

7

capítulo

Seguridad de personas y máquinas

Recordatorio de la normativa europea en lo que se refiere a seguridad de personas y máquinas.

Recordatorio de la normativa IEC para máquinas y productos.

Ejemplos de aplicación, de productos y de redes de seguridad.



7.1 Introducción

7.2 Accidentes industriales

7.3 Legislación europea

7.4 Concepto de funcionamiento seguro

7.5 Certificación y mercado CE

7.6 Principios de la seguridad

7.7 Funciones de la seguridad

7.8 Seguridad de la red

7.9 Ejemplo de aplicación

7.10 Funciones y productos relacionados con la seguridad

7.11 Conclusión

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

M

7. Seguridad de personas y máquinas

Después de presentar y definir las reglas que rigen la seguridad, nos centraremos en la maquinaria y en las tecnologías de los productos para satisfacer los requerimientos del cliente y cumplir con las restricciones que impone la legislación vigente.

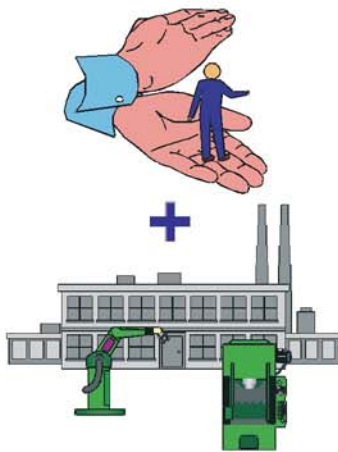
7.1 Introducción

■ El papel de la seguridad: definiciones

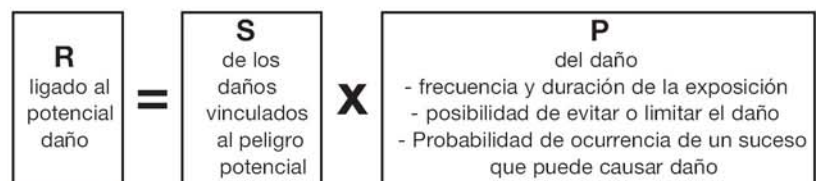
La legislación nos obliga a tomar medidas preventivas para preservar y proteger la calidad del ambiente y la salud humana. Para alcanzar estos objetivos, existen unas Directivas Europeas que deben ser aplicadas por los usuarios de los medios de producción, y por los fabricantes de equipamiento y maquinaria.

Fija también la responsabilidad frente a posibles accidentes.

- A pesar de las restricciones, la seguridad en las máquinas aumenta la productividad industrial:
 - con la prevención de accidentes industriales,
 - asegurando la salud y la seguridad de todo el personal adoptando medidas de seguridad adecuadas que tienen en cuenta el uso de la máquina y su entorno local.
- Reduciendo costes directos e indirectos:
 - con la reducción de daños físicos,
 - con la reducción de las primas de los seguros,
 - con la reducción de pérdidas de producción y penalizaciones por retrasos,
 - con la limitación de los daños y los gastos debidos al mantenimiento.
- Un funcionamiento seguro pasa por dos principios: la seguridad y la fiabilidad de los procesos (\Rightarrow Fig.1)
 - La seguridad es la habilidad de un dispositivo para mantener el riesgo que corren las personas dentro de unos límites aceptables.
 - La fiabilidad de funcionamiento es la habilidad de un sistema o dispositivo para realizar su función en cualquier momento y para una duración determinada.
- La seguridad se debe tener en cuenta desde la fase de diseño y se debe mantener durante todas las fases del ciclo de vida de la máquina: transporte, instalación, ajuste, mantenimiento, desmantelamiento.
- Las máquinas y las fábricas son fuentes de riesgo potencial y la Directiva de Maquinaria requiere de un estudio del riesgo para cada máquina para asegurar que cualquier riesgo que se produzca es menor que el tolerable.
- El riesgo (R) se define de acuerdo con la norma EN 1050 como sigue (\Rightarrow Fig. 2): severidad (S) multiplicada por probabilidad de ocurrencia (P).



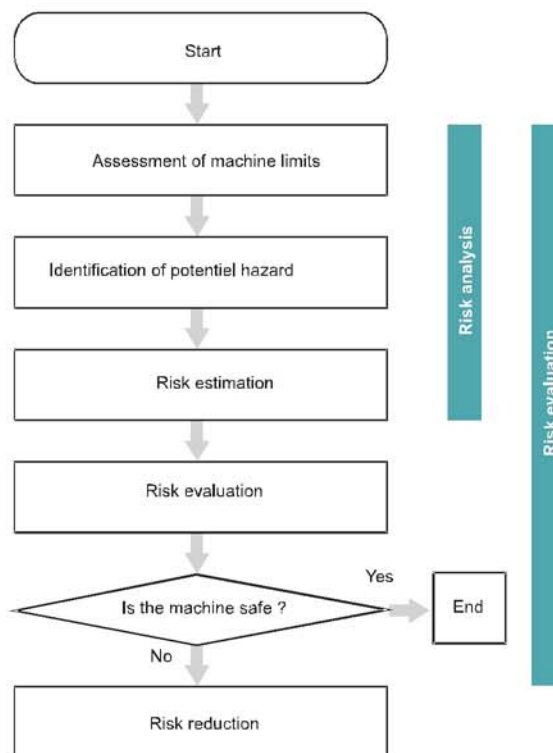
↑ Fig. 1 Seguridad y fiabilidad de un sistema



↑ Fig. 2 Definición de riesgo

7. Seguridad de personas y máquinas

- La normativa europea EN1050 (principio de análisis de los riesgos) define un proceso iterativo para conseguir la seguridad en la maquinaria. Establece que el daño por cada riesgo potencial se puede determinar en cuatro etapas. Este método proporciona la base para la reducción requerida de los riesgos utilizando las categorías descritas en la norma EN954. El diagrama (⇒ Fig. 3) muestra este proceso iterativo que será detallado más adelante.



↑ Fig. 3

Proceso de seguridad de las máquinas

7.2 Accidentes industriales

Un accidente industrial sucede durante el trabajo o sobre el puesto de trabajo y provoca daños de diversa consideración sobre la persona que opera o trabaja en una máquina (operarios, personal de mantenimiento, etc.).

■ Causas de los accidentes en el puesto de trabajo

- Factores humanos (diseñadores, usuarios)
 - Inexistencia de estudios preliminares.
 - Exceso de confianza debido a la rutina y falta de atención ante situaciones peligrosas.
 - Consideración insuficiente del riesgo (medidas de seguridad inadecuadas).
 - Falta de atención en tareas de supervisión (debido a la fatiga y el cansancio).
 - Seguimiento incorrecto de los procedimientos.
 - Condiciones de trabajo estresantes (ruido, ritmo de producción, etc.).
 - Precariedad laboral, que puede llevar a una falta de formación.
 - Mantenimiento inadecuado o malo, que genera riesgos imprevistos.

7. Seguridad de personas y máquinas

- **Factores ligados a las máquinas**
 - Medidas de seguridad inadecuadas.
 - Sofisticación de la naturaleza del control y la supervisión.
 - Peligros potenciales inherentes al funcionamiento propio de la máquina (movimientos de vaivén, arranques y paradas imprevistas).
 - Máquinas inadecuadas para la aplicación o para su entorno (alarmas acústicas inaudibles debido al ruido ambiente).
- **Factores ligados a la planta**
 - Flujo de personas (línea de producción automatizada).
 - Maquinaria de diferentes constructores que utiliza distintas tecnologías.
 - Flujo de materiales o productos entre máquinas.

■ Las consecuencias

- Daños físicos de diversa consideración para el usuario.
- Paro de la máquina en cuestión.
- Paro de instalaciones con máquinas similares para inspecciones, por ejemplo por parte de los responsables de seguridad y salud.
- En caso necesario, modificaciones para hacer que las máquinas cumplan las normas necesarias.
- Cambio de personal y formación de nuevas personas para realizar el trabajo.
- Deterioro de la imagen de la empresa.

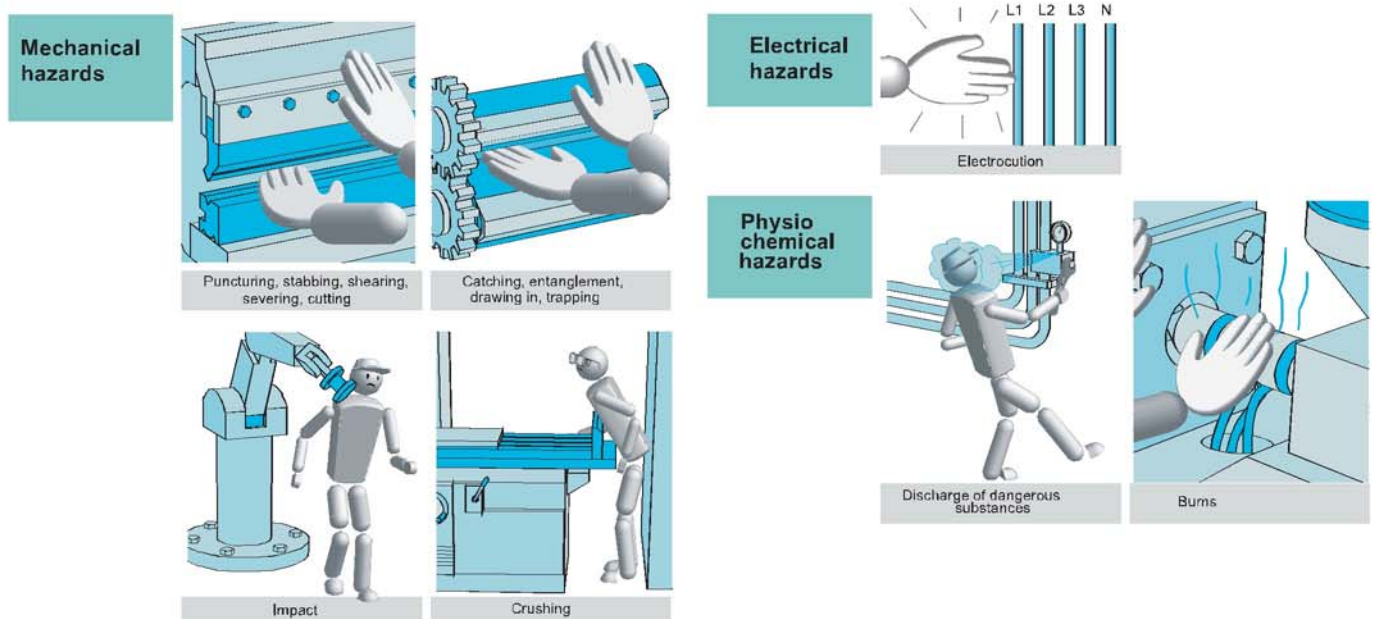
■ Conclusión

Las heridas en personas por accidentes industriales suponen un gasto anual de 20.000 millones de euros en la Unión Europea.

Son indispensables acciones decisivas para reducir el número de accidentes en el puesto de trabajo. Las más importantes son una política de empresa adecuada y una organización eficiente. La reducción del número de accidentes industriales y las heridas que éstos provocan pasa por la seguridad de máquinas y equipamiento.

■ Tipos de riesgos potenciales

Los riesgos potenciales en una máquina se pueden clasificar en tres grupos principales, como se ilustra en la (⇒ Fig. 4).



↑ Fig. 4 Los principales riesgos en una máquina

7. Seguridad de personas y máquinas

7.3 Legislación europea

El objetivo principal de la directiva sobre maquinaria 98/37/CE es la imposición de un nivel de seguridad mínimo a los fabricantes de maquinaria y equipamiento que venden sus productos en la UE.

Para permitir la libre circulación de maquinaria dentro de la Unión Europea, el mercado CE debe ser aplicado a la máquina y una declaración de conformidad CE debe ser adjuntada al comprador.

Esta directiva surgió en 1995, si bien desde 1997 es de aplicación obligatoria para todo tipo de maquinaria.

El usuario tiene una serie de obligaciones definidas por las directivas de seguridad y salud 89/655/CEE, que se basan en todas las normas.

■ Normativa

□ Introducción

Las normas de seguridad europeas armonizadas establecen especificaciones técnicas que cumplen con los requerimientos mínimos de seguridad definidos en las directivas relacionadas.

El cumplimiento de las normas europeas armonizadas asegura la conformidad con las directivas correspondientes.

El objetivo principal es garantizar un nivel de seguridad mínimo para maquinaria y equipamiento vendido en el mercado de la UE y permitir la libre circulación de maquinaria en la Unión Europea.

□ Tres grupos de normas europeas

• Normas de tipo A

Normas de seguridad básicas que especifican los conceptos básicos, principios de diseño y aspectos generales, y que son válidas para todo tipo de máquinas: EN ISO 12100 (antes EN292).

• Normas de tipo B

Normas de seguridad que se aplican a aspectos específicos de seguridad o a dispositivos particulares, válidas para un gran rango de máquinas.

• Normas de tipo B1

Normas que se aplican a aspectos específicos de la seguridad del equipamiento eléctrico en máquinas: EN 60204-1 (por ejemplo: ruido, distancias de seguridad, sistemas de control, etc).

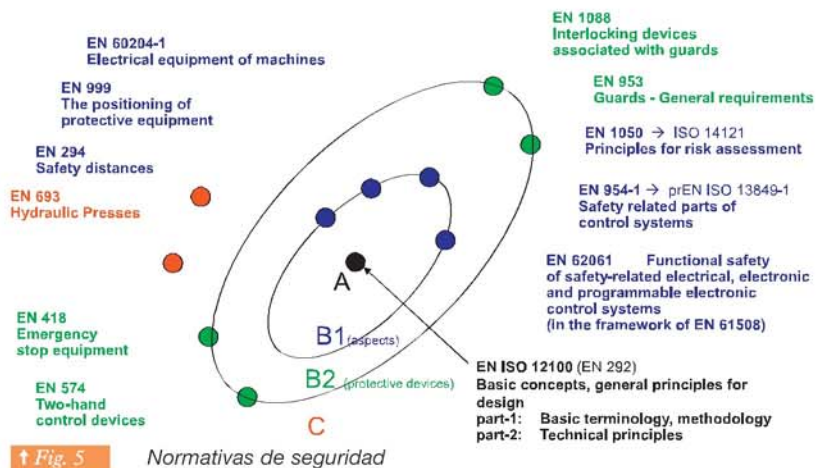
• Normas de tipo B2

Normas que se aplican a dispositivos de seguridad de paro de emergencia, incluyendo mandos bimanuales (EN 574), barreras de seguridad (EN 418), etc.

• Normas de tipo C

Normas de seguridad que establecen prescripciones de seguridad detalladas aplicables a máquinas o grupos de máquinas específicas (por ejemplo: EN 692 para prensas hidráulicas, etc.).

La *figura 5* muestra una visión no exhaustiva de las diferentes normativas.



7. Seguridad de personas y máquinas

La *figura 6* muestra las principales normativas europeas de seguridad.

Normativa	Tipo	Temática
EN ISO 12100-1, -2	A	Seguridad en máquinas - conceptos básicos, principios de diseño Parte 1 terminología Parte 2 principios
EN 574	B	Mandos bimanuales - principios de diseño
EN 418	B	Paros de emergencia - principios de diseño
EN 954-1	B	Prescripciones relativas a la seguridad - principios de diseño
EN 349	B	Distancias mínimas para evitar el aplastamiento de personas
EN 294	B	Distancias de seguridad para prevenir la entrada de los miembros superiores en las zonas de peligro
EN 811	B	Distancias de seguridad para prevenir la entrada de los miembros inferiores en las zonas de peligro
EN 1050	B	Seguridad en máquinas - valoración del riesgo
EN 60204-1	B	Seguridad en máquinas - equipamiento eléctrico Parte 1: requerimientos generales
EN 999	B	Posicionamiento de las protecciones en relación a la velocidad de aproximación de las partes del cuerpo
EN 1088	B	Dispositivos de bloqueo asociados a protectores - principios de diseño y selección
EN 61496	B	Equipamiento de protección electro-sensible Parte 1 equipamiento general Parte 2 requerimientos particulares en barrera de luz
EN 1037	B	Prevención de arranques imprevistos
EN 60947-5-1	B	Dispositivos electromecánicos circuitos de mando
N 842	B	Avisos visuales de peligro - requerimientos generales, diseño y prueba
EN 201	C	Requerimientos de seguridad para máquinas de moldeo por inyección para plásticos y caucho
EN 692	C	Requerimientos de seguridad prensas mecánicas
EN 693	C	Requerimientos de seguridad prensas hidráulicas
EN 289	C	Requerimientos de seguridad para máquinas de moldeo por compresión y por transferencia
EN 422	C	Requerimientos de seguridad para máquinas de moldeo por soplado para fabricar cuerpos huecos
EN 775	C	Robots industriales - requerimientos de seguridad
EN 415-4	C	Máquinas de embalar Parte 4: paletizadoras - requerimientos de seguridad
EN 619	C	Requerimientos de seguridad y CEM en dispositivos de mantenimiento de cargas aisladas
EN 620	C	Requerimientos de seguridad y CEM en cintas transportadoras de correa para producto a granel
EN 746-3	C	Equipamiento térmico industrial Parte 2: requerimientos de seguridad para la generación y uso de gases atmosféricos
EN 1454	C	Requerimientos de seguridad para tronzadoras a disco portátiles con motor térmico

↑ Fig. 6

Principales normativas europeas de seguridad

7. Seguridad de personas y máquinas

□ EN 954-1 Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad

La norma EN 954-1 "Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad" entró en vigor en 1997. Esta norma de tipo B establece los requerimientos relativos a la seguridad para sistemas de mando. Especifica sus categorías y describe las características de sus funciones de seguridad.

En normas de tipo C, estas partes del sistema se denominan categorías.

En esta normativa, las prestaciones de las partes relativas a la seguridad en referencia a la ocurrencia de los fallos se clasifican en cinco categorías (B, 1, 2, 3, 4). Actualmente, se trabaja en una actualización de la norma (EN ISO 13849-1 PR).

• Categorías de fallo (⇒ Fig.7)

	Comportamiento del sistema	Principios de seguridad
B	Un fallo conduciría a una pérdida de la función de seguridad.	Elección del componente
1	Igual que en la categoría B pero con más fiabilidad requerida por la función de seg.	Elección del componente
2	Un fallo conduciría a una pérdida de la función de seg. entre dos inspecciones. Detección de la pérdida de la función de seg. por el control (en cada test).	Autocontrol
3	Para un único fallo, la función de seg. está siempre asegurada. Sólo algunos fallos se pueden detectar. La acumulación de fallos no detectados conduce a la pérdida de función de seg.	Redundancia
4	Cuando aparecen fallos, la función de seguridad siempre está asegurada. Los fallos serán detectados a tiempo para prevenir la pérdida de la función o funciones de seg.	Redundancia + autocontrol

↑ Fig. 7 Las cinco categorías de fallo

• Diagrama de riesgos

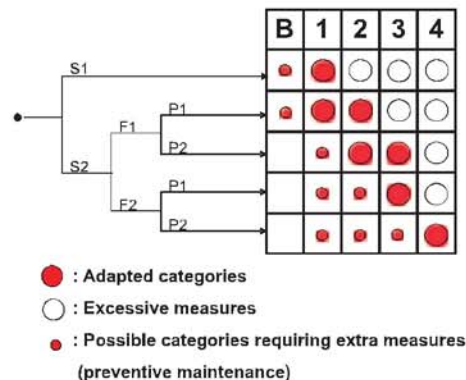
De acuerdo con la definición de riesgo, la norma EN 954-1 define un método práctico para elegir una categoría de sistema de control y comprende:

- S : Severidad del daño.
- F : Frecuencia de ocurrencia y/o exposición al peligro potencial.
- P : Posibilidad de evitar el accidente.

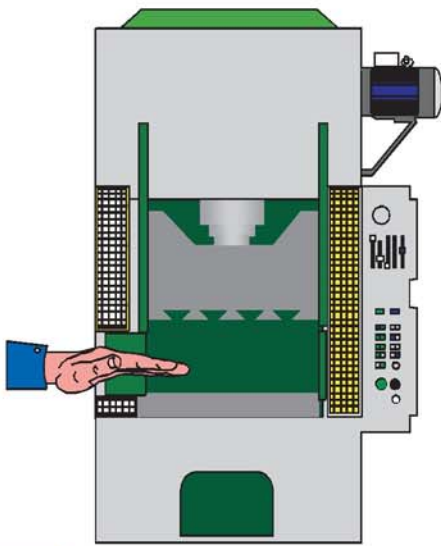
Las categorías resultantes definen la robustez hacia los fallos y el comportamiento de los sistemas de control en caso de fallo (⇒ Fig. 8).

S	Accidente
S1	Heridas leves
S2	Heridas graves o muerte
F	Presencia dentro de la zona de peligro
F1	De poco a bastante frecuente
F2	De bastante frecuente a permanente
P	Posibilidad de prevenir el accidente
P1	Posible en determinadas circunstancias
P2	Virtualmente imposible

↑ Fig. 8 Tabla de elección



7. Seguridad de personas y máquinas



↑ Fig. 9 Evaluación de riesgos en una prensa

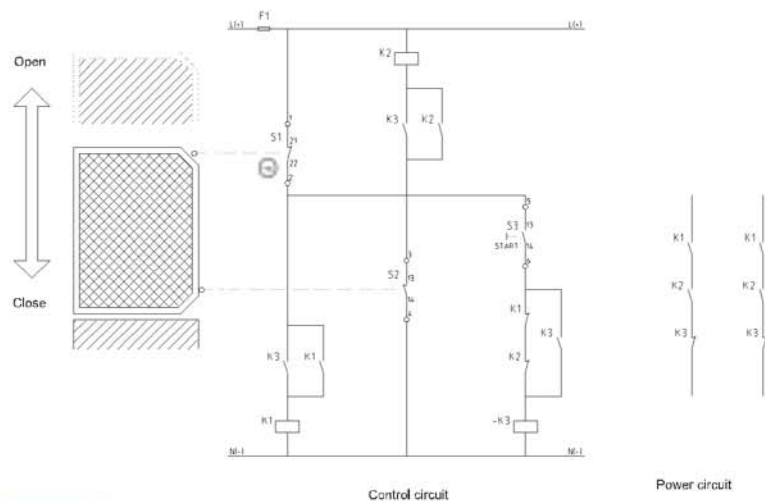
Para ilustrar estos conceptos, presentamos una evaluación de riesgos en una prensa hidráulica alimentada de forma manual (⇒ Fig. 9).

- Severidad del daño: **S2** dado que pueden producirse heridas graves.
- Frecuencia de ocurrencia y/o exposición al peligro potencial: **F2** dado que el operador está presente de forma permanente.
- Posibilidad de evitar el accidente: **P2** dado que es virtualmente imposible de evitar.

El resultado en el diagrama de riesgos es la categoría 4.

Para completar este ejemplo, vamos a seleccionar una barrera de bloqueo (norma EN 1088).

En este ejemplo (⇒ Fig. 10) el esquema cumple con la categoría 4. Cuando un fallo ocurre, éste es detectado a tiempo para prevenir la desaparición de la función de seguridad.



↑ Fig. 10 Evaluación de riesgos en una barrera de bloqueo

□ Seguridad funcional y security integrity level (SIL)

Las nuevas tecnologías proporcionan soluciones económicas que se pueden conseguir implementando una estrategia de seguridad inteligente. Esta norma tiene en cuenta el uso de estas nuevas tecnologías en productos de seguridad y soluciones y proporciona directrices para calcular la probabilidad de fallo.

Cada vez más dispositivos y productos dedicados a la seguridad en máquinas incorporan sistemas electrónicos complejos programables.

La complejidad de estos sistemas dificulta en la práctica determinar el comportamiento de estos dispositivos de seguridad en caso de defecto. Es por ello que la norma IEC/EN 61508 titulada "Seguridad funcional de sistemas eléctricos, electrónicos y electrónicos programables" proporciona un nuevo punto de vista en considerar la fiabilidad de las funciones de seguridad.

Es una norma básica de seguridad para los procesos industriales.

La norma IEC/EN 62061 estipula los requerimientos y realiza recomendaciones para el diseño, integración y validación de sistemas de control eléctricos, electrónicos y electrónicos programables relativos a la seguridad (SRECS) para la maquinaria en el marco de la norma IEC/EN 61508.

La norma EN 62061 está armonizada con la directiva sobre maquinaria europea.

El security integrity level (SIL) es la nueva medida definida en IEC 61508 relativa a la probabilidad de fallo en una función o sistema de seguridad.

7. Seguridad de personas y máquinas

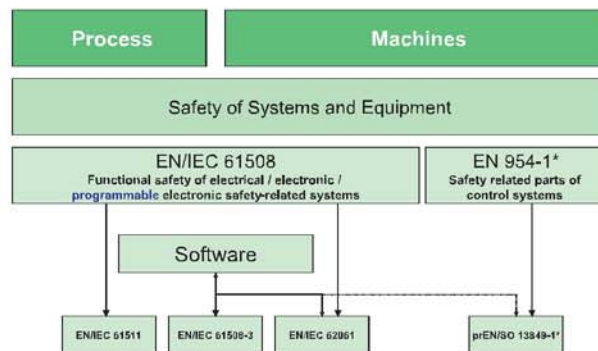
- **Definición de seguridad funcional de acuerdo con IEC/EN 61508**

La seguridad funcional es una parte de la seguridad del equipamiento bajo control o "equipment under control" (EUC).

Depende del correcto funcionamiento de los sistemas relacionados con la seguridad que incluyen partes eléctricas, electrónicas y electrónicas programables y otros dispositivos externos de reducción de los riesgos.

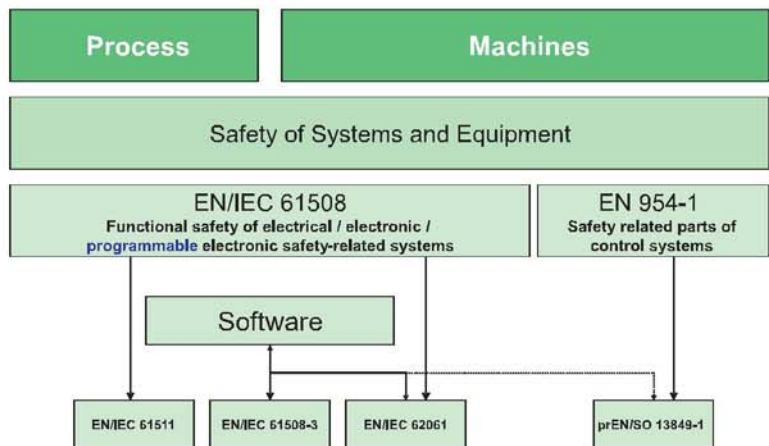
- **SIL, security integrity level (en castellano NIS, nivel de integridad de seguridad)**

Existen dos formas de definir el SIL, dependiendo de si el sistema de seguridad funciona en modo de baja demanda o en modo de alta demanda (continuo) (⇒ Fig. 11). La escala de seguridad funcional tiene 4 niveles, desde el SIL1 hasta el SIL4, siendo éste último el de mayor nivel de integridad de seguridad.



↑ Fig. 11 La reducción de los riesgos

La seguridad se consigue (⇒ Fig.12) mediante la reducción de riesgos (IEC/EN 61508). El riesgo residual es el riesgo que queda después de aplicar las medidas de protección. Los sistemas de protección eléctricos, electrónicos y electrónicos programables contribuyen a reducir el riesgo.



↑ Fig. 12 Posicionamiento de la norma EN 61508 y de las normas derivadas

Los niveles de integridad de seguridad estiman la probabilidad de fallo. Para maquinaria, la probabilidad de fallo peligroso por hora en un sistema de control se denomina según IEC/EN 62061 como PFHd (⇒ Fig. 13).

7. Seguridad de personas y máquinas

Nivel integridad seg. SIL	Modo de funcionamiento de alta demanda (continuo) (Probabilidad de fallo peligroso por hora) PFH_d	Modo de funcionamiento de baja demanda (Probabilidad media de fallo para cumplir la función prevista) PFD_{medio}
4	$\geq 10^{-9}$ a 10^{-6}	$\geq 10^{-5}$ a 10^{-4}
3	$\geq 10^{-8}$ a 10^{-7}	$\geq 10^{-4}$ a 10^{-3}
2	$\geq 10^{-7}$ a 10^{-6}	$\geq 10^{-3}$ a 10^{-2}
1	$\geq 10^{-6}$ a 10^{-5}	$\geq 10^{-2}$ a 10^{-1}

↑ Fig. 13 Nivel de integridad de seguridad (SIL)

La norma IEC 61508 considera dos modos de funcionamiento:

- alta demanda o continuo – donde la frecuencia de demanda del sistema de seguridad es superior a una por año o a dos veces la frecuencia de comprobación del dispositivo,
- baja demanda – donde la frecuencia de demanda del sistema de seguridad no es superior a una por año o a dos veces la frecuencia de comprobación del dispositivo.

La norma IEC/EN 62061 no considera que el modo de baja demanda sea relevante para la seguridad de la maquinaria.

El nivel SIL4 no está considerado en la norma IEC/EN 62061, dado que no es relevante para los requerimientos de reducción de riesgos normalmente asociados.

Los niveles de integridad de seguridad se calculan por la probabilidad de fallo λ que se expresa como sigue: $\lambda = \lambda_s + \lambda_{dd} + \lambda_{du}$

donde:

λ_s tasa de fallos sin peligro

λ_{dd} tasa de fallos peligrosos detectados

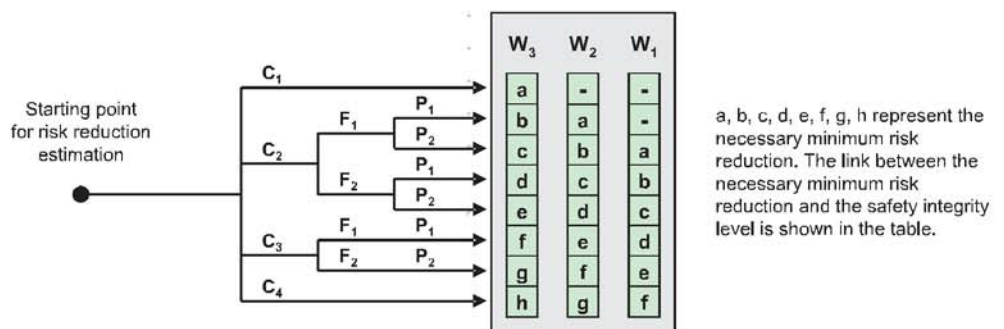
λ_{du} tasa de fallos peligrosos no detectados

En la práctica, los fallos peligrosos son detectados por funciones específicas.

El cálculo de la PFH_d, para un sistema o subsistema depende de diversos parámetros:

- la tasa de fallos peligrosos (λ_{cd}) de los elementos del subsistema,
- la tolerancia a los fallos, es decir, el nivel de redundancia del sistema,
- el intervalo de tiempo de diagnóstico (T2),
- el intervalo de tiempo de comprobación del sistema de seguridad (T1),
- el riesgo de fallos comunes (λ).

El gráfico (≈ Fig. 14) ilustra la norma IEC/EN 61508-5 y el gráfico (≈ Fig. 15) los parámetros de riesgo.



C = Consequence risk parameter
 F = Frequency and exposure time risk parameter
 P = Probability of avoiding hazard risk parameter
 W = Probability of unwanted occurrence
 a,b,c ... h = Estimates of the required risk reduction for the SRSs

Necessary minimum risk reduction	Safety integrity level
-	No safety requirements
a	No special safety requirements
b, c	1
d	2
e, f	3
g	4
h	An E/E/EP SRS is not sufficient

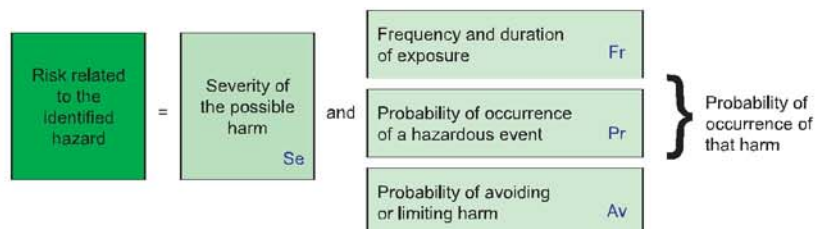
↑ Fig. 14 Gráfico de riesgo

7. Seguridad de personas y máquinas

Parámetro de riesgo	Clasificación	Comentarios	
Consecuencias (C)	C1	Heridas leves	1 El sistema de clasificación ha sido desarrollado teniendo en cuenta la severidad de las heridas y la muerte de personas. Otros esquemas de clasificación serán necesarios para considerar daños en materiales o en el medio ambiente. 2 Para la interpretación de C ₁ , C ₂ , C ₃ y C ₄ , se deberán tener en cuenta las consecuencias del accidente y la recuperación tras éste.
	C2	Heridas graves a una o más personas, muerte de una persona	
	C3	Muerte de varias personas	
	C4	Muerte de numerosas personas	
Frecuencia de ocurrencia y/o exposición al peligro potencial (F)	F1	Exposición a la zona peligrosa de poco frecuente a bastante frecuente	3 Ver el comentario 1 anterior.
	F2	Exposición a la zona peligrosa de bastante frecuente a permanente	
Posibilidad de evitar el accidente (P)	P1	Posible en determinadas condiciones	4 Este parámetro tiene en cuenta: <ul style="list-style-type: none"> • el funcionamiento de un proceso (supervisado -por personas preparadas o no preparadas- o no supervisado), • la rapidez de aparición del accidente (por ejemplo repentinamente, rápidamente o lentamente), • la facilidad de reconocimiento del peligro (por ejemplo detección inmediata, a través de medios técnicos o sin ellos), • las posibilidades de evacuación de la zona peligrosa (por ejemplo salidas de socorro posibles, no posibles o posibles bajo ciertas condiciones), • las experiencias similares que puedan existir (tales experiencias pueden existir con un EUC idéntico o similar o pueden ser inexistentes).
	P2	Casi imposible	
Probabilidad de aparición no deseada (W)	W1	Probabilidad de que los sucesos no deseados ocurran muy baja e idem para su frecuencia, muy baja	5 El objetivo del factor W no es otro que estimar la frecuencia de aparición de los sucesos no deseados sin considerar sistemas relativos a la seguridad pero si considerando cualquier instalación externa de reducción de riesgos. 6 Si se tiene escasa o nula experiencia con el EUC o similar, la estimación del factor W se puede realizar a partir de cálculos. En tal caso se tienen que escoger las condiciones más desfavorables.
	W2	Probabilidad de que los sucesos no deseados ocurran baja e idem para su frecuencia, baja	
	W3	Probabilidad de que los sucesos no deseados ocurran relativamente alta e idem para su frecuencia, relativamente alta	

↑ Fig. 15 Parámetros de riesgo (ejemplo dentro de la norma IEC/EN 61508)

La figura 16 muestra el planteamiento de evaluación del riesgo de una máquina.



↑ Fig. 16 Planteamiento de evaluación del riesgo de una máquina

7. Seguridad de personas y máquinas

7.4 Concepto de funcionamiento seguro

El funcionamiento seguro es la práctica de los principios descritos anteriormente y es un concepto que engloba varios aspectos:

- el diseño y la fabricación de la máquina integrando la estimación del riesgo,
- la instalación, la puesta en marcha y la validación,
- la utilización de la máquina incluyendo la formación,
- el mantenimiento con pruebas periódicas de comprobación.

Consta de 5 etapas.

■ **Etapas 1: estimación del riesgo (normas EN ISO 1200-1, EN1050)**

El objetivo es eliminar o reducir el riesgo y seleccionar una solución adecuada de seguridad para asegurar la protección de las personas.

El proceso iterativo descrito en la *figura 3* se usa para facilitar la estimación del riesgo. Antes de esta estimación, se deben identificar los peligros potenciales. El uso del AMFEC (análisis modal de fallos, efectos y su criticidad) proporciona un análisis riguroso y exhaustivo.

■ **Etapas 2: decisión de las medidas de reducción del riesgo (norma EN ISO 12100-1)**

Evita o reduce tantos peligros potenciales como sea posible durante la fase de diseño (EN ISO 1200-2).

Se usan dispositivos de seguridad para proteger a las personas de los peligros que no pueden ser eliminados razonablemente o de riesgos que no pueden ser reducidos adecuadamente en la fase de diseño (EN 418, EN 953 barreras, EN 574 mandos bimanuales, EN 1088 dispositivos de bloqueo).

Se informa sobre la manera de utilizar la máquina.

■ **Etapas 3: definición de requerimientos y de categorías (norma EN 954-1)**

En función de las estimaciones previas de los riesgos, se da un método práctico de selección de un sistema de control en la norma EN 954-1.

■ **Etapas 4: concepción de las partes de control relativas a la función de seguridad (norma EN 954-1)**

Es en esta etapa cuando el diseñador selecciona los productos para la maquinaria. Al final de esta sección se dan algunos ejemplos basados en productos de seguridad de Schneider Electric.

■ **Etapas 5: validación del nivel de seguridad obtenido y las categorías (norma EN 954-1)**

La validación debería mostrar que las partes del sistema de control relacionadas con la seguridad cumplen con los requerimientos definidos.

La validación debe realizarse mediante análisis y pruebas (norma EN 954-1 cláusula 9).

Un ejemplo de esta prueba es la simulación de fallos en los circuitos con los componentes ya instalados, especialmente siempre que exista cualquier duda sobre su comportamiento después de los estudios técnicos.

7. Seguridad de personas y máquinas

7.5 Certificación y mercado CE

Se distinguen 6 etapas en el proceso de certificación y marcado CE de la maquinaria:

1. aplicar todas las directivas y normas pertinentes,
2. cumplir las exigencias básicas de seguridad y salud,
3. establecer la documentación técnica,
4. proceder al examen de conformidad,
5. establecer la declaración de conformidad,
6. colocar el marcado CE.

■ Directiva sobre maquinaria

La directiva sobre maquinaria es el primer ejemplo histórico de "nuevo enfoque" para una armonización técnica y normativa de productos, y se basa en:

- las exigencias básicas en materia de seguridad y salud (que deben cumplirse antes de la salida al mercado de la maquinaria),
- un planteamiento voluntario de armonización de las normas emprendida por el Comité Europeo de Normalización (CEN) y el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC),
- los procedimientos de evaluación de conformidad ajustados a los tipos de riesgos y asociados a los tipos de máquina,
- el marcado CE, mostrado por el fabricante para indicar que la máquina se ajusta a las directivas aplicables. Las máquinas que llevan este marcado gozan de libre circulación en la Unión Europea.

La directiva ha simplificado notablemente las leyes estatales que la precedían y, por tanto, ha eliminado la mayoría de barreras para el libre comercio dentro de la UE. También ha reducido el coste social de los accidentes. Estas directivas se aplican sólo a productos comercializados o puestos en marcha por primera vez.

■ Exigencias esenciales en materia de seguridad y salud

La directiva sobre maquinaria de la UE, en su anexo 1, cubre las exigencias esenciales en materia de seguridad y salud para la comercialización y la puesta en marcha de las máquinas y componentes de seguridad en Europa.

- Si las exigencias de la directiva se cumplen en su totalidad, ningún estado miembro de la UE puede obstaculizar la libre circulación del producto.
- Si las exigencias no se cumplen, la comercialización puede ser prohibida y/o se puede forzar una retirada del mercado.

Esto afecta a los fabricantes o a sus representantes autorizados en la Unión Europea, así como a los importadores y a los minoristas que introducen estas máquinas o las ponen en servicio.

■ Normativas armonizadas

La manera más fácil de comprobar el cumplimiento de la directiva pasa por cumplir con las normas europeas armonizadas.

Cuando, para los productos del anexo 4 de la directiva, no hay normativas armonizadas, no existen normas relevantes para cubrir todas las exigencias esenciales en materia de seguridad o cuando un fabricante las considera no apropiadas para su producto, puede entonces solicitar la autorización de un tercero (siempre que sea un organismo competente, lógicamente).

Éstos organismos los eligen los estados miembros después de comprobar que son lo suficientemente expertos como para proporcionar una opinión al respecto (TÜV, BGIA, INRS, HSE, etc.).

A pesar de que el organismo competente tiene varias responsabilidades bajo protección de la directiva, el fabricante (o representante autorizado) siempre queda como el máximo responsable de la conformidad del producto.

7. Seguridad de personas y máquinas

■ Declaración de conformidad

De acuerdo con el artículo 8 de la directiva sobre maquinaria, el fabricante (o su representante autorizado establecido en la UE) debe cumplir con una declaración europea de conformidad para toda la maquinaria (o componentes de seguridad). Ello debe hacerse para certificar que la maquinaria y los componentes de seguridad cumplen con la directiva.

Antes de la comercialización de un producto, su fabricante (o su representante autorizado), debe rellenar un documento completo y facilitarlo a los organismos competentes (⇒ Fig. 14).

■ Marcado CE

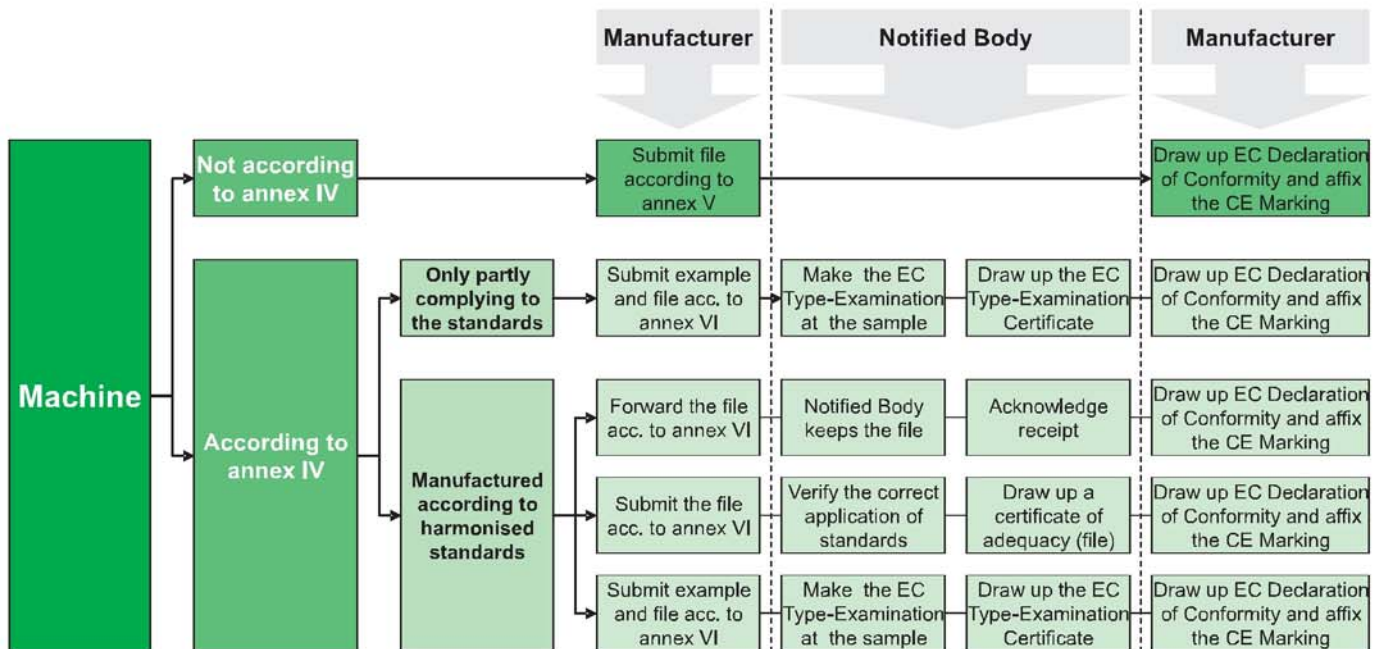
El fabricante o su representante autorizado establecido en la Unión Europea debe mostrar el marcado CE en su máquina. Este marcado es obligatorio desde el 1 de enero de 1995 y sólo puede ser aplicado si la máquina cumple con todas las directivas de la UE relevantes como:

- directiva sobre maquinaria 98/37/EC,
- directiva sobre compatibilidad electromagnética 89/336/EEC,
- directiva sobre baja tensión 73/23/EEC.

Existen otras directivas: para equipamiento de protección de personas, para ascensores, para dispositivos médicos, etc. Pueden ser también relevantes.

El marcado CE en una máquina es como un pasaporte para los países europeos, dado que permite que ésta pueda ser vendida en todos los estados miembros de la UE sin tener en cuenta sus respectivas normas estatales.

El proceso de marcado CE se describe en la (⇒ Fig. 17) a continuación.



↑ Fig. 17 Proceso de marcado CE

7. Seguridad de personas y máquinas

7.6 Principios de la seguridad



↑ Fig. 18 Algunos sistemas eléctricos probados

■ Directrices para construir un control de seguridad

La norma EN 954-1 define las exigencias de seguridad relativas a los órganos de seguridad de un sistema de control.

Define 5 categorías y describe las propiedades específicas de sus funciones de seguridad, que son:

- los principios de seguridad básicos,
- los principios de seguridad probados,
- los componentes de seguridad probados.

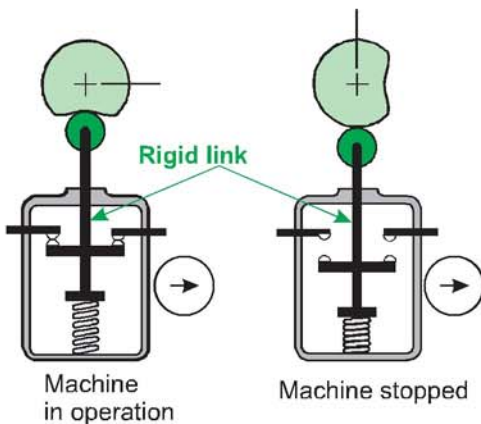
Para ilustrar el concepto de principios de seguridad probados, a continuación se detalla un extracto de la lista citada en la norma EN954-2:

- usar contactos mecánicamente conectados,
- usar cables con un único conductor para evitar cortocircuitos,
- usar separaciones para evitar cortocircuitos,
- evitar condiciones no definidas: construir sistemas de control deterministas,
- usar el modo de activación positiva,
- sobredimensionar,
- simplificar el sistema de control,
- usar componentes con modos de fallo definidos,
- usar temporizadores sin fuente de alimentación (con condensadores),
- usar redundancia (doblar los componentes críticos).

A continuación, ejemplos de dispositivos para sistemas eléctricos (≈ Fig.18):

- interruptores con modo de activación positiva,
- equipamiento de paro de emergencia (según EN 60947-5-5),
- interruptores de potencia,
- contactores principales (sólo cuando las exigencias adicionales de la norma se cumplen),
- contactores auxiliares con contactos mecánicamente conectados (sólo cuando las exigencias adicionales de la norma se cumplen),
- válvulas electromagnéticas.

Dicho esto, debajo se adjuntan una serie de explicaciones sobre conceptos técnicos conocidos principalmente por especialistas.



↑ Fig. 19 Principio de la activación positiva



↑ Fig. 20 Símbolo del contacto con apertura directa

■ Activación positiva

Es una apertura de circuito directa (IEC 60947-5-1) donde los contactos son separados como resultado del movimiento del interruptor por un enlace rígido.

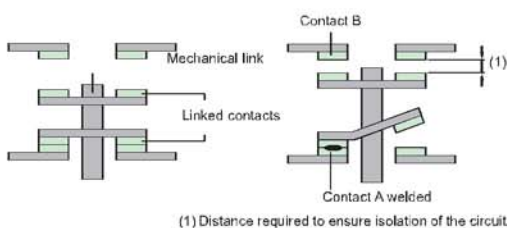
La figura 19 muestra como la apertura de los contactos NC se asegura mediante el enlace rígido y es independiente de ningún muelle o resorte.

Cada elemento del contacto con apertura directa debe ser identificado exteriormente de manera clara e indeleble con el símbolo de la figura 20.

■ Contactos mecánicamente conectados

Relés, contactores e interruptores normalmente constan de una serie de contactos. Para aplicaciones de seguridad, debe conocerse la posición de cada contacto cuando se utilizan en una cadena de seguridad, para cualquier caso hipotético.

Esto hace posible determinar el comportamiento del circuito bajo condiciones de fallo. Los contactos mecánicamente conectados son una respuesta a esta exigencia (≈ Fig.21).



↑ Fig. 21 Contactos mecánicamente conectados

7. Seguridad de personas y máquinas

Definición de contactos mecánicamente conectados (IEC/ EN 60947-5-1):

"[...] una combinación de n elementos de contacto(s) NC y b elementos de contacto(s) NA diseñados para que no puedan cerrarse simultáneamente.

Cuando un contacto NC se mantiene en posición cerrada una distancia mínima de 0,5mm entre todos los contactos NA está asegurada cuando la bobina se alimenta. Cuando un contacto NC se mantiene en posición cerrada una distancia mínima de 0,5mm entre todos los contactos NA está asegurada cuando se le quita la tensión a la bobina."

7.7 Funciones de la seguridad

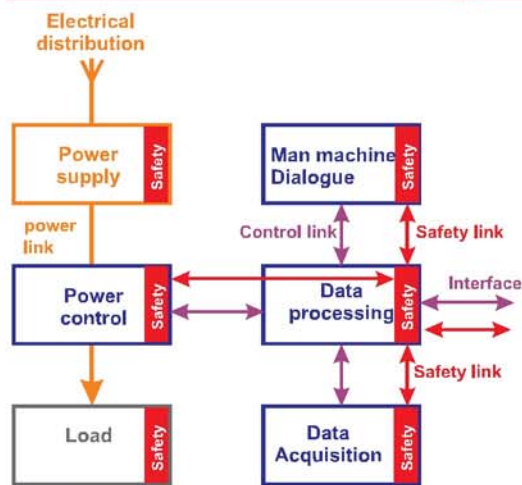


Fig. 22 Adaptación de las funciones existentes

A partir de la estimación de riesgos, la seguridad se puede asegurar adaptando las funciones de control existentes (⇒ Fig.22).

Como se ha comentado previamente, ello se puede hacer de dos maneras:

- utilizando la redundancia o el autocontrol,
- aumentando la seguridad de los componentes.

A diferencia del enfoque clásico donde los sistemas de automatización se dividen en funciones y se tratan individualmente, la seguridad debe ser enfocada de forma global. Para facilitar la realización de un sistema de automatización, los fabricantes de componentes ofrecen productos específicos integrando conjuntos de funciones.

La figura 23 muestra las soluciones genéricas para las primeras cuatro categorías (B,1,2,3). Describiremos su uso en aplicaciones estándar y terminaremos con una más compleja.

Al final de la sección se dará un ejemplo de un módulo de seguridad diseñado para los requerimientos de la categoría 4.

	Typical structure of a safety circuit in the event of a fault	Practical examples of safety circuits	Comments
E			<ul style="list-style-type: none"> b. No redundancy on the input (control). b. No internal redundancy provided by the relay. b. No redundancy on the output.
1			<ul style="list-style-type: none"> b. Redundancy or no redundancy on the inputs. b. The feedback loop allows a cyclic test to be carried out on the output (interval to be determined according to the application).
2			<ul style="list-style-type: none"> b. Redundancy on the inputs. b. Redundancy on the outputs.
3			<ul style="list-style-type: none"> b. Redundancy on the inputs. b. Redundancy on the outputs. b. The feedback loop allows continuous monitoring of the outputs.

Fig. 23 Soluciones genéricas de seguridad

7. Seguridad de personas y máquinas



↑ Fig. 24 Paro de emergencia

■ Paro de emergencia

El paro de emergencia (⇒ Fig.24) está diseñado para reducir o alertar de los efectos de un peligro potencial sobre las personas, las máquinas o los procesos. Su activación se realiza manualmente.

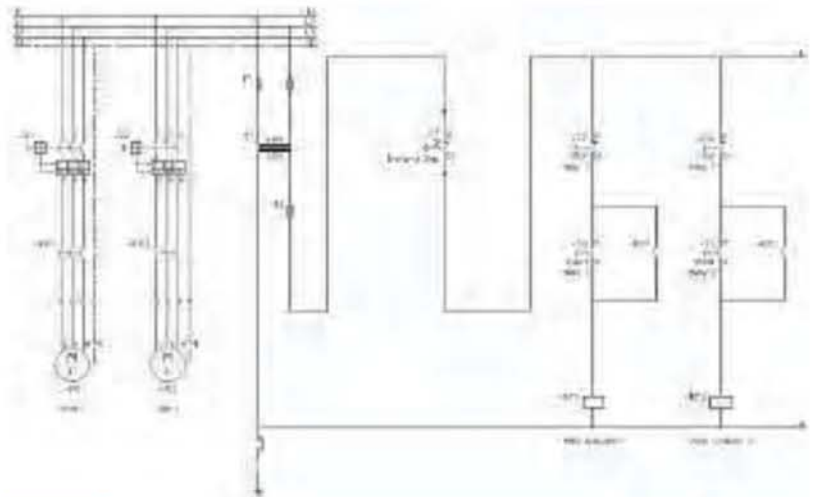
El paro de emergencia debe:

- para la categoría de paro 0: detener inmediatamente la máquina cortando la potencia de los actuadores de la misma o mediante desconexión mecánica. Si es necesario, se puede usar un paro no controlado (ejemplo: freno mecánico),
- para la categoría de paro 1: paro controlado con la potencia aplicada a los actuadores en cuestión; una vez parada, desconexión de la potencia.

El componente de control y su actuador deberán ser de activación positiva (norma EN 292-2).

La función de paro de emergencia debe estar disponible y ser operativa en cualquier momento sea cual sea el modo de funcionamiento.

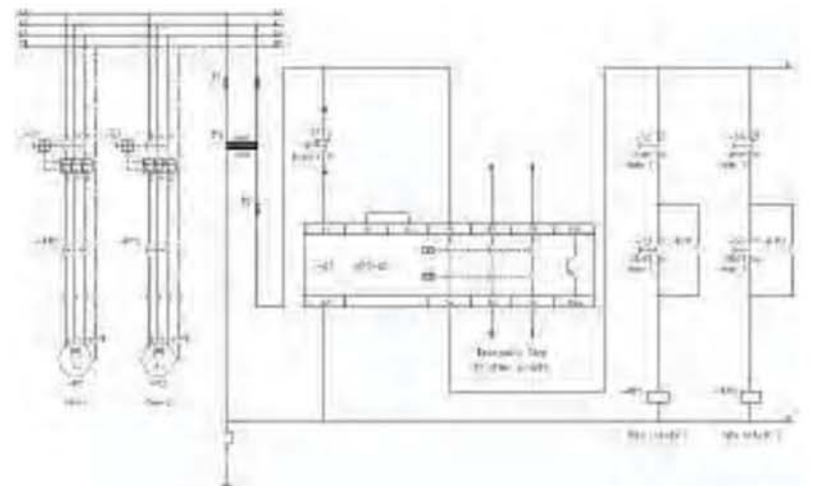
El esquema (⇒ Fig.25) muestra un caso típico de paro de emergencia:



↑ Fig. 25 Esquema de un paro de emergencia típico

Si el dispositivo de paro de emergencia tiene que trabajar en más de un circuito, el esquema de seguridad es mucho más complejo. Es por ello que es aconsejable usar un módulo de seguridad.

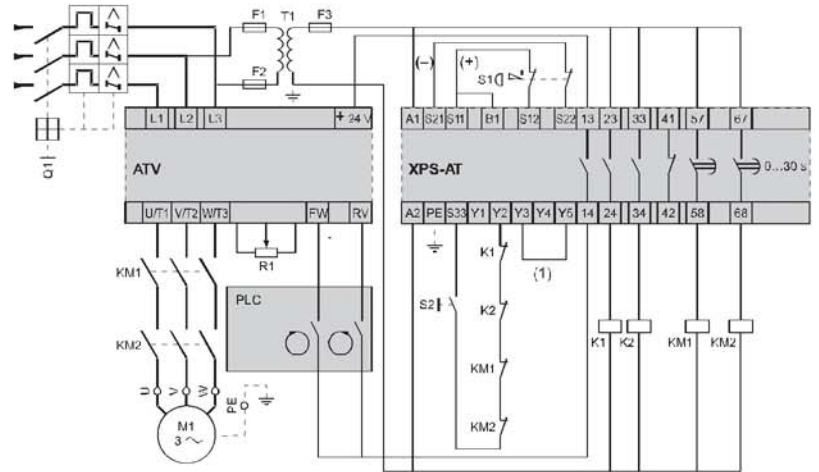
El esquema (⇒ Fig.26) representa una función de paro de emergencia para 2 circuitos:



↑ Fig. 26 Paro de emergencia para 2 circuitos

7. Seguridad de personas y máquinas

El esquema (⇒ Fig.27) muestra como un paro de emergencia se asocia con un variador de velocidad (categoría de paro 1).



↑ Fig. 27 Paro de emergencia de categoría 1

7.8 Seguridad de la red

El progreso tecnológico, la mejora en la fiabilidad y los nuevos estándares han ayudado a cambiar las redes industriales de tal manera que pueden ser usadas para aplicaciones con grandes exigencias en materia de seguridad.

La mayoría de redes tienen una versión securizada; aquí describiremos la red ASI que se utiliza a nivel de componentes. Para más información sobre redes, se recomienda *ver la sección sobre redes industriales*.

■ AS-Interface (ASI)

El interface actuador-sensor (AS-Interface, ASI), un sistema que se puede conectar en tensión, es el sucesor del cableado convencional. Esta red es fácil de usar y de extender.

Mayor velocidad, menor tiempo de instalación, economía, mantenimiento simple y gran disponibilidad: son las prestaciones que definen esta red estandarizada.

La red ASI es ideal para una transmisión rápida y segura de pequeñas cantidades de información en un ambiente industrial hostil.

□ Integridad de datos

La invulnerabilidad a las interferencias en la transmisión de datos es una importante característica en una red de sensores y de actuadores en un entorno industrial. Mediante el uso de una codificación específica de tipo APM (modulación por pulsos alternos) y el control permanente de la calidad de la señal, la red ASI proporciona la misma integridad de datos que otros buses de campo.

□ Componentes usados en redes ASI

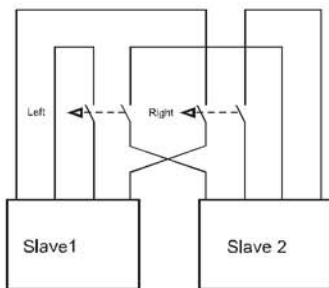


El logo ASI se coloca sobre los componentes que han sido aprobados por un centro de prueba independiente. Certifica que los productos de diferentes fabricantes funcionarán sin problemas en una red ASI

7. Seguridad de personas y máquinas



↑ Fig. 28 Mando bimanual en una prensa



↑ Fig. 29 Mando bimanual con bus ASI

□ Maestro y pasarela, alimentaciones, repetidores

El corazón de un sistema ASI es el maestro o pasarela con capacidad de diagnóstico. Se pueden usar autómatas programables usuales así como software para PC, dado que un componente conectado al bus ASI es visto como una entrada o salida remota.

La alimentación especial además asegura la disociación de datos. Los repetidores permiten extender la red más allá de 100m, y de esta manera los circuitos eléctricos primario y secundario están aislados para aumentar la seguridad en caso de cortocircuito.

■ Aplicación: control de un mando bimanual con bus ASI (safety at work)

Los operarios que trabajan con máquinas peligrosas pueden tener accidentes graves. Este tipo de máquinas se encuentran en la mayoría de industrias y son básicamente de la familia de las prensas hidráulicas: prensas, perforadoras, plegadoras, etc.

La máquina a menudo es alimentada de forma manual por el operario. En esta fase del trabajo, la familiarización con la máquina y a la rutina aumentan el riesgo.

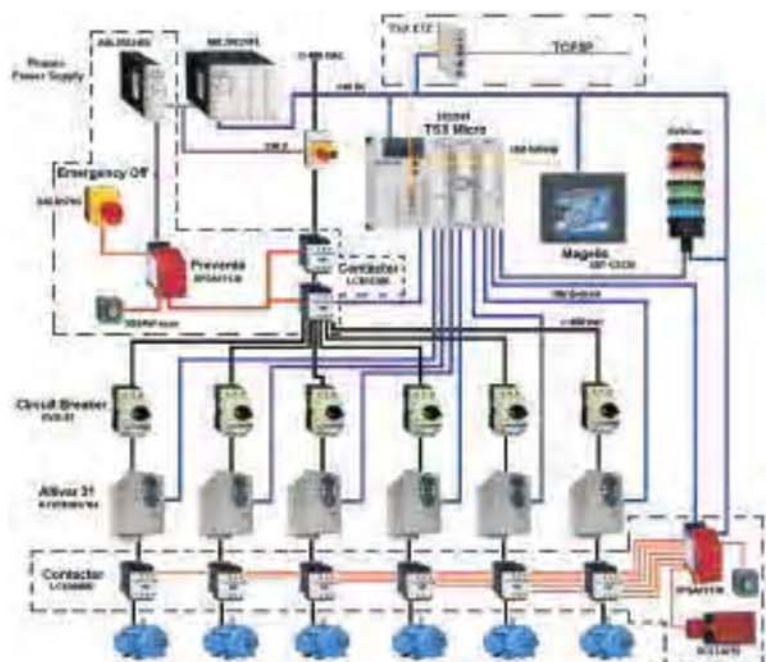
Los mandos bimanuales (⇒ Fig.28) son dispositivos que requieren que el operario inicie el proceso potencialmente peligroso usando dos controles distintos de forma simultánea con cada mano. Estos mandos bimanuales incluyen los controles así como un dispositivo de paro de emergencia.

Los cuatro contactos de salida de los dos mandos (⇒ Fig.29) son supervisados para controlar su interdependencia.

El intervalo de tiempo que separa las acciones sobre los dos controles no debe exceder los 0,5s y éstos deben estar accionados el tiempo que dure el proceso peligroso de la máquina.

7.9 Ejemplo de aplicación

La aplicación descrita e ilustrada (⇒ Fig.30) es un ejemplo práctico de algunas funciones de seguridad.



↑ Fig. 30 Ejemplo de aplicación

7. Seguridad de personas y máquinas

El sistema tiene un autómata programable de gama media que controla hasta 6 variadores de velocidad, cada uno de los cuales alimenta un motor. Cada variador está protegido por un disyuntor y cada motor tiene su propio contactor.

Los variadores de velocidad pueden funcionar con los parámetros de fábrica o bien pueden ser reconfigurados con el software Power Suite.

Alimentación: trifásica a 400V y monofásica a 230V distribuida a los diferentes componentes (la primera para los variadores de velocidad y la segunda para la fuente Phaseo). Todos los variadores están cableados con el autómata.

Los variadores de velocidad se supervisan a través de un terminal gráfico táctil programado con el software VijeoDesigner. El terminal gráfico está conectado al autómata programable a través de Uni-Telway. El autómata está configurado y programado con el software PL7 Pro.

Una columna luminosa indica el estado real del sistema (bajo tensión o sin tensión, motor(es) en funcionamiento, en espera de confirmación y paro de emergencia).

El interruptor principal está conectado de tal manera que si el sistema se desconecta el autómata seguirá alimentado y permitirá realizar diagnósticos.

Dado que los variadores de velocidad se utilizan con los parámetros de fábrica, el programa de aplicación en este ejemplo es de lo más básico. Sin embargo, el equipamiento fue escogido para controlar entradas/salidas complementarias.

Opciones:

El sistema alcanza el nivel de seguridad 4 con el módulo Preventa controlando los contactores de los variadores. Este módulo no sólo protege los variadores sino que también tiene en cuenta el paro de emergencia.

El sistema además tiene otra opción de seguridad para el nivel de seguridad 3 que automáticamente para los motores si cualquier cofre está abierto.

Nota: el módulo de seguridad del variador de velocidad tiene su propia alimentación. Si hay un paro de seguridad, el posterior arranque necesitará ser confirmado.

Una pasarela (TSX ETZ) hacia el nivel superior puede añadirse para establecer comunicaciones via TCP/IP.

Las opciones aparecen sobre la figura anterior en los cuadros punteados.

Este esquema se puede usar para las aplicaciones típicas siguientes:

- máquinas automáticas de tamaño reducido y medio,
- máquinas de empaquetado, máquinas textiles, cintas transportadoras, distribución de agua, tratamiento de aguas residuales, etc.
- sistemas autónomos automáticos dentro de máquinas de tamaño medio y grande.

7. Seguridad de personas y máquinas

7.10 Funciones y productos relacionados con la seguridad

■ **Schneider Electric tiene una amplia gama de productos relacionados con la seguridad**

A continuación se muestran algunas soluciones, ilustradas por ejemplos.


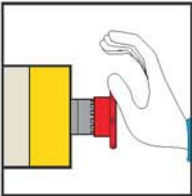
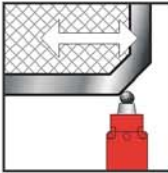


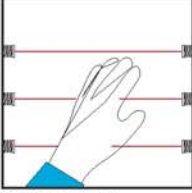
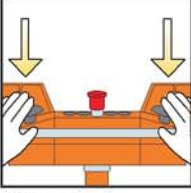

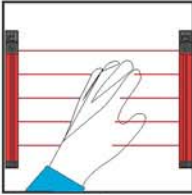


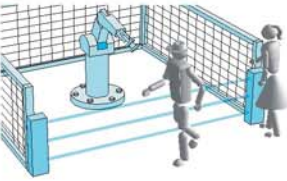

Dependiendo de la complejidad de la máquina, la solución se construye a partir de:

- un controlador monofunción programable,
- un controlador multifunción que puede administrar simultáneamente 2 funciones de entre 15 predefinidas,
- un controlador multifunción que usa un software para configurar funciones predefinidas,
- un autómata de seguridad con su software para obtener una solución completa.

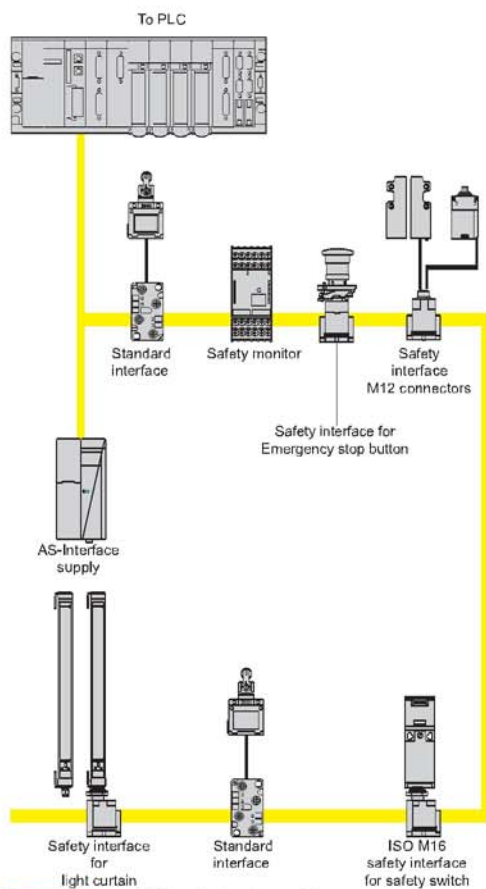
El conexionado se puede realizar mediante cableado o red ASI de seguridad.

La tabla (⇒ Fig.31) muestra algunos ejemplos.

↓ Fig. 31 Controladores de seguridad

Tipo de controlador	Ejemplos de solución El controlador gobierna las siguientes funciones		
Familia XPS Monofunción 	Paro de emergencia  Categoría 4	Protección de personas mediante barrera protectora  Categoría 4	Movimiento de posicionamiento  Categoría 4
XPS MP Selección de 2 funciones de entre 15 predefinidas 	Protección de dedos y manos en zona peligrosa  Categoría 2		Mando bimanual  Categoría 4
XPS MC Función configurable por software 	Protección de acceso del operario en zona peligrosa  Categoría 4	Paro de un movimiento peligroso en cualquier lugar en la zona de trabajo  Categoría 4	
XPS MF Autómata seguridad Software programación 	Protección del operario que accede a una zona peligrosa  Categoría 4		Protección del operario que accede a una serie de zonas peligrosas  Categoría 4

7. Seguridad de personas y máquinas



↑ Fig. 32 ASI "safety at work"

■ Red ASI "safety at work"

Además de la información sobre el proceso, la información sobre la seguridad puede ahora circular por el mismo cable y cumplir con las exigencias de seguridad hasta el nivel 4 de la norma EN-954-1.

El sistema AS-Interface "safety at work" cubre la mayoría de necesidades en aplicaciones de seguridad como por ejemplo:

- paro de emergencia supervisado con apertura instantánea de contactos (cat. 0),
- paro de emergencia supervisado con apertura con retardo de contactos (cat. 1),
- supervisión de interruptores con o sin interbloqueo,
- supervisión de barreras de luz, etc.

Las opciones de seguridad elegidas, como la supervisión de un botón de marcha, pueden ser configuradas para todas las funciones certificadas predefinidas.

Las funciones de seguridad pueden ser incorporadas en la red ASI mediante el uso de un controlador de seguridad y de interfaces de seguridad que se conectan en el mismo "cable amarillo" que el resto de componentes estándar, sin diferenciación.

La información sobre seguridad sólo se intercambia entre el controlador de seguridad y los dispositivos de seguridad. Este intercambio es transparente para el resto de componentes estándar, por lo que una red ASI existente se puede mejorar con componentes de seguridad sin tener que cambiar los componentes ya instalados (maestros, entradas/salidas, fuentes de alimentación, etc.).

Los circuitos de seguridad son interrogados inmediatamente, sin ningún cableado adicional, por parte del maestro ASI estándar, que se comunica con los controladores de seguridad a través de la red ASI (el "cable amarillo").

La configuración de ASI "safety at work" y la selección de la función de seguridad es simple e intuitiva. En la documentación de los fabricantes se puede encontrar más información sobre esta temática.

7.11 Conclusión

La seguridad en máquinas es una exigencia básica en la Unión Europea y condiciona la libre circulación de los productos en los estados miembros. Los diseñadores utilizarán herramientas de análisis como es el caso del AMFEC para encontrar la solución más apropiada y económica.

Si se realiza este análisis, la evaluación del riesgo para cumplir la normativa vigente será más rápida y a la vez más precisa.

El enfoque sistemático descrito en este capítulo ayudará a garantizar una evaluación exitosa.

Ello conducirá a un diagrama de seguridad óptimo y a una elección adecuada de los componentes para realizar la función.

Proveedores como Schneider Electric ofrecen una amplia gama de productos y soluciones perfectamente diseñados para desarrollar funciones de seguridad. Si se requiere, hay especialistas a su disposición para solucionar casos difíciles.

