijan la carga y si las señales manuales entre ellos son incorrectas o la comunicación por radio es deficiente, se pueden producir errores graves. Los enlaces de comunicación son importantes entre los operadores de manipulación de materiales, el personal de producción, los cargadores, los trabajadores de los muelles, los conductores de equipos y el personal de mantenimiento. Por ejemplo, el conductor de una carretilla elevadora tiene que transmitir información sobre cualquier problema de seguridad encontrado, como pasillos con esquinas ciegas por la presencia de materiales apilados, al entregar la carretilla a su relevo en el cambio de turno. Cuando se subcontrata a los conductores de vehículos motorizados y grúas móviles, es probable que no estén familiarizados con los riesgos concretos que pueden encontrar en un lugar de trabajo y, por tanto, deben recibir formación u orientación especiales, entregándoles en su caso un plano de la fábrica en la puerta de entrada junto con las instrucciones esenciales para trabajar y conducir con seguridad. Las señales de tráfico para los lugares de trabajo no se conocen tan bien como las de las carreteras públicas. Con todo, muchos de los riesgos son comunes. Por consiguiente, es importante utilizar señales adecuadas para el tráfico interno para facilitar la comunicación de los avisos de peligro y advertir a los conductores de las precauciones necesarias.
18. *Aplicar los principios de la ergonomía a las interfaces humanas y los sistemas de manipulación manual.* El trabajo de manipulación de materiales se debe adaptar a la capacidad y destreza de los trabajadores, aplicando principios ergonómicos para evitar errores y esfuerzos innecesarios. Los controles y las pantallas de grúas y carretillas elevadoras deben ser compatibles con las expectativas y hábitos normales de las personas. Es importante asegurarse de que exista espacio suficiente para que los trabajadores puedan realizar los movimientos que requiere la manipulación manual de materiales. Además, deben evitarse posturas excesivamente forzadas como, por ejemplo, la elevación manual de cargas por encima de la cabeza, y no superar los pesos máximos admisibles para la elevación manual. Las variaciones individuales en edad, fuerza, salud, experiencia y características físicas pueden requerir la modificación de las tareas y del espacio de trabajo. La recogida de pedidos en un almacén es un ejemplo típico de una tarea en la que la ergonomía tiene la máxima importancia para la seguridad y productividad.
19. *Proporcionar formación y asesoramiento adecuados.* Los trabajos de manipulación de materiales suelen considerarse de baja categoría como para justificar la formación de los trabajadores. El número de conductores especializados de grúas y carretillas elevadoras está disminuyendo en los lugares de trabajo y se observa una tendencia cada vez mayor a considerar el trabajo con grúas y carretillas elevadoras como una tarea que casi todos los trabajadores pueden hacer. Aunque las medidas técnicas y ergonómicas pueden reducir los peligros, la destreza del trabajador es el factor decisivo para evitar situaciones peligrosas en lugares de trabajo dinámicos. Las encuestas sobre accidentes indican que muchas de las víctimas de accidentes relacionados con la manipulación de materiales son personas que no intervienen por sí mismas en estas tareas. Por tanto, también los trabajadores que se encuentran en las zonas de manipulación de materiales deben recibir cierta formación.
20. *Proporcionar al personal de transporte y manipulación de materiales los equipos personales apropiados.* Algunos tipos de lesiones pueden prevenirse con el uso de equipos adecuados de protección individual durante las tareas de manipulación de materiales, como calzado de seguridad que evite resbalones y caídas, guantes gruesos, gafas de seguridad y cascos. Si existen peligros especiales que lo exijan, deberán utilizarse protecciones contra caídas, respiradores y ropas de seguridad especiales. Un equipo de trabajo adecuado para la manipulación de materiales debe permitir una buena visibilidad y no incluir elementos que puedan quedar fácilmente pillados por equipos o enganchados por elementos móviles.
21. *Realizar labores adecuadas de inspección y mantenimiento.* Cuando ocurren accidentes por fallos de equipos, los motivos se deben con frecuencia a unos procedimientos deficientes de inspección y mantenimiento. Las instrucciones referentes a las tareas de inspección y mantenimiento se incluyen en las normas de seguridad y los manuales de los fabricantes. El incumplimiento de los procedimientos indicados puede originar situaciones peligrosas. Los usuarios de los equipos de manipulación de materiales son responsables de las rutinas diarias de inspección y mantenimiento, como comprobación de baterías, accionamientos por cadenas y cables, aparejos de elevación, frenos y controles, limpieza de ventanas y adición de aceite cuando sea necesario. Las inspecciones más minuciosas y menos frecuentes se realizan periódicamente a intervalos semanales, mensuales, semestrales o anuales, dependiendo de las condiciones de uso. La limpieza normal de los suelos y la zona de trabajo es también importante para la seguridad durante la manipulación de materiales. Los suelos húmedos y aceitosos pueden hacer que las personas y las carretillas patinen. Las estanterías y los pallets rotos deben desecharse tan pronto como se detecten. En las operaciones de transporte de materiales a granel mediante cintas transportadoras, es importante eliminar las acumulaciones de polvo y granos para evitar el riesgo de explosión e incendio.
22. *Planificar los cambios en las condiciones ambientales.* La capacidad de adaptación de las personas y los equipos a condiciones ambientales cambiantes es limitada. Los conductores de las carretillas elevadoras necesitan unos segundos para adaptarse al pasar de una nave oscura a un patio iluminado por el sol y viceversa. Para hacer estas operaciones más seguras, se pueden instalar en las puertas sistemas especiales de

alumbrado. En el exterior, las grúas pueden verse sometidas a grandes cargas debidas al viento, que es necesario tener en cuenta en las operaciones de elevación. En casos extremos, la elevación con grúas se debe suspender por completo. El hielo y la nieve pueden imponer un esfuerzo adicional considerable a los trabajadores encargados de limpiar las superficies de las cargas. En ocasiones, estos factores climáticos suponen también un riesgo adicional cuando, por ejemplo, se trabaja

por encima o por debajo de la carga durante la elevación. La planificación debe incluir también procedimientos seguros para realizar estas tareas. Una carga helada puede deslizarse de la horquilla durante el transporte con una carretilla elevadora. La atmósfera corrosiva, el calor, la escarcha y el agua del mar pueden deteriorar los materiales y originar fallos si los materiales no se han diseñado para resistir esas condiciones.

## Referencias

- Arteau, J, A Lan, J-F Corveil. 1994. *Use of Horizontal Lifelines in Structural Steel Erection*. Actas del simposio internacional sobre la protección contra caídas celebrado en San Diego, California (27-28 de octubre de 1994). Toronto: Sociedad Internacional para la Protección contra las Caídas.
- Backström, T, L Harms-Ringdahl. 1984. A statistical study of control systems and accidents at work. *J Occup Acc* 6:201-210.
- Backström, T, M Döös. 1994. Technical defects behind accidents in automated production. En *Advances in Agile Manufacturing*, dirigido por PT Kidd y W Karwowski. Amsterdam: IOS Press.
- . 1995. A comparison of occupational accidents in industry with of advanced manufacturing technology. *Int J Hum Factors Manufac* 5(3). 267-282.
- . En imprenta. The technical genesis of machine failures leading to occupational accidents. *Int J Ind Ergonomics*.
- . Aceptado para su publicación. Absolute and relative frequencies of automation accidents at different kinds of equipment and for different occupational groups. *J Saf Res*.
- Backström, T. 1996. Accident risk and safety protection in automated production. Tesis doctoral. *Arbete och Hälsa* 1996:7. Solna: Instituto Nacional de la Vida Laboral.
- Bainbridge, L. 1983. Ironies of automation. *Automatica* 19:775-779.
- Bell, R, D Reinert. 1992. Risk and system integrity concepts for safety related control systems. *Saf Sci* 15:283-308.
- Bouchard, P. 1991. *Échafaudages*. Guide série 4. Montreal: CSST.
- Bureau of National Affairs. 1975. *Occupational Safety and Health Standards. Roll-over Protective Structures for Material Handling Equipment and Tractors, Sections 1926, 1928*. Washington, DC: Bureau of National Affairs.
- Comisión Electrotécnica Internacional (CEI). 1992. *122 Draft Standard: Software for Computers in the Application of Industrial Safety-related Systems*. IEC 65 (Sec). Ginebra: CEI.
- . 1993. *123 Draft Standard: Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Systems: Generic Aspects*. Part 1, General requirements Ginebra: CEI.
- Comunidad Europea (CE). 1974, 1977, 1979, 1982, 1987. *Directivas del Consejo sobre dispositivos de protección en caso de vuelco de los tractores agrícolas o forestales de ruedas*. Bruselas: CEE.
- . 1991. *Directiva del Consejo relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros sobre máquinas*. (91/368/CEE) Luxemburgo: CEE.
- Corbett, JM. 1988. Ergonomics in the development of human-centred AMT. *Applied Ergonomics* 19:35-39.
- Culver, C, C Connolly. 1994. Prevent fatal falls in construction. *Saf Health* Septiembre 1994:72-75.
- Deutsche Industrie Normen (DIN). 1990. *Grundsätze für Rechner in Systemen mit Sicherheitsaufgaben*. DIN V VDE 0801. Berlin: Beuth Verlag.
- . 1994. *Grundsätze für Rechner in Systemen mit Sicherheitsaufgaben Änderung A 1*. DIN V VDE 0801/A1. Berlin: Beuth Verlag.
- . 1995a. *Sicherheit von Maschinen—Druckempfindliche Schutzeinrichtungen [Seguridad de la maquinaria—Equipos protectores sensibles a la presión]*. DIN prEN 1760. Berlin: Beuth Verlag.
- . 1995b. *Rangier-Warcheinrichtungen—Anforderungen und Prüfung [Vehículos comerciales—detección de obstáculos durante la inversión—requisitos y pruebas]*. DIN-Norma 75031. Febrero 1995.
- Döös, M, T Backström. 1993. Description of accidents in automated materials handling. En *Ergonomics of Materials Handling and Information Processing at Work*, dirigido por WS Marras, W Karwowski, JL Smith y L Pacholski. Varsovia: Taylor and Francis.
- . 1994. Production disturbances as an accident risk. En *Advances in Agile Manufacturing*, dirigido por PT Kidd y W Karwowski. Amsterdam: IOS Press.
- Etherton, JR, ML Myers. 1990. Machine safety research at NIOSH and future directions. *Int J Ind Erg* 6:163-174.
- Freund, E, F Dierks, J Roßmann. 1993. *Untersuchungen zum Arbeitsschutz bei Mobilten Rotoren und Mehrroboter-Systemen [Pruebas de seguridad laboral de los robots móviles y los sistemas robóticos múltiples]*. Dortmund: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz.
- Goble, W. 1992. *Evaluating Control System Reliability*. Nueva York: Instrument Society of America.
- Goodstein, LP, HB Anderson, SE Olsen (dirs.). 1988. *Tasks, Errors and Mental Models*. Londres: Taylor and Francis.
- Gryfe, CI. 1988. Causes and prevention of falling. En *International Fall Protection Symposium*. Orlando: Sociedad Internacional para la Protección contra Caídas.
- Health and Safety Executive. 1989. Health and safety statistics 1986-87. *Employ Gaz* 97(2).
- Heinrich, HW, D Peterson, N Roos. 1980. *Industrial Accident Prevention*. 5ª ed. Nueva York: McGraw-Hill.
- Hollnagel, E, D Woods. 1983. Cognitive systems engineering: New wine in new bottles. *Int J Man Machine Stud* 18:583-600.
- Hölscher, H, J Rader. 1984. *Mikrocomputer in der Sicherheitstechnik*. Rheinland: Verlag TgV-Reinland.
- Hörte, S-Å, P Lindberg. 1989. *Diffusion and Implementation of Advanced Manufacturing Technologies in Sweden*. Working paper No. 198:16. Institute of Innovation and Technology.
- Johnson, B. 1989. *Design and Analysis of Fault Tolerant Digital Systems*. Nueva York: Addison Wesley.
- Kidd, P. 1994. Skill-based automated manufacturing. En *Organization and Management of Advanced Manufacturing Systems*, dirigido por W Karwowski y G Salvendy. Nueva York: Wiley.
- Knowlton, RE. 1986. *An Introduction to Hazard and Operability Studies: The Guide Word Approach*. Vancouver, BC: Chemetics.
- Kuivanen, R. 1990. The impact on safety of disturbances in flexible manufacturing systems. En *Ergonomics of Hybrid Automated Systems II*, dirigido por W Karwowski y M Rahimi. Amsterdam: Elsevier.
- Laeser, RP, WI McLaughlin, DM Wolff. 1987. Fernsteuerung und Fehlerkontrolle von Voyager 2. *Spektrum der Wissenschaft* (1):S. 60-70.
- Lan, A, J Arteau, J-F Corbeil. 1994. *Protection Against Falls from Above-ground Billboards*. Simposio internacional sobre la protección contra caídas, San Diego, California, 27-28 de octubre, 1994. Actas de la Sociedad Internacional para la Protección contra Caídas.
- Langer, HJ, W Kurfürst. 1985. *Einsatz von Sensoren zur Absicherung des Rückraumes von Großfahrzeugen [Utilización de sensores para asegurar la zona de marcha atrás de los grandes vehículos]*. FB 605. Dortmund: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz.
- Levenson, NG. 1986. Software safety: Why, what, and how. *ACM Computer Surveys* (2):S. 129-163.
- McManus, TN. n.d. *Confined Spaces*. Manuscrito.
- Mester, U, T Herwig, G Dönges, B Brodbeck, HD Bredow, M Behrens, U Ahrens. 1980. *Gefahrenschutz durch passive Infrarot-Sensoren (II) [Protección contra peligros mediante sensores infrarrojos]*. FB 243. Dortmund: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz.
- Microsonic GmbH. 1996. Comunicado de la empresa. Dortmund, Alemania: Microsonic.
- Mohan, D, R Patel. 1992. Design of safer agricultural equipment: Application of ergonomics and epidemiology. *Int J Ind Erg* 10:301-310.
- National Fire Protection Association (NFPA). 1993. *NFPA 306: Control of Gas Hazards on Vessels*. Quincy, Massachusetts: NFPA.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1994. *Worker Deaths in Confined Spaces*. Cincinnati, Ohio, Estados Unidos: DHHS/PHS/CDCEP/NIOSH Pub. No. 94-103. NIOSH.
- Neumann, PG. 1987. The N best (or worst) computer-related risk cases. *IEEE T Syst Man Cyber*. Nueva York: S.11-13.
- . 1994. Illustrative risks to the public in the use of computer systems and related technologies. *Software Engin Notes SIGSOFT* 19, No. 1:16-29.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 1988. *Selected Occupational Fatalities Related to Welding and Cutting as Found in Reports of OSHA Fatality/Catastrophe Investigations*. Washington, DC: OSHA.
- Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics (OPPBT). 1984. *Les équipements individuels de protection contre les chutes de hauteur*. Boulogne-Bilancourt, Francia: OPPBT.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). 1981. *Agricultural and Forestry Wheeled Tractors. Protective Structures. Static Test Method and Acceptance Conditions*. ISO 5700. Ginebra: ISO.
- . 1990. *Quality Management and Quality Assurance Standards: Guidelines for the Application of ISO 9001 to the Development, Supply and Maintenance of Software*. ISO 9000-3. Ginebra: ISO.

- . 1991. *Industrial Automation Systems—Safety of Integrated Manufacturing Systems—Basic Requirements* (CD 11161). TC 184/WG 4. Ginebra: ISO.
- . 1994. *Commercial Vehicles—Obstacle Detection Device during Reversing—Requirements and Tests*. Technical Report TR 12155. Ginebra: ISO.
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). 1965. *Safety & Health in Agricultural Work*. Ginebra: OIT.
- . 1969. *Safety and Health in Forestry Work*. Ginebra: OIT.
- . 1976. *Safe Construction and Operation of Tractors. An ILO Code of Practice*. Ginebra: OIT.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). 1987. *Standard Codes for the Official Testing of Agricultural Tractors*. París: OCDE.
- Rasmussen, J. 1983. Skills, rules and knowledge: Agenda, signs and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. SMC13(3): 257–266.
- Reason, J. 1990. *Human Error*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Reese, CD, GR Mills. 1986. Trauma epidemiology of confined space fatalities and its application to intervention/prevention now. En *The Changing Nature of Work and Workforce*. Cincinnati, Ohio: NIOSH.
- Reinert, D, G Reuss. 1991. Sicherheitstechnische Beurteilung und Prüfung mikroprozessorgesteuerter Sicherheitseinrichtungen. En *BIA-Handbuch*. Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt 310222. Bielefeld: Erich Schmidt Verlag.
- Schreiber, P, K Kuhn. 1995. *Informationstechnologie in der Fertigungstechnik* [Tecnología de la Información en las técnicas de producción, serie del Instituto Federal de Salud y Seguridad en el Trabajo]. FB 717. Dortmund: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz.
- Schreiber, P. 1990. Entwicklungsstand bei Rückraumwarneinrichtungen [Situación del desarrollo de los dispositivos de alerta en la zona de marcha atrás]. *Technische Überwachung*, Nr. 4, Abril, S. 161.
- Sheridan, T. 1987. Supervisory control. En *Handbook of Human Factors*, dirigido por G. Salvendy. Nueva York: Wiley.
- Society of Automotive Engineers (SAE). 1974. *Operator Protection for Industrial Equipment*. SAE Standard j1042. Warrendale, Estados Unidos: SAE.
- . 1975. *Performance Criteria for Rollover Protection. SAE Recommended Practice*. SAE standard j1040a. Warrendale, Estados Unidos: SAE.
- Springfeldt, B. 1993. *Effects of Occupational Safety Rules and Measures with Special Regard to Injuries. Advantages of Automatically Working Solutions*. Estocolmo: Real Instituto de Tecnología, Departamento de Ciencias del Trabajo.
- Sugimoto, N. 1987. Subjects and problems of robot safety technology. En *Occupational Safety and Health in Automation and Robotics*, dirigido por K. Noto. Londres: Taylor & Francis. 175.
- Sulowski, AC (dir.). 1991. *Fundamentals of Fall Protection*. Toronto, Canadá: Sociedad Internacional para la Protección contra Caídas.
- Wehner, T. 1992. *Sicherheit als Fehlerfreundlichkeit*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Zimolong, B, L Duda. 1992. Human error reduction strategies in advanced manufacturing systems. En *Human-robot Interaction*, dirigido por M Rahimi y W Karwowski. Londres: Taylor & Francis.
- technisches Informations- und Arbeitsblatt 330250. Bielefeld: Erich Schmidt.
- Emery, FE. 1969. *Systems Thinking*. Harmondsworth, Reino Unido: Penguin.
- Grams, T. 1990. *Denkfallen und Programmierfehler*. Berlin: Springer.
- Meffert, K, J Germer. 1985. Einsatz von Rechnern für Sicherheitsaufgaben—Standortbestimmung. *Die BG* 5:S. 246–253.
- Schreibwer, P, G Becker, W Dicke. 1985. *Gefahrenschutz durch Kontaktmatten und -böden [Protección contra peligros utilizando colchonetas y suelos de contacto]*. FB 414. Dortmund: Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz.
- System Safety Society. 1993. *System Safety Analysis Handbook*. Albuquerque, Nuevo México, Estados Unidos: New Mexico Chapter, System Safety Society.
- Thomas, M. 1988. Should we trust computers? En *SHARE*. Nijmegen, Países Bajos: Eur. Assoc.
- US Nuclear Regulatory Commission. 1975. *Reactor Safety Study. Wash 1400*. Washington, DC: Nuclear Regulatory Commission. (Publicado también en francés: *Projet Rasmussen. Etude de la sûreté des réacteurs*, París 1975, *Documentation française*.)
- Villemeur, A. 1988. *Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels. Fiabilité. Facteurs humains. Informatisation [Seguridad del funcionamiento de los sistemas industriales. Fiabilidad. Factores humanos. Informatización]*. París: Editions Eyrolles.
- Yoshinobu, Sato. 1985. *Safety Assessment of Automated Production Systems using Microelectronics. The Comprehensive Logic Models for the Analysis of Accidents Caused by Robots*. (Informes del Instituto de Investigación de la Seguridad Industrial, marzo 1985 (21–31), en japonés con un resumen y los títulos de las ilustraciones en inglés.) Tokio: Instituto de Investigación de la Seguridad Industrial.

#### Otras lecturas recomendadas

- Börner, F, F Kreutzkamp. 1994. Infälle und Störfälle, verursacht durch das Versagen von Steuerungen. En *BIA-Handbuch*. Sicherheit-