1- Introducción

El objetivo de esta sección es proporcionar al fabricante de la máquina una introducción rápida a algunas normas relacionadas con la seguridad de las máquinas, aclarar principios básicos y proporcionar ejemplos de aplicación. Esta breve guía abarca únicamente los aspectos relacionados con la seguridad funcional de la máquina, es decir, el conjunto de medidas para proteger al operario de los riesgos derivados de su funcionamiento y los aspectos relacionados con el diseño y elección de los dispositivos de enclavamiento asociados a los resguardos.
No recoge los riesgos procedentes de otras fuentes de peligro, como la presencia de electricidad, recipientes a presión, atmósferas explosivas, etc., que en cualquier caso deben ser evaluados por el fabricante de la máquina.
Pizzato Elettrica ha preparado este documento a su leal saber y entender, teniendo en cuenta las normas, interpretaciones y tecnologías existentes. Por lo tanto, el cliente final siempre debe evaluar los ejemplos proporcionados en este documento de acuerdo con el estado actual de la tecnología/normativa y estos no le eximen de sus responsabilidades. Pizzato Elettrica no asume ninguna responsabilidad por los ejemplos proporcionados y no excluye la posibilidad de que los datos proporcionados contengan imprecisiones o errores involuntarios.

2- Proyectar de forma segura. Estructura de la normativa europea

Cualquier dispositivo o maquinaria, para poder ser comercializado libremente en los países miembro de la Unión Europea, debe cumplir los requisitos de las directivas comunitarias. Estas establecen los principios generales para que los fabricantes comercialicen productos que no sean peligrosos para los operarios. La gama de productos y los diversos peligros posibles es muy amplia y, por este motivo, se han publicado varias directivas a lo largo del tiempo. Algunos ejemplos son la Directiva de baja tensión 2014/35/UE, la Directiva sobre atmósferas explosivas 2014/34/UE, la Directiva sobre compatibilidad electromagnética 2014/30/UE, etc. Los peligros que derivan del funcionamiento de las máquinas se recogen en la Directiva sobre máquinas 2006/42/EC.
La conformidad con las directivas está certificada mediante la emisión de la Declaración de Conformidad por parte del fabricante y de la colocación del marcado CE en la máquina.

Para la evaluación de riesgos que presenta la máquina y para la realización de los sistemas de seguridad para proteger al operario de estos riesgos, los organismos europeos de normalización CEN y CENELEC han publicado una serie de normas que traducen el contenido de las directivas en indicaciones técnicas. Las normas publicadas en el Diario Oficial de la Unión Europea se consideran harmonizadas. El fabricante que aplica estas normas para la certificación de sus máquinas tiene la presunción de conformidad con las directivas.

Las normas para la seguridad de las máquinas se clasifican en tres tipos: A, B y C.
Normas de tipo A: Son normas que tratan los conceptos básicos y los principios de diseño general para la fabricación de todas las máquinas.
Normas de tipo B: Son normas que tratan uno o más aspectos específicos y se subdividen en las siguientes normas:
- B1: Normas relativas a algunos aspectos de la seguridad (por ejemplo, distancias de seguridad, temperaturas, interferencias, etc.)
- B2: Normas relativas a los dispositivos de seguridad (por ejemplo, dispositivos de mando bimanual, dispositivos de enclavamiento, resguardos, etc.)

Normas de tipo C: Son normas que tratan detalladamente las prescripciones de seguridad para grupos específicos de máquinas (p. ej. prensas hidráulicas, máquinas de moldeo por inyección, etc.)

El fabricante de los dispositivos o máquinas deberá, primero de todo, comprobar si su producto está recogido en una norma de tipo C. En caso de que así sea, esta norma prevé las prescripciones de seguridad, sino se aplicarán las normas de tipo B para cada aspecto específico o dispositivo del producto. Si faltan especificaciones, el fabricante aplicará los principios básicos de las normas de tipo A.

NORMAS DE TIPO A
por ejemplo:

EN ISO 12100. Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo.

NORMAS DE TIPO B1
por ejemplo:

EN IEC 62061. Seguridad de las máquinas. Seguridad funcional de sistemas de mando eléctricos, electrónicos y electrónicos programables relativos a la seguridad
EN ISO 13849-1 e -2. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad

NORMAS DE TIPO B2
por ejemplo:

EN ISO 13851. Dispositivos de mando a dos manos
EN ISO 13850. Paro de emergencia
EN ISO 14119. Dispositivos de enclavamiento asociados a resguardos
EN 60204-1. Equipo eléctrico de las máquinas
EN 60947-5-1. Aparatos electromecánicos para circuitos de mando.

NORMAS DE TIPO C
por ejemplo:

EN ISO 20430. Maquinaria de plásticos y caucho. Máquinas de moldeo por inyección.
EN 415-1. Seguridad de las máquinas de embalaje
EN ISO 16092-1 y EN ISO 16092-2. Prensas mecánicas
EN ISO 16092-1 y EN ISO 16092-3. Prensas hidráulicas
EN ISO 19085-6. Seguridad de las máquinas para trabajar la madera. Fresadoras de una cara, con herramienta rotativa. Parte 1: Tupíes de un solo husillo vertical.

3 – Diseño de máquinas seguras. El análisis de riesgos

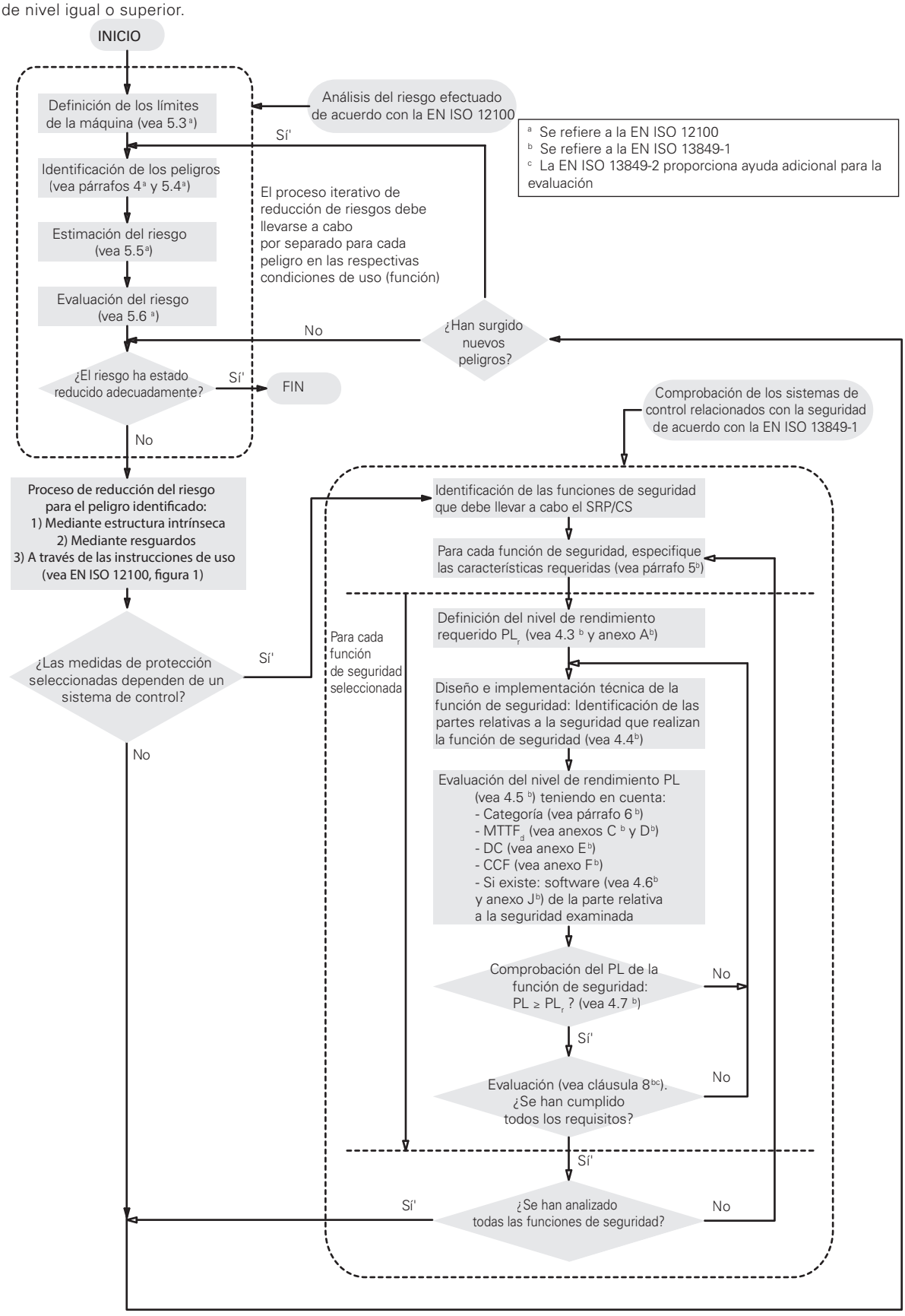
El primer paso para la fabricación de una máquina segura consiste en identificar cuáles son los posibles peligros a los que se verán expuestos los operarios. La identificación y clasificación de los peligros permiten definir el riesgo para el operario o bien la combinación de la probabilidad de que el peligro se produzca y los posibles daños.

La metodología para el análisis, la evaluación y el procedimiento de reducción de riesgos se define en la norma EN ISO 12100, un modelo cíclico de análisis en el que, una vez fijados los objetivos iniciales, se evalúan repetidamente el análisis de riesgos y las posibles soluciones para limitarlos hasta que se cumplan los objetivos iniciales.

El modelo introducido en esta norma prevé que, después de un análisis de riesgos, se proceda a reducirlos/eliminarlos siguiendo los pasos a continuación:
1) la eliminación de riesgos en su origen mediante la aplicación de directrices de diseño intrínsecamente seguras y la estructuración de los sistemas;
2) la reducción de los riesgos mediante sistemas de protección y control;
3) la identificación de los riesgos residuales mediante señalización e información a los operarios.

Dado que cada máquina presenta riesgos y que no es posible eliminar completamente todos los posibles riesgos relacionados, el objetivo es reducir los riesgos de la máquina a niveles residuales aceptables.

En caso que el riesgo se reduzca mediante un sistema de control, entra en juego la norma EN ISO 13849-1, que proporciona un modelo de evaluación de la calidad de este sistema. De este modo, si se indica un riesgo de un cierto nivel, es posible aplicar una función de seguridad de nivel igual o superior.

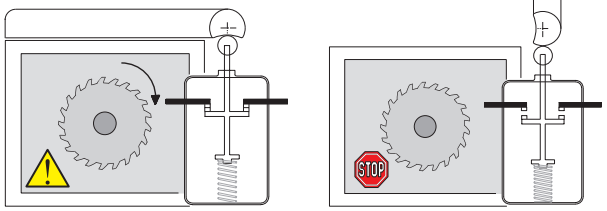


Nota: Esta figura está formada por la combinación de las figuras 1 y 3 de la EN ISO 13849-1. Los textos proporcionados son la traducción no oficial de los textos presentes en la norma.

4 - Apertura positiva, redundancia, diversificación y autocontrol

Modo positivo y modo negativo.
Según la norma EN ISO 12100, si un componente mecánico móvil arrastra inevitablemente otro componente, ya sea por contacto directo o mediante elementos rígidos, se dice que estos componentes están conectados en modo **positivo**. Si, por el contrario, el desplazamiento de un componente mecánico permite que un segundo componente se mueva libremente (por ejemplo, por la gravedad, acción de un resorte, etc.), la conexión entre los dos es **negativa**.

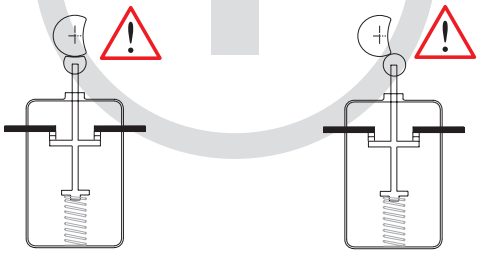
Modo positivo



Máquina en funcionamiento
Puerta cerrada

Máquina parada
Puerta abierta

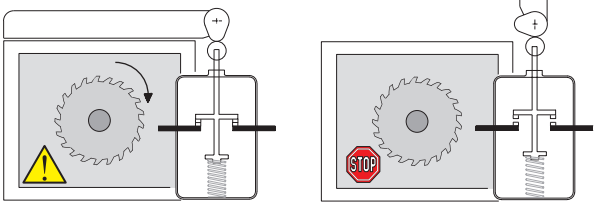
Fallos peligrosos: la máquina sigue funcionando.



Roldana desgastada

Roldana desalineada

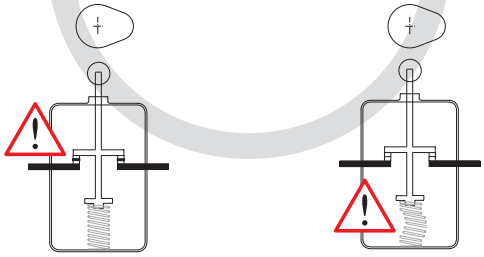
Modo negativo



Máquina en funcionamiento
Puerta cerrada

Máquina parada
Puerta abierta

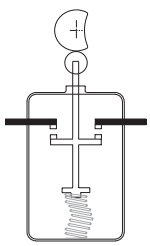
Fallos peligrosos: la máquina sigue funcionando.



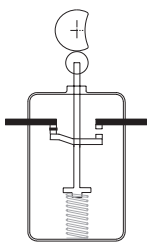
Contactos pegados

Resorte dañado

La conexión positiva permite evitar los fallos peligrosos arriba mencionados mediante un mantenimiento preventivo. Con la conexión negativa, se pueden producir fallos en el interior del interruptor difíciles de detectar.
Con la conexión positiva, se pueden abrir los contactos incluso si hay fallos internos (contactos pegados o resorte dañado) y se para la máquina.

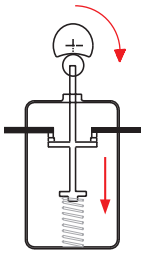


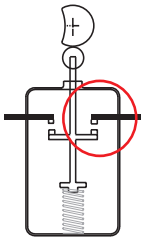
Resorte dañado → Máquina parada



Contactos pegados → Máquina parada

Uso de los interruptores en las aplicaciones de seguridad
Cuando en una función de seguridad solo se utiliza un interruptor, este se debe actuar de modo positivo. Para aplicaciones de seguridad, se utiliza el contacto de apertura (normalmente cerrado) que debe ser de **apertura positiva**. Todos los interruptores con el símbolo ⊖ disponen de contactos NC con apertura positiva.





No hay ninguna conexión elástica entre los contactos móviles y el actuador sobre el cuál se aplica la fuerza de accionamiento.

Si hay dos o más interruptores, lo mejor es que funcionen de forma opuesta, por ejemplo:
- El primero con un contacto normalmente cerrado (contacto de apertura) accionado por el resguardo en modo positivo.
- El otro con un contacto normalmente abierto (contacto de cierre) accionado por el resguardo en modo negativo.
Esta es una práctica habitual que no excluye el uso de dos interruptores accionados en modo positivo (vea diversificación).

Diversificación
La seguridad en los sistemas redundantes se aumenta con la **diversificación**. Esta se obtiene usando dos interruptores con tecnología o diseño distintos para evitar daños con la misma causa. Ejemplos de diversificación son: el uso de un interruptor con accionamiento forzado y un interruptor sin accionamiento forzado, el uso de un interruptor con control mecánico y uno sin control mecánico (p. ej. un sensor electrónico) o el uso de dos interruptores con control mecánico y accionamiento forzado pero con diferentes tipos de accionamiento (p. ej. un interruptor por llave FR 693-M2 y un interruptor para bisagras FR 1896-M2).

Redundancia
La **redundancia** es el uso de más de un dispositivo o sistema con el fin de garantizar que en el caso de que se produzca un fallo en las partes de uno de los dispositivos, el otro esté disponible para seguir realizando las funciones de seguridad. Si no se detecta el primer fallo, un segundo fallo puede conllevar la pérdida de la función de seguridad.

Autocontrol
El **autocontrol** consiste en comprobar automáticamente el funcionamiento de todos los dispositivos que intervienen en el ciclo de la máquina. De este modo, se puede prohibir o autorizar el siguiente ciclo.

Redundancia y autocontrol
La combinación de **redundancia** y **autocontrol** hacen que un primer fallo en el circuito de seguridad no conlleve la pérdida de las funciones de seguridad. Este primer fallo se detectará en el siguiente rearme o antes de que se produzca un segundo fallo que pueda provocar la pérdida de la función de seguridad.

5 - Dispositivos de enclavamiento asociados a resguardos (norma EN ISO 14119)

En septiembre de 2024 se publicó la tercera edición de la norma ISO 14119 «Dispositivos de enclavamiento asociados a resguardos. Principios para el diseño y la selección». La publicación de esta nueva edición introduce algunas novedades interesantes, sobre todo en cuanto a la clasificación de los dispositivos y los modos de fijación no extraíble.

NEW ISO 14119:2024

La norma está dirigida a los fabricantes de dispositivos de enclavamiento y a fabricantes de máquinas (así como integradores de sistemas), y describe los requisitos para su fabricación y para la correcta instalación de los mismos.
La norma explica algunos aspectos controvertidos y considera la tecnología más reciente utilizada en los dispositivos de enclavamiento, define algunos parámetros (tipo de actuador y nivel de codificación) y describe el procedimiento a seguir para conseguir una instalación correcta para reducir las elusiones de los resguardos.
La norma incluye también otros aspectos relativos a los dispositivos de enclavamiento (p. ej. principios de enclavamiento, enclavamiento electromagnético, desenclavamiento, desbloqueo de emergencia y de paro de emergencia, etc.), que no están descritos en este documento.

Nivel de codificación de los actuadores

La norma presenta la definición de los actuadores codificados y la clasificación de los niveles de codificación:

- **actuador codificado** – actuador diseñado específicamente para combinarse con un dispositivo de enclavamiento específico;
- **actuador con nivel de codificación bajo** – actuador codificado con 1-9 codificaciones (por ejemplo, la serie de sensores magnéticos SR o los interruptores de seguridad con actuador separado con detección mecánica FS, FG, FR, FD…);
- **actuador con nivel de codificación medio** - actuador codificado con 10-1000 codificaciones distintas posibles;
- **actuador con nivel de codificación alto** - actuador codificado con más de 1000 codificaciones distintas. (por ejemplo, la serie de sensores ST con tecnología RFID o los dispositivos de enclavamiento de las series NG, NS y NX con tecnología RFID y bloqueo de resguardo).

Tipos de dispositivos de enclavamiento

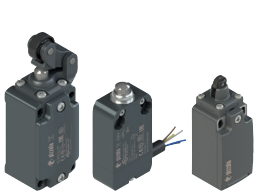
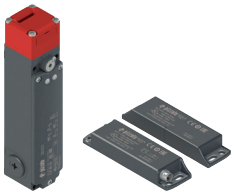
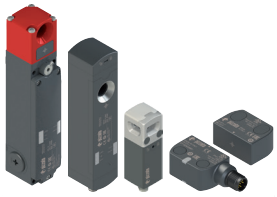
La tercera edición de la norma ISO 14119 introduce un nuevo tipo de dispositivo de enclavamiento, el tipo 5 para los dispositivos con llave atrapada, además de los ya definidos en la segunda edición:

- **Dispositivos de enclavamiento de tipo 1** - Dispositivos de enclavamiento accionados mecánicamente por un actuador no codificado (por ejemplo, los dispositivos de enclavamiento en forma de bisagra de la serie HP).
- **Dispositivos de enclavamiento de tipo 2** - Dispositivos de enclavamiento accionados mecánicamente por un actuador codificado (por ejemplo, los interruptores de seguridad con actuador separado de las series FR, FS, FG, …).
- **Dispositivos de enclavamiento de tipo 3** - Dispositivos de enclavamiento accionados sin contacto por un actuador no codificado.
- **Dispositivos de enclavamiento de tipo 4** - Dispositivos de enclavamiento accionados sin contacto con actuador codificado (por ejemplo, los sensores de seguridad con tecnología RFID de la serie ST y los interruptores de seguridad con tecnología RFID de las series NG, NS y NX).
- **Dispositivos de enclavamiento de tipo 5** - Dispositivos de enclavamiento con llave atrapada, que realizan su función bloqueando o desbloqueando una o varias llaves en un sistema de enclavamiento de llave atrapada determinado.

Tipo	Principio de actuación	Actuador	Monitorización de los protectores	Ejemplos de actuadores		
				Principio de actuación	Actuador	Anexo
Tipo 1	Mecánico	No codificado	Directo	Contacto físico/fuerza	Leva giratoria	A.1
					Leva lineal	A.2, A.4
					Bisagra	A.3
Tipo 2	Mecánico	Codificado	Directo	Contacto físico/fuerza	Actuador en forma de llave moldeada	B.1
Tipo 3	Sin contacto	No codificado	Directo	Magnético	Imán, electroimán	C.1
				Inductivo	Metal férrico	
				Capacitivo	Cualquier objeto adecuado	
				Por ultrasonidos	Cualquier objeto adecuado	
				Óptico	Cualquier objeto adecuado	
Tipo 4	Sin contacto	Codificado	Directo	Magnético	Magnético codificado	D.1
				RFID	RFID codificado	D.2
				Óptico	Óptico codificado	-
Tipo 5	Mecánico (llave atrapada)	Codificado	Indirecto o directo		Moldeado	K

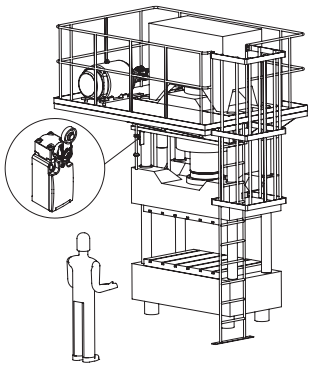
Sección de la ISO 14119:2024 - Table 2

Requisitos para el diseño y la instalación de dispositivos de enclavamiento de acuerdo con la ISO 14119:2024 para reducir el riesgo de elusión de los resguardos.

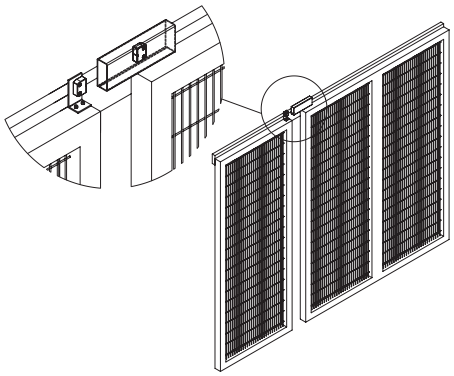
Principios y medidas de prevención de la elusión	Referencia	Dispositivos de tipo 1		Dispositivos de tipo 2 y tipo 4	
		Interruptores de seguridad con leva giratoria o lineal	Interruptores de seguridad en forma de bisagra	Actuadores con un nivel de codificación bajo y medio	Actuadores con un alto nivel de codificación
					
Segundo dispositivo de enclavamiento y prueba de plausibilidad	8.3 d) 2)	R		R	
Montaje fuera del rango (1)	8.3 a) 1)	X		X	
Blindaje u obstrucción (2)	8.3 a) 2)				
Montaje en posición escondida (3)	8.3 a) 3)				
Prueba mediante circuito de control (4)	8.3 d) 1)				
Fijación no extraíble del actuador	8.3 c)			M	M
Fijación no extraíble del dispositivo	8.3 c)			R	R
Fijación no extraíble del dispositivo y del actuador	8.3 c)	X	M		

Sección de la ISO 14119:2024 - Table 5
Leyenda: X = está obligado a aplicar al menos una de las medidas de la columna «Principios y medidas de prevención de la elusión»; M = medida obligatoria; R = medida recomendada.

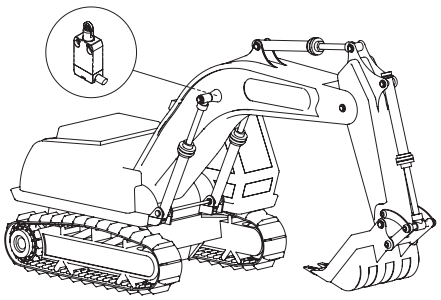
Está claro que para cumplir todos los requisitos de la norma ISO 14119, es más fácil utilizar dispositivos con tecnología RFID y un alto nivel de codificación e interruptores en forma de bisagra, ya que sólo se tienen que cumplir unos pocos requisitos para prevenir la elusión de los dispositivos.
Los dispositivos con nivel de codificación bajo o medio necesitan otros requisitos para asegurar un uso adecuado y robusto contra las manipulaciones.



(1) - Montaje fuera del rango



(2) - Blindaje u obstrucción



(3) - Montaje en posición escondida

(4) - Se puede realizar una prueba del circuito de control, por ejemplo, en una máquina en la que el ciclo de trabajo es fácilmente previsible, con el fin de verificar que al final o durante ciertas fases del ciclo de trabajo los resguardos están abiertos (por ejemplo, para retirar el material procesado o para efectuar controles de calidad). Si este sistema de control no detecta que los resguardos están abiertos, se activa una alarma y se para la máquina.

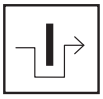
Fijación no extraíble

La fijación no extraíble es una de las soluciones presentadas por la norma para prevenir el desmontaje o el reposicionamiento de los elementos que componen el dispositivo de enclavamiento. La norma presenta algunos ejemplos de fijación no extraíble. La tercera edición, en particular, introduce formalmente **la posibilidad de utilizar tapas de cierre de la apertura de pernos y tornillos que sean extraíbles únicamente destruyéndolas.** Los ejemplos presentes en la norma son:

- soldadura;
- encolado de la rosca (lo suficientemente fuerte como para requerir al menos calor o un agente químico para ser eliminado);
- tornillos unidireccionales;
- remachado;
- desgaste de las ranuras de la cabeza del tornillo para evitar su extracción;
- relleno (con plástico, resina, **cubiertas o tapas extraíbles únicamente por destrucción** o una bola metálica) de la apertura de pernos y tornillos.

Dispositivos de bloqueo y fuerza de retención

El fabricante del dispositivo de enclavamiento con bloqueo debe garantizar que el dispositivo, durante el bloqueo, resiste como mínimo la fuerza de retención especificada F_{ZH}. Esta fuerza de retención debe ser como máximo igual que la fuerza máxima de retención dividida por un coeficiente de seguridad de 1,3.
Por ejemplo, un dispositivo con una fuerza máxima especificada de F_{ZH} =2000 N debe superar una prueba con una fuerza máxima de retención igual a F_{TEST} =2600 N.
Un dispositivo de enclavamiento con bloqueo puede proporcionar la función de supervisión de la posición del resguardo (abierto o cerrado) así como la función de bloqueo del resguardo (bloqueado/desbloqueado). Las dos funciones pueden requerir un nivel de seguridad PL diferente (según EN ISO 13849-1). Normalmente, la función de bloqueo requiere un PL inferior a la función de supervisión de la posición. (Vea punto 9.3, nota 2 de la ISO 14119:2024).
Para demostrar que un dispositivo de enclavamiento también supervisa el estado de enclavamiento, la norma requiere que el etiquetado de los productos sea como se muestra aquí al lado.



6 - Estado actual de la normativa. Motivos de cambio, nuevas normas y algunos solapamientos

Las normas «tradicionales» para la seguridad funcional, como la EN 954-1, han tenido el gran mérito de formalizar algunos principios básicos en el análisis de los circuitos de seguridad según principios deterministas. Por otro lado, no tratan en absoluto el tema de los dispositivos electrónicos programables y, en general, no están actualizadas al estado actual de la tecnología. Para introducir los dispositivos electrónicos programables en el análisis de circuitos de seguridad, el enfoque de las nuevas normas es fundamentalmente de tipo probabilístico e introduce nuevas variables estadísticas.

La norma «madre» de este enfoque es la IEC 61508, que trata de la seguridad de sistemas electrónicos programables complejos y es una norma muy extensa (dividida en 8 secciones y un total de casi 500 páginas). Esta norma también se utiliza en sectores completamente diferentes (industria química, maquinaria industrial, centrales nucleares). Esta norma introduce el concepto de SIL (Safety Integrity Level), una indicación probabilística del riesgo residual de un sistema.

De la IEC 61508 deriva la EN IEC 62061, especialmente en lo que se refiere a la seguridad de los sistemas electrónicos complejos o programables de las máquinas industriales. Los conceptos introducidos permiten su uso general para cualquier sistema de control eléctrico, electrónico y electrónico programable (se excluyen los sistemas con tecnologías no eléctricas).

La EN ISO 13849-1, desarrollado por el CEN bajo la dirección de ISO, también deriva de este enfoque probabilístico, pero intenta que la transición a los nuevos conceptos sea menos problemática para el fabricante, que está acostumbrado a los conceptos de la norma EN 954-1. La norma se aplica a los sistemas electromecánicos, hidráulicos, electrónicos «no complejos» y a algunos sistemas electrónicos programables con estructura predefinida. La EN ISO 13849-1 es una norma de tipo B1, que introduce el concepto de PL (Performance Level). Este valor, igual que el SIL, es una indicación probabilística del riesgo residual de una máquina. Esta norma indica una correlación entre SIL y PL, utiliza conceptos (como DC y CCF) tomados de IEC 61508 y establece una referencia con las categorías de seguridad de EN 954-1.

En el campo de la seguridad funcional para la seguridad de los circuitos de control, actualmente hay dos normas en vigor:
EN ISO 13849-1. Norma de tipo B1 que utiliza el concepto de PL
EN IEC 62061. Norma de tipo B1 que utiliza el concepto de SIL.

Nota importante
La EN ISO 13849-1 es una norma de tipo B1. Si existe una norma de tipo C para la máquina en cuestión, se debe utilizar esta. Algunas normas de tipo C que aun no están actualizadas se basan en los conceptos de la EN 954-1. En el caso de los fabricantes de máquinas cubiertas por una norma de tipo C, el calendario de introducción de las nuevas normas podrá variar en función de la rapidez con que los distintos comités técnicos las actualicen.

Ambas normas EN IEC 62061 y EN ISO 13849-1 se solapan bastante en su campo de aplicación y se parecen en muchos aspectos, hasta el punto de que existe una relación entre los dos nombres de símbolo diferentes (SIL y PL) que indican el resultado del análisis de acuerdo con las dos normas.

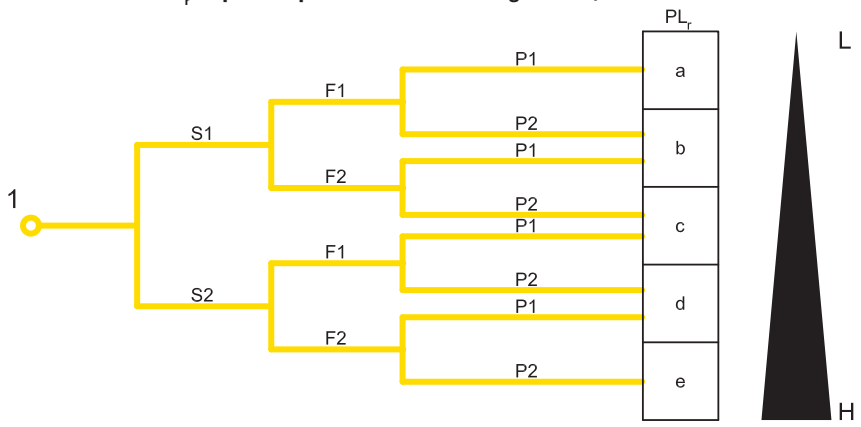
PL EN ISO 13849-1	**a**	**b**	**c**	**d**	**e**
SIL EN IEC 62061 - IEC 61508	**-**	**1**	**1**	**2**	**3**
PFH_d	de 10^{-5} a 10^{-4}	de $3x10^{-6}$ a 10^{-5}	de 10^{-6} a $3x10^{-6}$	de 10^{-7} a 10^{-6}	de 10^{-8} a 10^{-7}
Un fallo peligroso cada n.° de años	de ~1 a ~10	de ~10 a ~40	de ~40 a ~100	de ~100 a ~1000	de ~1000 a ~10000

El fabricante decide que norma se debe utilizar en función de la tecnología utilizada. Creemos que la norma EN ISO 13849-1, con su enfoque conciliador y la reutilización de conceptos ya conocidos en el mercado, es una norma de aplicación más sencilla.

7 - La norma EN ISO 13849-1 y los nuevos parámetros: PL, $MTTF_d$, DC, CCF

La norma EN ISO 13849-1 proporciona al fabricante un método iterativo para evaluar si los riesgos de una máquina se pueden limitar a un nivel residual aceptable mediante el uso de funciones de seguridad adecuadas. El método adoptado prevé un ciclo de hipótesis-análisis-validación para cada riesgo, al final del cual se puede demostrar que cada función de seguridad seleccionada es adecuada para cada riesgo.
El primer paso consiste en seleccionar el nivel de rendimiento requerido por cada función de seguridad. Igual que en la EN 954-1, la EN ISO 13849-1 también utiliza un gráfico para el análisis de riesgos del funcionamiento de una máquina (figura A.1). En vez de una categoría de seguridad, esta determina en función del riesgo un nivel de rendimiento requerido o PL_r (Required Performance Level) para la función de seguridad que protege aquella parte de la máquina.
El fabricante de la máquina responde a las preguntas S, F y P partiendo del punto 1 del gráfico, e identificará el PL_r para la función de seguridad que está estudiando. De este modo, debe desarrollar un sistema para proteger el operario de la máquina con nivel de rendimiento PL igual o mayor al requerido.

Gráfico del riesgo para determinar el PL_r requerido para la función de seguridad (sección de EN ISO 13849-1, figura A.1)



Evaluación

1 Punto de partida para la evaluación de la aportación de las funciones de seguridad a la reducción de riesgos
L Aportación baja a la reducción de riesgos
H Aportación alta a la reducción de riesgos
PL_r Nivel de rendimiento requerido

* F1 debe seleccionarse si el tiempo total de exposición al riesgo no supera 1/20 del tiempo total de funcionamiento y la frecuencia de exposición no es superior a una vez cada 15 minutos

****** Cuando no hay ningún otro motivo, se debe seleccionar F2, cuando la frecuencia de exposición es superior a una vez cada 15 minutos.

Parámetros de riesgo

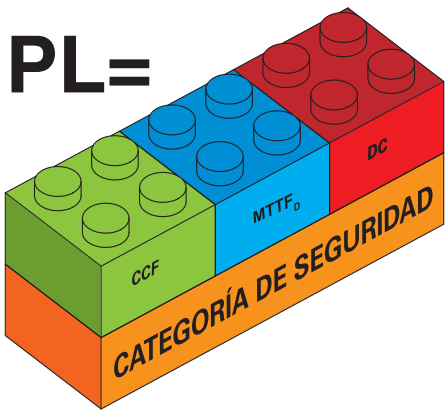
S Gravedad del daño
S1 leve (daño normalmente reversible)
S2 grave (daño normalmente irreversible o muerte)
F Frecuencia y/o exposición al riesgo
***F1** de baja a poco frecuente y/o con tiempo de exposición breve
****F2** de frecuente a continua y/o con tiempo de exposición largo
P Posibilidad de evitar el riesgo o de limitar el daño
P1 posible en ciertas condiciones
P2 casi imposible

Nota: Para algunos fabricantes de máquinas, es posible que sea interesante no tener que repetir el análisis de riesgos de la máquina sino intentar volver a utilizar la evaluación de riesgos probada de la norma EN 954-1. En general, esto no es posible ya que con la nueva norma se ha cambiado el gráfico de riesgos (vea figura precedente) y, por tanto, puede ser que los niveles de rendimiento de las funciones de seguridad requeridos hayan cambiado incluso con el mismo riesgo. En el informe 2008/2 referente a la EN ISO 13849-1, el organismo alemán BGIA recomienda que al adoptar un enfoque de «caso más desfavorable», se puede aplicar una conversión como se muestra en la tabla de al lado. Para más información, consulte el informe mencionado.

Categoría requerida en la EN 954-1		Performance Level requerido (PLr) y categoría requerida según EN ISO 13849-1
B	→	b
1	→	c
2	→	d, categoría 2
3	→	d, categoría 3
4	→	e, categoría 4

Los PLs están clasificados en cinco niveles, de PL a a PL e con aumento del riesgo respectivamente. Cada uno representa un ámbito numérico de probabilidad media de fallo peligroso por hora. Por ejemplo, el PL d indica que la probabilidad media de fallos peligrosos por hora es entre $1x10^{-6}$ y $1x10^{-7}$, o bien aprox. 1 fallo peligroso cada 100-1000 años.

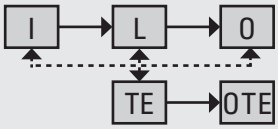
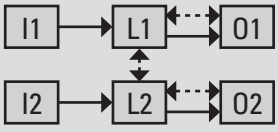
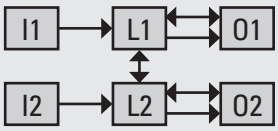
PL	Probabilidad media de fallos peligrosos por hora PFHD (1/h)		
a	$\geq 10^{-5}$	y	$< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$	y	$<10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$	y	$< 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$	y	$< 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$	y	$<10^{-7}$



Para determinar el PL de un sistema de control se requieren los siguientes parámetros:
1. La categoría de seguridad del sistema que depende de la arquitectura (estructura) del sistema de control y de su comportamiento en caso de fallo
2. $MTTF_d$ de los componentes
3. DC o cobertura de diagnóstico del sistema
4. CCF o fallos de causa común del sistema

Categoría de seguridad.
La mayoría de los circuitos de control habituales se pueden representar con una estructura de bloques lógicos de tipo:
• Input o entrada de señales
• Logic o lógica de generación de señales
• Output o salida de señal de control
conectados entre sí de forma diferente según la estructura del circuito de control.

La EN ISO 13849-1 permite cinco estructuras de circuito de base distintas, que las define como Arquitecturas Designadas del sistema. Las arquitecturas junto con los requisitos de comportamiento en caso de errores y los valores mínimos de $MTTF_d$, DC y CCF indican la categoría de seguridad del sistema de control, tal y como se puede apreciar en la siguiente tabla. Las categorías de seguridad de la EN ISO 13849-1 no son equivalentes, sino que amplían el concepto de las categorías de seguridad introducido en la norma precedente EN 954-1.

Categoría	Lista de requisitos	Comportamiento del sistema	Principios para la seguridad	$MTTF_D$ de cada canal	DC_{avg}	CCF
B	La partes relevantes para la seguridad de los sistemas de control o sus equipos de protección, así como sus accesorios, se deben diseñar, construir, seleccionar y combinar de acuerdo con las normas pertinentes para que puedan resistir las influencias previstas. Se deben utilizar principios básicos de seguridad. Arquitectura: 	Un error puede conllevar la pérdida de la función de seguridad.	Caracterizado principalmente por la selección de los componentes	Bajo o medio	Nula	No relevante
1	Se aplican los requisitos de la categoría B. Se deben utilizar componentes y principios de seguridad probados. Arquitectura: 	Un error puede conllevar la pérdida de la función de seguridad pero la probabilidad de que se produzca es inferior a la de la categoría B.	Caracterizado principalmente por la selección de los componentes	Alto	Nula	No relevante
2	Se aplican los requisitos de la categoría B y se utilizan principios de seguridad probados. El sistema de control debe comprobar la función de seguridad en intervalos de tiempo adecuados. Arquitectura: 	Un error puede conllevar la pérdida de la función de seguridad entre dos comprobaciones. La comprobación detecta la pérdida de la función de seguridad.	Caracterizado principalmente por la estructura	De bajo a alto	De bajo a medio	Vea el anexo F
3	Se aplican los requisitos de la categoría B y se utilizan principios de seguridad probados. Las partes relevantes para seguridad deben diseñarse de modo que un solo error en una de estas partes no conlleve la pérdida de la función de seguridad. Siempre y cuándo sea factible, se detectan errores individualmente. Arquitectura: 	Cuando se produce un solo error, siempre se lleva a cabo la función de seguridad. Algunos errores, pero no todos, se detectan. La acumulación de errores no detectados puede causar la pérdida de la función de seguridad.	Caracterizado principalmente por la estructura	De bajo a alto	De bajo a medio	Vea el anexo F
4	Se aplican los requisitos de la categoría B y se utilizan principios de seguridad probados. Las partes relevantes para la seguridad deben diseñarse de modo que: - un solo error en una de estas partes no provoca la pérdida de la función de seguridad, y - un solo error se detecta durante la siguiente solicitud de la función de seguridad o antes de esta. Si esto no es posible, la acumulación de errores no debe causar la pérdida de la función de seguridad. Arquitectura: 	Cuando se produce un solo error, siempre se lleva a cabo la función de seguridad. La detección de los errores acumulados reduce la probabilidad de perder la función de seguridad (DC alto). Los errores se detectan a tiempo para prevenir la pérdida de la función de seguridad.	Caracterizado principalmente por la estructura	Alto	Alto (incluyendo la acumulación de errores)	Vea el anexo F

$MTTF_d$ ("Mean Time To Dangerous Failure", tiempo medio hasta el fallo peligroso).
Con este parámetro se define la calidad funcional de los componentes del sistema mediante la durabilidad media en años antes de que se produzca el fallo peligroso (no se tienen en cuenta otros fallos). El cálculo del $MTTF_d$ se basa en los valores numéricos proporcionados por los fabricantes de los componentes individuales que forman el sistema. En caso de que falten estos datos, se pueden adoptar los valores orientativos de las tablas proporcionados en la norma (anexo C de la EN ISO 13849-1). La evaluación tiene como resultado un valor numérico, dividido en tres categorías: Alto, medio o bajo.

Clasificación	Valores
Inaceptable	$MTTF_d$< 3 años
Bajo	3 años ≤ $MTTF_d$< 10 años
Medio	10 años ≤ $MTTF_d$< 30 años
Alto	30 años ≤ $MTTF_d$ ≤ 100 años

En el caso de componentes sujetos al desgaste (típicamente dispositivos mecánicos o hidráulicos, el fabricante del componente proporcionará, además del $MTTF_d$ del componente, el dato B_{10D} del componente, o bien el número de operaciones del componente cuyo 10% de las muestras se dañaron peligrosamente.
El fabricante de la máquina debe convertir el B_{10D} del componente en el $MTTF_d$ mediante esta fórmula:

$$MTTF_D = \frac{B_{10_D}}{0{,}1 \cdot n_{op}}$$

n_{op}= número de operaciones por año del componente.
Suponiendo la frecuencia de uso diario y el número de horas laborales diarias de la máquina n_{op}, se puede calcular:

$$n_{op} = \frac{d_{op} \cdot h_{op} \cdot 3600s/h}{t_{ciclo}}$$

donde
d_{op} = días laborales por año
h_{op} = horas laborales por día
t_{ciclo} = tiempo de ciclo (s)

En el caso de componentes sujetos al desgaste, también se debe tener en cuenta que el parámetro $MTTF_d$ no depende solo del componente sino también de la aplicación. Un dispositivo electromecánico con baja frecuencia de uso, por ejemplo un contactor que se usa solamente para los paros de emergencia, tendrá un $MTTF_d$ elevado mientras que si el mismo dispositivo se utiliza también para las operaciones de ciclo normales, el $MTTF_d$ del mismo interruptor remoto puede disminuir drásticamente.

Todos los elementos del circuito de control contribuyen en el cálculo del $MTTF_d$ del circuito según su estructura. En los circuitos con arquitectura monocanal (como en las categorías B, 1 y 2), la aportación de cada parte es lineal y el $MTTF_d$ del canal se calcula como sigue:

$$\frac{1}{MTTF_D} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{MTTF_{D\ i}}$$

Para evitar interpretaciones demasiado optimistas, el valor máximo del $MTTF_d$ de cada canal está limitado a 100 años (para las categorías B, 1, 2 y 3) o a 2500 años (categoría 4). No se permiten canales con un $MTTF_d$ inferior a 3 años.

En el caso de sistemas con dos canales (categorías 3 y 4), el cálculo del $MTTF_d$ del circuito se obtiene a partir del promedio de los $MTTF_d$ de los dos canales, utilizando la siguiente fórmula:

$$MTTF_D = \frac{2}{3}\left[MTTF_{DC1} + MTTF_{DC2} - \frac{1}{\frac{1}{MTTF_{DC1}} + \frac{1}{MTTF_{DC2}}}\right]$$

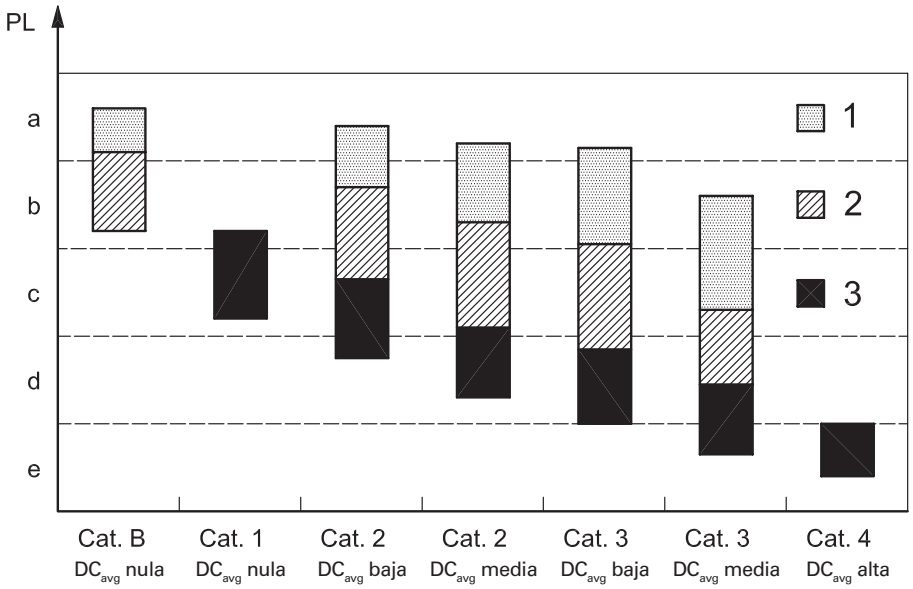
DC ("Diagnostic Coverage", cobertura de diagnóstico).

Este parámetro indica hasta qué punto el sistema es capaz de «autocontrolar» una posible avería. Según el porcentaje de fallos peligrosos detectados por el sistema, la cobertura de diagnóstico será más o menos buena. El parámetro numérico DC es un valor porcentual que se calcula mediante los valores proporcionados en una tabla (anexo E de la EN ISO 13849-1) en función de las medidas adoptados por el fabricante para detectar anomalías en el circuito. Dado que, en general, se adoptan varias medidas para detectar anomalías en el mismo circuito, al final se calcula un valor medio o DC_{avg}, clasificado en cuatro niveles:
Alta $DC_{avg} \geq 99\%$
Media $90\% \leq DC_{avg} < 99\%$
Baja $60\% \leq DC_{avg} < 90\%$
Nula $DC_{avg} < 60\%$
La cobertura de diagnóstico Nula solo se permite en sistemas con arquitectura B o 1.

CCF ("Common Cause Failures", Fallos de causa común)
En los sistemas de categoría 2, 3 o 4 para el cálculo del PL es necesario también la evaluación de las posibles causas de fallo comunes o CCF, que pueden afectar a la redundancia de los sistemas. La evaluación se lleva a cabo mediante una check list (anexo F de la EN ISO 13849-1) que, según el tipo de soluciones adoptadas contra las causas de fallo comunes, da como resultado una puntuación de 0 a 100. El valor mínimo permitido para las categorías 2, 3 y 4 es de 65 puntos.

PL ("Performance Level")
Tras observar estos datos, la norma EN ISO 13849-1 proporciona el PL del sistema a través de una tabla de correlación (anexo K de la EN ISO 13849-1) o en forma simple y gráfica (punto 4.5 de la EN ISO 13849-1) mediante la siguiente figura:

Relaciones entre las categorías, DC_{avg}, $MTTF_d$ de cada canal y PL (sección de EN ISO 13849-1, figura 5)



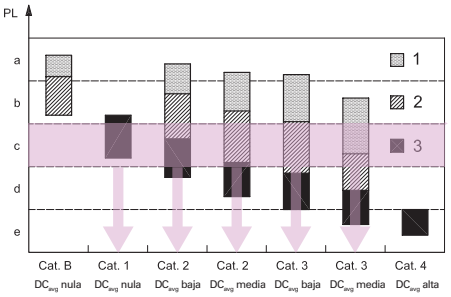
1 = $MTTF_d$ de cada canal bajo (3 años ≤ $MTTF_d$ < 10 años)

2 = $MTTF_d$ de cada canal medio (10 años ≤ $MTTF_d$ < 30 años)

3 = $MTTF_d$ de cada canal alto (30 años ≤ $MTTF_d$ ≤ 100 años)

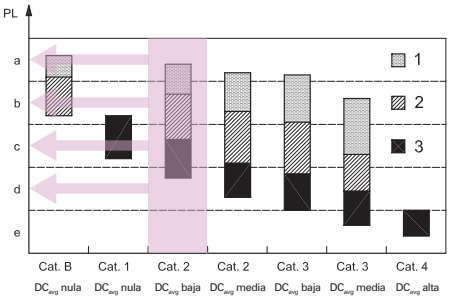
Esta figura es muy útil porque tiene múltiples posibilidades de lectura. Para un PL_r determinado, muestra todas las soluciones posibles con las que se puede alcanzar este PL o estructuras de circuito posibles que proporcionan el mismo PL.

Por ejemplo, observando la figura se puede ver como para obtener un sistema con PL igual a «c» son posibles las siguientes soluciones:
1. Sistema en categoría 3 con componentes menos fiables ($MTTF_d$=bajo) y DC media.
2. Sistema en categoría 3 con componentes fiables ($MTTF_d$=medio) y DC baja.
3. Sistema en categoría 2 con componentes fiables ($MTTF_d$=medio) y DC media.
4. Sistema en categoría 2 con componentes fiables ($MTTF_d$=medio) y DC baja.
5. Sistema en categoría 1 con componentes muy fiables ($MTTF_d$=alto).



Al observar una estructura de circuito determinada, se puede detectar el máximo nivel PL alcanzable en función de la cobertura de diagnóstico media y el $MTTF_d$ de los componentes.
Por lo tanto, el fabricante puede excluir a priori algunas estructuras de circuito porque no son adecuadas para el PL_r requerido.

Pero, normalmente, no se utiliza esta figura para detectar el PL del sistema, porque, en muchos casos, las áreas del gráfico se superponen a las líneas límite de los diferentes niveles PL. Por el contrario, se utiliza la tabla del anexo K de la EN ISO 13849-1 para determinar el PL del circuito con precisión.



Notas

Tabla de parámetros de seguridad

Los datos B_{10D} indicados en la tabla se refieren a la durabilidad mecánica de los contactos de los dispositivos en condiciones ambientales normales. El valor de di B_{10D} para los contactos NC y NO se refiere a una carga eléctrica máxima del 10% del valor de corriente indicado en las categorías de empleo. Mission time (para todos los artículos indicados a continuación): 20 años.

Dispositivos electromecánicos

Serie	Descripción artículo	B_{10D} (NO)	B_{10D} (NC)	B_{10}/B_{10D}
F• ••••	Interruptores de posición	1.000.000	40.000.000	50%
F• ••93 F• ••92	Interruptores de seguridad con actuador separado	1.000.000	2.000.000	50%
F• ••99 F• ••R2	Interruptores de seguridad con actuador separado y enclavamiento	1.000.000	1.000.000	50%
FG, FY	Interruptores de seguridad con actuador separado y enclavamiento	1.000.000	5.000.000	20%
FS	Interruptores de seguridad con actuador separado y enclavamiento	1.000.000	4.000.000	20%
F• ••96 F• ••95	Interruptores de seguridad con perno para bisagras	1.000.000	5.000.000	20%
F• ••C•	Interruptores de seguridad con palanca de ranura ovalada para resguardos batientes	1.000.000	2.000.000	50%
F• ••••	Interruptores por cable para paro de emergencia	100.000	200.000	50%
HP - HX B•22-•••	Bisagras de seguridad	1.000.000	5.000.000	20%
SR	Sensores magnéticos de seguridad (utilizados con módulos de seguridad Pizzato Elettrica compatibles)	20.000.000	20.000.000	50%
SR	Sensores magnéticos de seguridad (utilizados con carga máxima: DC12 24V 250mA)	400.000	400.000	100%
PX, PA	Interruptores de pedal	1.000.000	20.000.000	50%
MK	Microinterruptores de posición	1.000.000	20.000.000	50%
NA B•• - NA G•• - NA H•• - NA L•• NB B•• - NB G•• - NB H•• - NB L•• NF B•• - NF G•• - NF H•• - NF L••	Interruptores de posición precableados modulares	1.000.000	40.000.000	50%
NA C•• - NB C•• - NF C••	Interruptores de posición precableados modulares	1.000.000	10.000.000	50%
E2 C•••••••	Bloques de contactos	1.000.000	40.000.000	50%

Serie	Descripción artículo	B_{10D}	B_{10}/B_{10D}
E2 •PU1••••••, E2 •PL1••••••	Pulsadores simples estables	2.000.000	50%
E2 •PU2••••••, E2 •PL2••••••	Pulsadores simples, por impulso	30.000.000	50%
E2 •PD••••••, E2 •PT••••••	Pulsadores dobles y triples	2.000.000	50%
E2 •PQ••••••	Pulsadores cuádruples	2.000.000	50%
E2 •PE••••••	Pulsadores de emergencia	600.000	50%
VN NG-AC2605•	Pulsadores de emergencia integrados en los dispositivos de las series NG, NS, BN	100.000	50%
E2 •SE••••••, E2 •SL••••••	Selectores y selectores luminosos	2.000.000	50%
E2 •SC••••••	Selectores por llave	600.000	50%
E2 •MA••••••	Joysticks	2.000.000	50%

Serie ATEX	Descripción artículo	B_{10D} (NO)	B_{10D} (NC)	B_{10}/B_{10D}
F• ••••-EX•	Interruptores de posición	500.000	20.000.000	50%
F• ••93-EX•	Interruptores de seguridad con actuador separado	500.000	1.000.000	50%
F• ••99-EX• F• ••R2-EX•	Interruptores de seguridad con actuador separado y enclavamiento	500.000	500.000	50%
F• ••96-EX• F• ••95-EX•	Interruptores de seguridad con perno para bisagras	500.000	2.500.000	20%
F• ••C•-EX•	Interruptores de seguridad con palanca de ranura ovalada para resguardos batientes	500.000	1.000.000	50%
F• ••••-EX•	Interruptores por cable para paro de emergencia	500.000	1.000.000	50%

Dispositivos electrónicos

Código/serie	Descripción artículo	$MTTF_d$	DC	PFH_d	SIL	PL	Cat.
HX BEE1-•••	Bisagras de seguridad con unidad electrónica	2413	High	1,24E-09	3	e	4
ST D••••••	Sensores de seguridad con tecnología RFID	4077	High	1,20E-11	3	e	4
ST G••••••, ST H••••••	Sensores de seguridad con tecnología RFID	1551	High	1,19E-09	3	e	4
NG	Interruptores de seguridad RFID con bloqueo						
	Función de supervisión del actuador bloqueado - Modo 1	2968	High	1,15E-09	3	e	4
	Función de supervisión de la presencia del actuador - Modo 2	3946	High	1,15E-09	3	e	4
	Función de supervisión del actuador bloqueado - Modo 3	2957	High	1,48E-09	2	d	2
	Función de supervisión de la presencia del actuador - Modo 3	3927	High	1,48E-09	2	d	2
	Control de la función de bloqueo del actuador por doble canal	4011	High	1,51E-10	3	e	4
	Control de la función de bloqueo del actuador por un solo canal	4011	High	1,51E-10	2	d	2
NS	Interruptores de seguridad RFID con bloqueo						
	Función de supervisión del actuador bloqueado - Modo 1	2657	High	1,23E-09	3	e	4
	Función de supervisión de la presencia del actuador - Modo 2	1840	High	1,22E-09	3	e	4
	Función de supervisión del actuador bloqueado - Modo 3	2627	High	1,50E-09	2	d	2
	Función de supervisión de la presencia del actuador - Modo 3	3987	High	1,49E-09	2	d	2
	Control de la función de bloqueo del actuador por doble canal	2254	High	2,04E-10	3	e	4
	Control de la función de bloqueo del actuador por un solo canal	2254	High	2,04E-10	2	d	2
NX	Interruptores de seguridad RFID con bloqueo						
	Función de supervisión del actuador bloqueado - Modo 1	1688	High	3,07E-10	3	e	4
	Función de supervisión de la presencia del actuador - Modo 2	1694	High	3,07E-10	3	e	4
	Control de la función de bloqueo del actuador por doble canal	1639	High	2,82E-10	3	e	4
	Control de la función de bloqueo del actuador por un solo canal	1639	High	2,82E-10	2	d	2

Dispositivos electrónicos

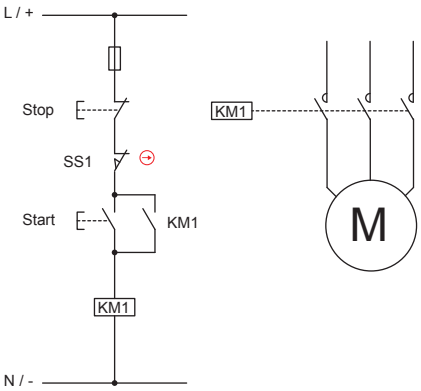
Código/serie	Descripción artículo	$MTTF_d$	DC	PFH_d	SIL	PL	Cat.
CS AM-01	Módulo de seguridad para la detección de motor parado	218	Medium	8,70E-09	2	d	3
CS AM••							
SF1 (standstill)	Detección de motor parado	70	High	1,00E-09	3	e	4
SF2 (speed)	Detección de la velocidad del motor	70	High	1,00E-09	3	e	4
SF3 (rotation)	Detección de sentido de rotación del motor	67	High	2,06E-08	2	d	2
SF2 + SF3 (speed & rotation)	Detección de velocidad del motor y sentido de rotación	67	High	2,06E-08	2	d	2
SF2 + SF3 (dual speed)	Detección de velocidad del motor (dual range)	67	High	2,06E-08	2	d	2
CS AR-01, CS AR-02	Módulos de seguridad para el control de resguardos y paros de emergencia	227	High	1,18E-10	3	e	4
CS AR-04	Módulo de seguridad para el control de resguardos y paros de emergencia	152	High	1,84E-10	3	e	4
CS AR-05, CS AR-06	Módulos de seguridad para el control de resguardos, paros de emergencia y barreras ópticas	152	High	1,84E-10	3	e	4
CS AR-07	Módulo de seguridad para el control de resguardos y paros de emergencia	111	High	7,56E-10	3	e	4
CS AR-08	Módulo de seguridad para el control de resguardos, paros de emergencia y barreras ópticas	1547	High	9,73E-11	3	e	4
CS AR-20, CS AR-21	Módulos de seguridad para el control de resguardos y paros de emergencia	225	High	4,18E-10	3	e	3
CS AR-22, CS AR-23	Módulos de seguridad para el control de resguardos y paros de emergencia	151	High	5,28E-10	3	e	3
CS AR-24, CS AR-25	Módulos de seguridad para el control de resguardos y paros de emergencia	113	High	6,62E-10	3	e	3
CS AR-40, CS AR-41	Módulos de seguridad para el control de resguardos y paros de emergencia	225	High	4,18E-10	2	d	2
CS AR-46	Módulo de seguridad para el control de resguardos y paros de emergencia	435	-	3,32E-08	1	c	1
CS AR-51	Módulo de seguridad para el control de alfombras y bordes de seguridad	212	High	3,65E-09	3	e	4
CS AR-90	Módulo de seguridad para el control de nivelación de los ascensores	382	High	5,03E-10	3	e	4
CS AR-91	Módulo de seguridad para el control de nivelación de los ascensores	227	High	1,18E-10	3	e	4
CS AR-93	Módulo de seguridad para el control de nivelación de los ascensores	227	High	1,34E-10	3	e	4
CS AR-94	Módulo de seguridad para el control de nivelación de los ascensores	227	High	1,13E-10	3	e	4
CS AR-95	Módulo de seguridad para el control de nivelación de los ascensores	213	High	5,42E-09	3	e	4
CS AT-0•, CS AT-1•	Módulos de seguridad temporizados para el control de resguardos y paros de emergencia	88	High	1,23E-08	3	e	4
CS AT-3•	Módulo de seguridad temporizado para el control de resguardos y paros de emergencia	135	High	1,95E-09	3	e	4
CS DM-01	Módulo de seguridad para el control de mandos bimanuales	142	High	2,99E-08	3	e	4
CS DM-02	Módulo de seguridad para el control de mandos bimanuales	206	High	2,98E-08	3	e	4
CS DM-20	Módulo de seguridad para el control de mandos bimanuales	42	-	1,32E-06	1	c	1
CS FS-1•	Módulo de seguridad temporizado	404	High	5,06E-10	3	e	4
CS FS-2•, CS FS-3•	Módulos de seguridad temporizados	205	High	1,10E-08	2	d	3
CS FS-5•	Módulo de seguridad temporizado	379	Medium	1,31E-09	2	d	3
CS ME-01	Módulo de ampliación con contactos	91	High	5,26E-10	①	①	①
CS ME-02	Módulo de ampliación con contactos	114	High	4,17E-10	①	①	①
CS ME-03	Módulo de ampliación con contactos	152	High	3,09E-10	①	①	①
CS ME-20	Módulo de ampliación con contactos	114	High	6,14E-10	①	①	①
CS ME-31	Módulo de ampliación con contactos	110	High	4,07E-09	①	①	①
CS M•201	Módulos de seguridad multifuncionales	135	High	1,44E-09	3	e	4
CS M•202	Módulos de seguridad multifuncionales	614	High	1,32E-09	3	e	4
CS M•203	Módulos de seguridad multifuncionales	103	High	1,61E-09	3	e	4
CS M•204	Módulos de seguridad multifuncionales	134	High	1,52E-09	3	e	4
CS M•205	Módulos de seguridad multifuncionales	373	High	2,19E-09	3	e	4
CS M•206	Módulos de seguridad multifuncionales	3314	High	1,09E-09	3	e	4
CS M•207	Módulos de seguridad multifuncionales	431	High	7,08E-09	3	e	4
CS M•208	Módulos de seguridad multifuncionales	633	High	7,02E-09	3	e	4
CS M•301	Módulos de seguridad multifuncionales	128	High	1,88E-09	3	e	4
CS M•302	Módulos de seguridad multifuncionales	535	High	1,57E-09	3	e	4
CS M•303	Módulos de seguridad multifuncionales	485	High	1,76E-09	3	e	4
CS M•304	Módulos de seguridad multifuncionales	98	High	2,05E-09	3	e	4
CS M•305	Módulos de seguridad multifuncionales	535	High	1,57E-09	3	e	4
CS M•306	Módulos de seguridad multifuncionales	100	High	1,86E-09	3	e	4
CS M•307	Módulos de seguridad multifuncionales	289	High	8,38E-09	3	e	4
CS M•308	Módulos de seguridad multifuncionales	548	High	7,27E-09	3	e	4
CS M•309	Módulos de seguridad multifuncionales	496	High	7,46E-09	3	e	4
CS M•310	Módulos de seguridad multifuncionales	288	High	3,46E-09	3	e	4
CS M•311	Módulos de seguridad multifuncionales	363	High	7,52E-09	3	e	4
CS M•312	Módulos de seguridad multifuncionales	380	High	8,20E-09	3	e	4
CS M•401	Módulos de seguridad multifuncionales	434	High	1,73E-09	3	e	4
CS M•402	Módulos de seguridad multifuncionales	478	High	7,24E-09	3	e	4
CS M•403	Módulos de seguridad multifuncionales	438	High	7,42E-09	3	e	4
CS M•406	Módulos de seguridad multifuncionales	473	High	1,54E-09	3	e	4

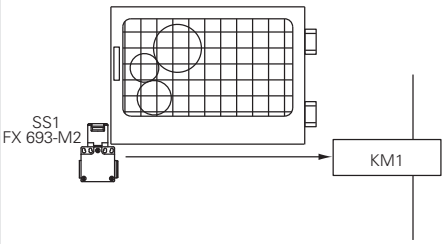
B_{10D}: Número de operaciones para que el 10% de los componentes fallen peligrosamente
B_{10}: Número de operaciones para que el 10% de los componentes fallen
B_{10}/B_{10D}: Relación entre fallos totales y fallos peligrosos.
$MTTF_d$: «Mean Time To Failure Dangerous» (tiempo medio hasta el fallo peligroso) indicado en años
DC: «Diagnostic coverage» (cobertura de diagnóstico)
PFH_d: «Probability of Dangerous Failure per Hour» (probabilidad de fallo peligroso por hora)
SIL CL: Safety Integrity Level Claim Limit. SIL máximo alcanzable según EN IEC 62061
PL: Performance Level. PL según EN ISO 13849-1

① = Dependiendo del módulo base

EJEMPLO 1
Aplicación: Supervisión de resguardos

Norma de referencia EN ISO 13849-1	
Categoría de seguridad	**1**
Performance Level	**PL c**





Descripción de la función de seguridad
El circuito de control en la figura sirve para supervisar el resguardo. Si el resguardo está abierto, no se debe arrancar el motor. El análisis de riesgos ha demostrado que el sistema no tiene inercia, es decir, que el motor, una vez que se haya cortado la alimentación, se detiene mucho más rápido que lo que tarda en abrirse el resguardo. El análisis de riesgos ha mostrado que el objetivo requerido PL_r es PL c. Se debe comprobar si el circuito de control con estructura monocanal tiene un PL mayor o igual a PL_r.
El interruptor con actuador SS1, que actúa directamente en el contactor KM1, detecta la posición del resguardo. El contactor KM1, que controla los elementos en movimiento, se acciona normalmente con los pulsadores Start y Stop. Sin embargo, el análisis del ciclo de funcionamiento ha demostrado que la puerta de seguridad también se abre en cada ciclo de funcionamiento. Como resultado, el número de operaciones del contactor y del interruptor de seguridad puede considerarse el mismo.
La estructura del circuito es monocanal sin supervisión (categoría B o 1) si solo tiene los componentes de Input (interruptor) y Ouput (contactor).
La función de seguridad no se mantiene cuando se produce un fallo en uno de los dispositivos.
No se aplican medidas para detectar fallos.

Datos de los dispositivos:
- El SS1 (FX 693-M2) es un interruptor con apertura positiva (según EN 60947-5-1, anexo K). El interruptor es un dispositivo bien probado de acuerdo con la tabla D.4 de la EN ISO 13849-2. El fabricante pone a disposición el valor del B_{10D} del dispositivo y es de 2.000.000 operaciones.
- El KM1 es un contactor con carga asignada y un componente bien probado de acuerdo con la tabla D.4 de la EN ISO 13849-2. El valor de B_{10D} es de 1.300.000 operaciones. Este valor se ha adoptado de la tabla C.1 de la norma EN ISO 13849-1.

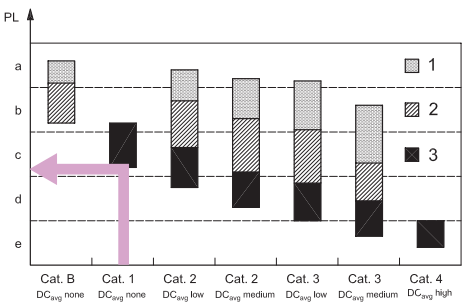
Hipótesis de frecuencia de uso
- Se supone que la máquina se utilizará durante un máximo de 365 días al año, en tres turnos de 8 horas y con una duración de ciclo de 600 segundos. El número de operaciones del interruptor por año es, por lo tanto, igual a N_{op} = (365x24x3.600)/600 = 52.560.
- Se supone que se acciona el pulsador de inicio cada 300 segundos. El número de operaciones al año es entonces n_{op}/año = 105.120
- El contactor KM1 se acciona tanto en el inicio-stop normal de la máquina como en el rearme tras la apertura de un resguardo. n_{op}/año = 52.560+105.120 = 157.680

Cálculo $MTTF_d$
El $MTTF_d$ del interruptor SS1 es igual a: $MTTF_d = B_{10D} /(0,1 \times n_{op})$ = 2000000/(0,1 x 52560) = 381 años
El $MTTF_d$ del contactor KM1 es igual a: $MTTF_d = B_{10D} /(0,1 \times n_{op})$ = 1.300.000/(0,1 x 157680) = 82 años
Como resultado, el $MTTF_d$ del circuito monocanal es igual a: 1/(1/381+1/82) = 67 años

Cobertura de diagnóstico DCavg
No se aplican medidas para detectar fallos y, por eso, la cobertura de diagnóstico es nula, lo que es un valor permitido para el circuito que se está diagnosticando y que está en la categoría 1.

Fallos de causa común CCF
Para un circuito de categoría 1, no es necesario calcular el parámetro CCF.

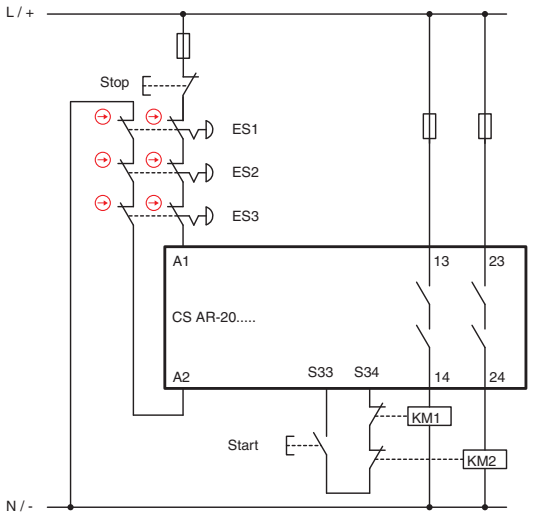
Determinación del PL
A partir de la tabla o figura 5 de la norma, se puede ver que para un circuito de categoría 1 con $MTTF_d$=95 años el PL resultante del circuito de control es PL c. Con ello, se alcanza el PL_r objetivo.

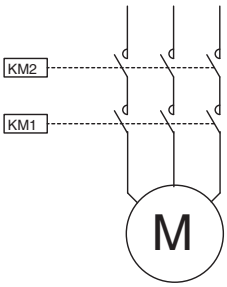


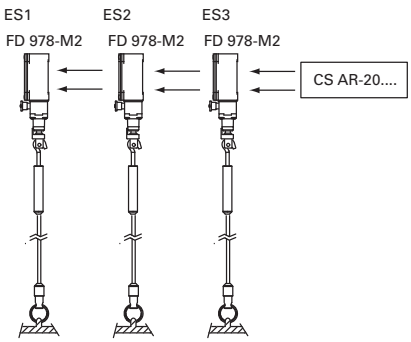
Cualquier información o ejemplo de aplicación, incluyendo los esquemas de conexiones, que se muestran en este documento, tienen un objetivo puramente descriptivo.
Es responsabilidad del usuario asegurarse de que los productos se seleccionen y utilicen conforme a lo prescrito en las normas, para no causar daños materiales o personales.

EJEMPLO 2
Aplicación: Supervisión de paros de emergencia

Norma de referencia EN ISO 13849-1	
Categoría de seguridad	**3**
Performance Level	**PL e**







Descripción de la función de seguridad
El accionamiento de uno de los dispositivos de emergencia activa la intervención del módulo de seguridad y de los contactores KM1 y KM2.
El módulo de seguridad CS lee redundantemente la señal de los dispositivos ES1, ES2 y ES3. El CS supervisa incluso a los contactores KM1 y KM2 (con contactos guiados forzados) mediante el circuito de retorno.

Datos de los dispositivos:
- ES1, ES2, ES3 (FD 978-M2) son interruptores por cable para paros de emergencia con apertura positiva. El valor de B_{10D} es 2.000.000
- KM1, KM2 son contactores utilizados con carga asignada. El valor B_{10D} es 1.300.000 (vea tabla C.1 de la EN ISO 13849-1)
- CS es un módulo de seguridad (CS AR-20) con $MTTF_d$=225 años y DC= High
- El circuito está estructurado con dos canales de categoría 3

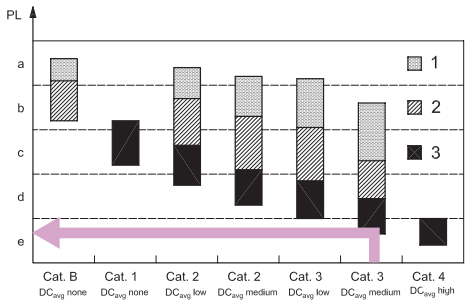
Hipótesis de frecuencia de uso
- 2 veces al mes nop/año = 24
- Accionamiento del pulsador de inicio: 4 veces al día
- Se suponen 365 días laborables, los contactos conmutan 4 x 365 + 24 = 1484 veces/año
- Los interruptores se accionarán con la misma frecuencia.
- No se prevé que se pulsen varios pulsadores a la misma vez.

Cálculo $MTTF_d$
- $MTTF_{d\ ES1,ES2,ES3}$ = 833.333 años
- $MTTF_{d\ KM1,KM2}$ = 8760 años
- $MTTF_{d\ CS}$ = 225 años
- $MTTF_{d\ ch1}$ =219 años. El valor está limitado a 100 años. Los canales son simétricos, por eso $MTTF_d$ = 100 años (High)

Cobertura de diagnóstico DC_{avg}
- Los contactos de KM1 y KM2 están supervisados por el CS mediante el circuito de retorno. DC = 99% (High)
- El módulo de seguridad CS AR-20 tiene una cobertura de diagnóstico High.
- En los dispositivos de emergencia, no se pueden detectar todos los fallos. La cobertura de diagnóstico es del 90% (Medium)

Fallos de causa común CCF
Se supone un valor > 65 (en base al anexo F de la EN ISO 13849-1).

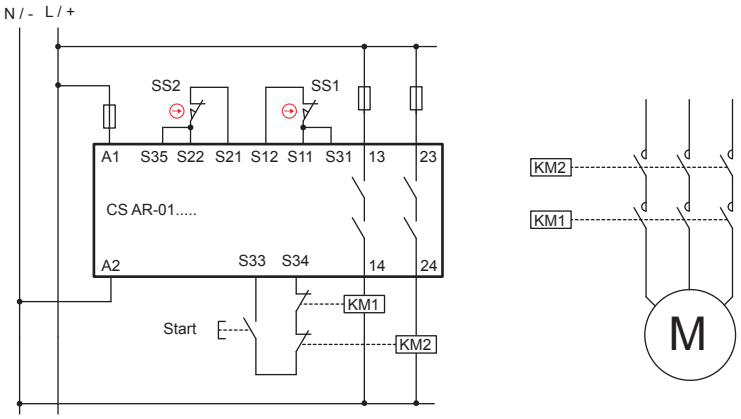
Determinación del PL
Un circuito de categoría 3 con $MTTF_d$ = High y DC_{avg} = High puede alcanzar un PL e.

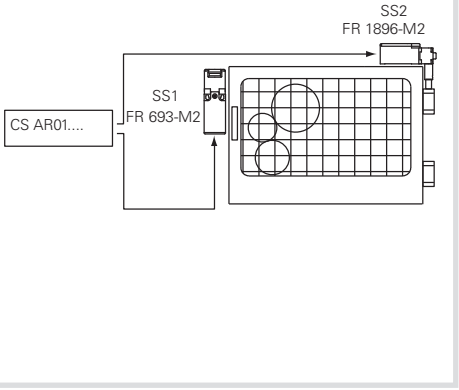


Cualquier información o ejemplo de aplicación, incluyendo los esquemas de conexiones, que se muestran en este documento, tienen un objetivo puramente descriptivo.
Es responsabilidad del usuario asegurarse de que los productos se seleccionen y utilicen conforme a lo prescrito en las normas, para no causar daños materiales o personales.

EJEMPLO 3
Aplicación: Supervisión de resguardos

Norma de referencia EN ISO 13849-1	
Categoría de seguridad	**4**
Performance Level	**PL e**





Descripción de la función de seguridad
La apertura del resguardo provoca la intervención de los interruptores SS1 y SS2 y, de este modo, del módulo de seguridad y de los dos contactores KM1 y KM2.
El módulo de seguridad CS controla redundantemente la señal de los dispositivos SS1 y SS2.
Los interruptores tienen principios de funcionamiento distintos.
El CS supervisa incluso a los contactores KM1 y KM2 (con contactos guiados forzados) mediante el circuito de retorno.

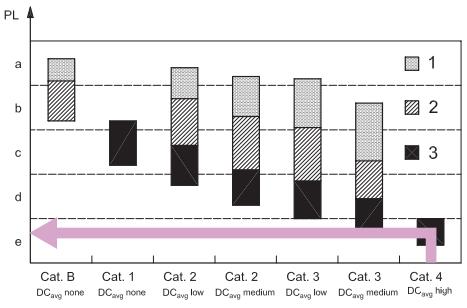
Datos de los dispositivos:
- SS1 (FR 693-M2) es un interruptor con apertura positiva. El valor de B_{10D} es 2.000.000
- SS2 (FR 1896-M2) es un interruptor para bisagras con apertura positiva. B_{10D} = 5.000.000
- KM1, KM2 son contactores utilizados con carga asignada. B_{10D} = 1.300.000 (vea tabla C.1 de la EN ISO 13849-1)
- CS son módulos de seguridad (CS AR-01) con $MTTF_d$ = 227 años y DC = High

Hipótesis de frecuencia de uso
365 días/año, 16 h/día, 1 intervención cada 4 minutos (240 s). n_{op}/año = 87.600.

Cálculo $MTTF_d$
- $MTTF_{d\ SS1}$ = 228 años
- $MTTF_{d\ SS2}$ = 571 años
- $MTTF_{d\ KM1,KM2}$ = 148 años
- $MTTF_{d\ CS}$= 227 años
- $MTTF_{d\ CH1}$ = 64 años (SS1,CS,KM1)
- $MTTF_{d\ CH2}$ = 77 años (SS2,CS,KM2)
- $MTTF_d$: la simetría de los dos canales da como resultado $MTTF_d$ = 70,7 años (High)

Cobertura de diagnóstico DC_{avg}
- SS1 y SS2 tienen DC=99%, ya que los contactos de SS1 y SS2 están supervisados por CS y tienen diferentes principios de funcionamiento.
- Los contactos de KM1 y KM2 están supervisados por el CS mediante el circuito de retorno. DC = 99% (High)
- CS AR-01 dispone de un circuito redundante y de función de autocontrol. DC = High
- DC_{avg} = High

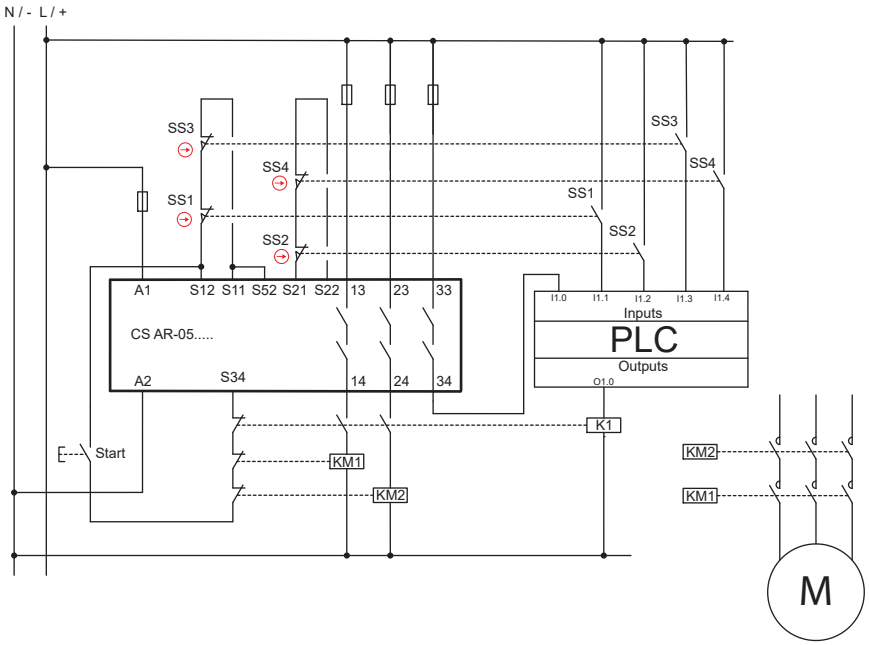
Determinación del PL
Un circuito de categoría 4 con $MTTF_d$ = 72,1 años y DC_{avg} = High corresponde a un PL e.

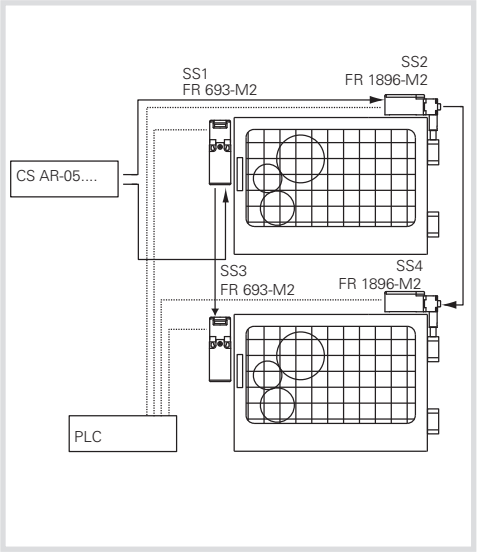


Cualquier información o ejemplo de aplicación, incluyendo los esquemas de conexiones, que se muestran en este documento, tienen un objetivo puramente descriptivo.
Es responsabilidad del usuario asegurarse de que los productos se seleccionen y utilicen conforme a lo prescrito en las normas, para no causar daños materiales o personales.

EJEMPLO 4
Aplicación: Supervisión de resguardos

Norma de referencia	EN ISO 13849-1
Categoría de seguridad	4
Performance Level	PL e





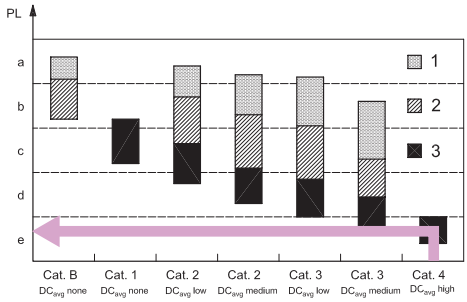
Descripción de la función de seguridad
La apertura de un resguardo provoca la intervención de los interruptores SS1 y SS2 en el primer resguardo y SS3 y SS4 en el segundo resguardo. Los interruptores provocan la intervención del módulo de seguridad y los dos contactores KM1 y KM2.
El módulo de seguridad CS controla redundantemente la señal de los dispositivos SS1, SS2 y SS3, SS4, y el PLC supervisa un contacto auxiliar de los interruptores.
Los interruptores tienen principios de funcionamiento distintos.
El CS supervisa incluso a los contactores KM1 y KM2 (con contactos guiados forzados) mediante el circuito de retorno.

Datos de los dispositivos:
- SS1, SS3 (FR 693-M2) son interruptores con apertura positiva. El valor de B_{10D} es 2.000.000
- SS2, SS4 (FR 1896-M2) son interruptores para bisagras con apertura positiva. B_{10D} = 5.000.000
- KM1, KM2 son contactores utilizados con carga asignada. El valor B_{10D} es 1.300.000 (vea tabla C.1 de la EN ISO 13849-1)
- CS es un módulo de seguridad (CS AR-05) con $MTTF_d$=152 años y DC= High

Hipótesis de frecuencia de uso
- 4 veces por hora por 24 horas/día por 365 días/año son n_{op}/año = 35.040
- Los contactores intervienen con frecuencia doble = 70.080

Cálculo $MTTF_d$
- $MTTF_{d\ SS1,SS3}$ = 571 años; $MTTF_{d\ SS2,SS4}$ = 1.427 años
- $MTTF_{d\ KM1,KM2}$ = 185 años
- $MTTF_{d\ CS}$ = 152 años
- $MTTF_{d\ Ch1}$ = 73 años (SS1, CS, KM1)/(SS3, CS, KM1)
- $MTTF_{d\ Ch2}$ = 79 años (SS2, CS, KM2)/(SS4, CS, KM2)
- $MTTF_d$: la simetría de los dos canales da como resultado $MTTF_d$ = 76 años (High)

Cobertura de diagnóstico DC_{avg}
- Los contactos de KM1, KM2 están supervisados por el CS mediante el circuito de retorno. DC = 99%
- El PLC supervisa todos los contactos auxiliares de los interruptores. DC = 99%
- El módulo CS AR-05 tiene una DC = High
- La cobertura de diagnóstico de ambos canales es del 99% (High)



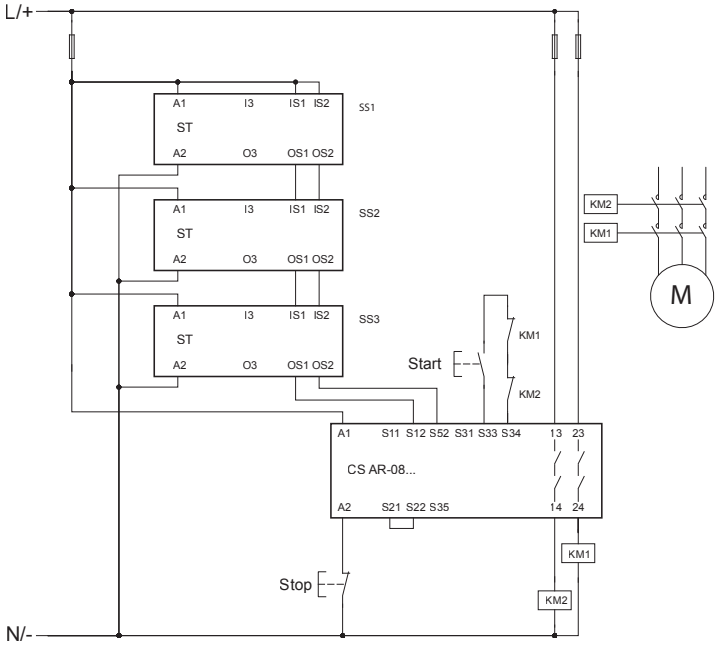
Fallos de causa común CCF
- Se supone un valor > 65 (en base al anexo F de la EN ISO 13849-1).

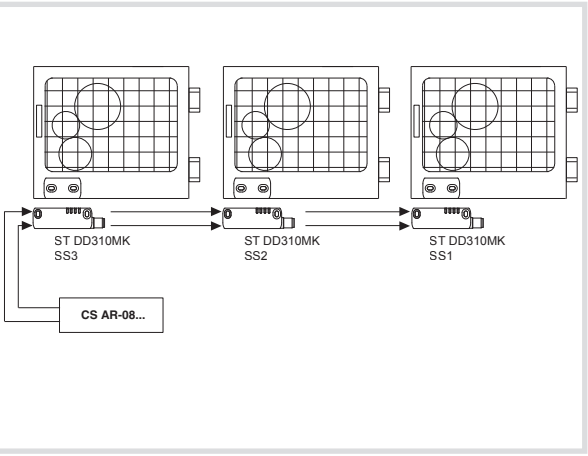
Determinación del PL
- Un circuito de categoría 4 con $MTTF_d$ = 88,6 años (High) y DC_{avg} = High corresponde a un PL e.

Cualquier información o ejemplo de aplicación, incluyendo los esquemas de conexiones, que se muestran en este documento, tienen un objetivo puramente descriptivo.
Es responsabilidad del usuario asegurarse de que los productos se seleccionen y utilicen conforme a lo prescrito en las normas, para no causar daños materiales o personales.

EJEMPLO 5
Aplicación: Supervisión de resguardos

Norma de referencia EN ISO 13849-1	
Categoría de seguridad	**4**
Performance Level	**PL e**

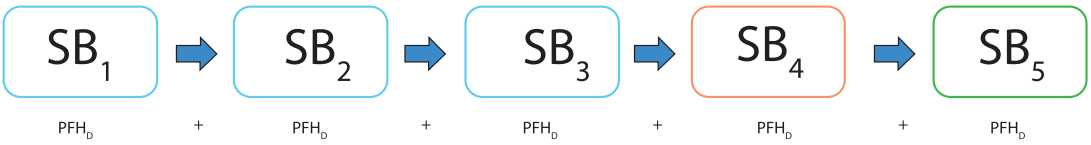




Descripción de la función de seguridad
La apertura de los resguardos provoca la intervención del sensor SS1 en el primer resguardo, SS2 en el segundo resguardo y SS3 en el tercer resguardo. Los sensores provocan la intervención del módulo de seguridad CS AR-08 y los dos contactores KM1 y KM2. El CS AR-08 supervisa los contactores KM1 y KM2 (con contactos guiados forzados) mediante el circuito de retorno.

Datos de los dispositivos
SS1, SS2, SS3 son sensores codificados de la serie ST con tecnología RFID. PFH_D = 1,20E-11, PL = «e»
CS AR-08 es un módulo de seguridad. PFH_d = 9,73E-11, PL = "e"
KM1, KM2 son contactores utilizados con carga asignada. B_{10D} = 1.300.000 (vea tabla C.1 de la EN ISO 13849-1)

Hipótesis de frecuencia de uso
Cada puerta se abre cada 2 minutos, 16h/día, 365 días/año, lo que es igual a n_{op} = 175.200
Definición del SRP/CS y de los subsistemas
El SRP/CS está formado por 5 subsistemas (SB):
SB1,2,3 son los tres sensores RFID de la serie ST
SB4 es el módulo de seguridad CS AR-08
SB5 está formado por dos contactores KM1 y KM2 con diseño redundante (cat. 4)



Cálculo PFH_D para SB5
$MTTF_d$ KM1,KM2 = 74,2 años.
DC = 99%, el módulo de seguridad supervisa los contactos de KM1 y KM2 mediante el circuito de retorno.
Se supone un valor mayor a 65 para el parámetro CCF (en base al anexo F de la EN ISO 13849-1).
Un circuito de categoría 4 con $MTTF_d$ = 74,2 años (alto) y cobertura de diagnóstico alta (DC = 99%) corresponde a una probabilidad de fallo PFH_d = 3,4E-08 y a un PL e.

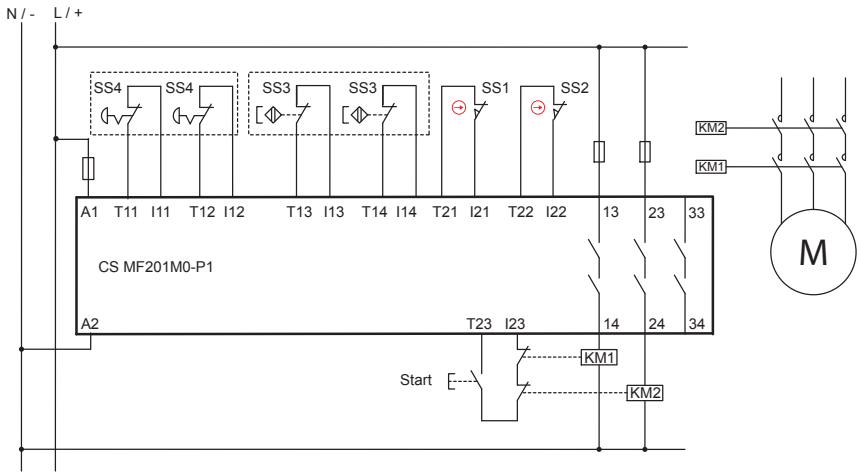
Cálculo de la PFH_D total del SRP/CS
$PFH_{dTOT} = PFH_{dSB1} + PFH_{dSB2} + PFH_{dSB3} + PFH_{dSB4} + PFH_{dSB5}$ = 3,5E-08
Esto corresponde a un PL e.

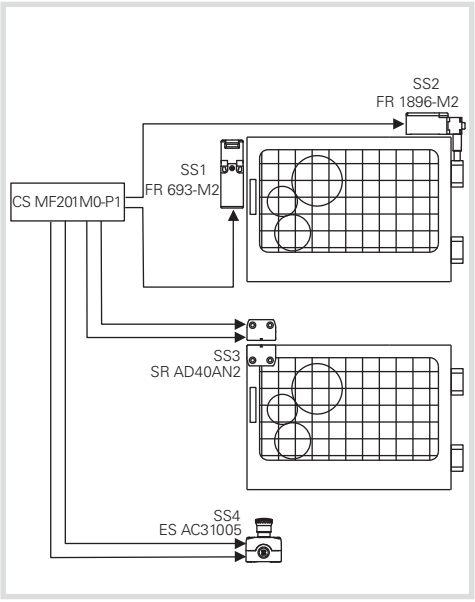
Ejemplo de cálculo realizado con el software SISTEMA, descargable gratuitamente en el sitio web www.pizzato.com

Cualquier información o ejemplo de aplicación, incluyendo los esquemas de conexiones, que se muestran en este documento, tienen un objetivo puramente descriptivo.
Es responsabilidad del usuario asegurarse de que los productos se seleccionen y utilicen conforme a lo prescrito en las normas, para no causar daños materiales o personales.

EJEMPLO 6
Aplicación: Supervisión de resguardos

Norma de referencia EN ISO 13849-1	
Categoría de seguridad	**4**
Performance Level	**PL e**





Descripción de la función de seguridad
La apertura de un resguardo provoca la intervención de los interruptores SS1 y SS2 en el primer resguardo y el sensor SS3 en el segundo resguardo. Los interruptores provocan la intervención del módulo de seguridad y los dos contactores KM1 y KM2.
El módulo de seguridad CS MF supervisa redundantemente las señales de los dispositivos SS1, SS2 y SS3.
Además, hay un pulsador de emergencia que está conectado en el módulo de seguridad por dos canales.
El CS MF supervisa incluso a los contactores KM1 y KM2 (con contactos guiados forzados) mediante el circuito de retorno.

Datos de los dispositivos:
- SS1 (FR 693-M2) es un interruptor con apertura positiva. B_{10D} = 2.000.000
- SS3 (FR 1896-M2) es un interruptor para bisagras con apertura positiva. B_{10D} = 5.000.000
- SS3 (SR AD40AN2) es un sensor magnético de seguridad. B_{10D} = 20.000.000
- SS4 (ES AC31005) es una caja con pulsador de emergencia (E2 1PERZ4531) con 2 contactos NC. B_{10D} = 600.000
- KM1, KM2 son contactores utilizados con carga asignada. B_{10D} = 1.300.000 (vea tabla C.1 de la EN ISO 13849-1)
- CS MF201M0-P1 es un módulo de seguridad con $MTTF_d$ = 842 años y DC = 99%

Hipótesis de frecuencia de uso
- Si cada puerta se abre 2 veces por hora por 16 horas/día por 365 días/año, es igual a n_{op}/año = 11.680
- Se supone que la seta de emergencia se accione como máximo 1 vez al día, n_{op}/año = 365
- Los contactores intervienen con frecuencia doble = 23.725

Cálculo $MTTF_d$

Resguardo SS1/SS2
- $MTTF_{d\ SS1,SS3}$ = 1.712 años
- $MTTF_{d\ SS2,SS4}$ = 4.281 años
- $MTTF_{d\ KM1,KM2}$ = 548 años
- $MTTF_{d\ CS}$ = 842 años
- $MTTF_{d\ CH1}$ = 278 años (SS1, CS, KM1)
- $MTTF_{d\ CH2}$ = 308 años (SS2, CS, KM2)
- $MTTF_d$ = la simetría de los dos canales da como resultado $MTTF_d$ = 293 años

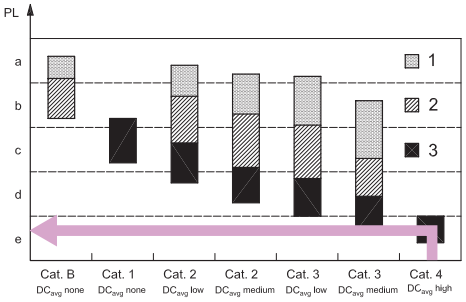
Resguardo SS3
- $MTTF_{d\ SS3}$ = 17.123 años
- $MTTF_{d\ KM1,KM2}$ = 548 años
- $MTTF_{d\ CS}$ = 842 años
- $MTTF_d$ = 325 años

Pulsador de emergencia SS4
- $MTTF_{d\ SS4}$ = 16.438 años
- $MTTF_{d\ KM1,KM2}$ = 548 años
- $MTTF_{d\ CS}$ = 842 años
- $MTTF_d$ = 325 años

Cobertura de diagnóstico DC_{avg}
- Los contactos de KM1, KM2 están supervisados por el CS MF mediante el circuito de retorno. DC = 99%
- En los dispositivos SS1, SS2 y SS3, se pueden detectar todos los fallos. DC = 99%
- El módulo CS MF201M0-P1 tiene una DC = 99%
- Se supone una cobertura de diagnóstico del 99% (High)

Fallos de causa común CCF
- Se supone un valor > 65 (en base al anexo F de la EN ISO 13849-1).

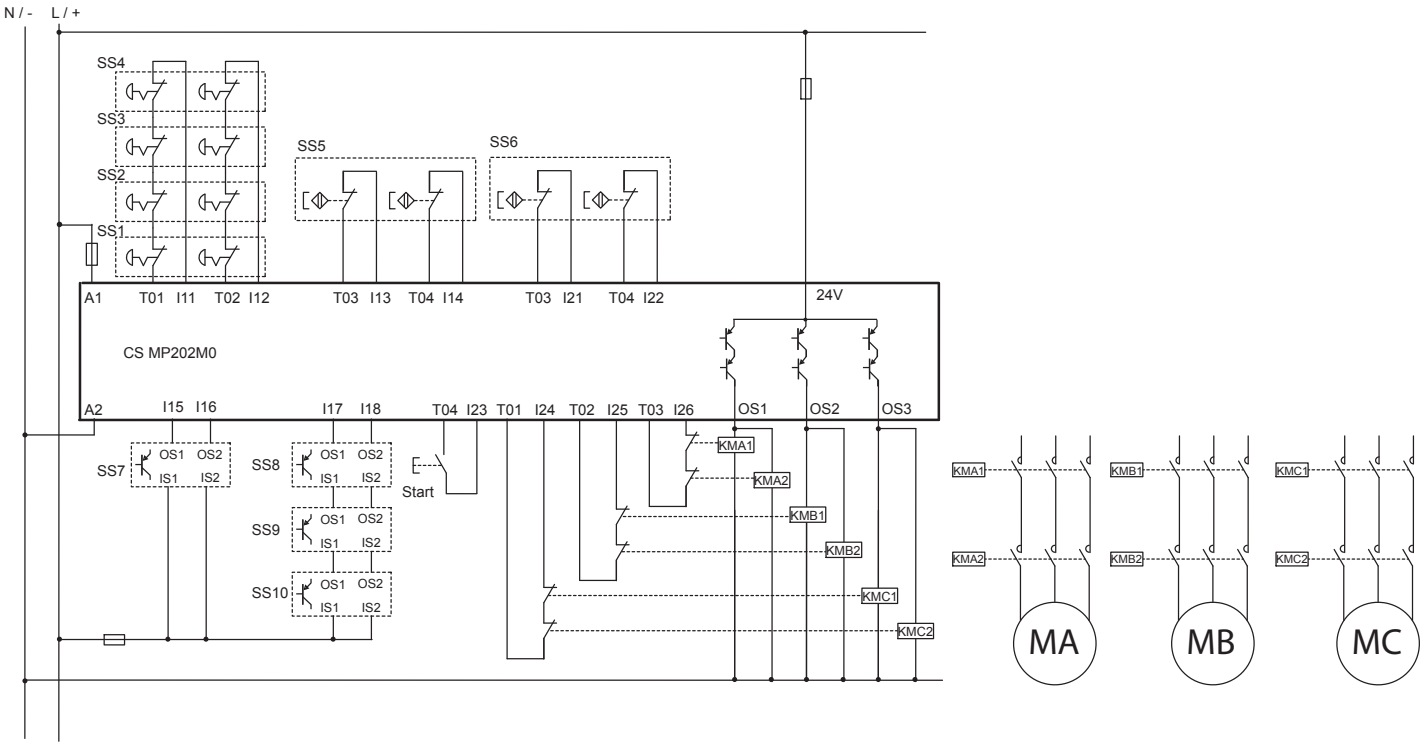
Determinación del PL
- Un circuito de categoría 4 con $MTTF_d \geq$ 30 años (High) y DC_{avg} = High corresponde a un PL e.
- Las funciones de seguridad conectadas a los resguardos SS1/SS2, SS3 y al pulsador de emergencia tienen un PL e.

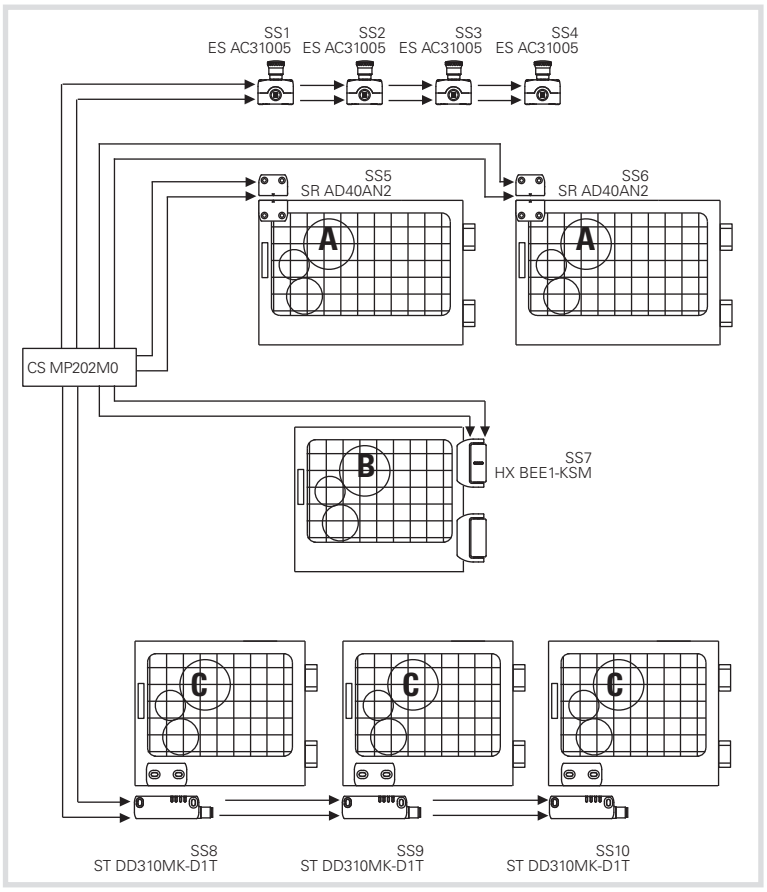


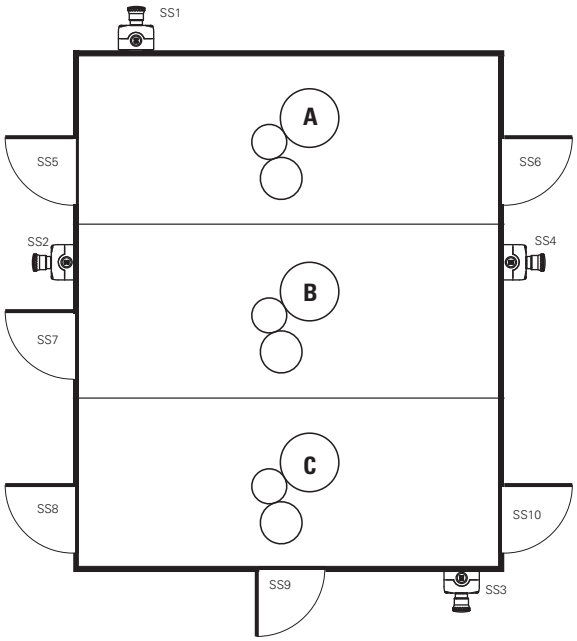
Cualquier información o ejemplo de aplicación, incluyendo los esquemas de conexiones, que se muestran en este documento, tienen un objetivo puramente descriptivo.
Es responsabilidad del usuario asegurarse de que los productos se seleccionen y utilicen conforme a lo prescrito en las normas, para no causar daños materiales o personales.

EJEMPLO 7
Aplicación: Supervisión de resguardos

Norma de referencia EN ISO 13849-1	
Categoría de seguridad	**4**
Performance Level	**PL e**







Descripción de la función de seguridad

Una máquina esta subdividida en 3 zonas distintas. El acceso a cada zona está supervisado por los resguardos y hay 4 pulsadores de emergencia.
El accionamiento de un pulsador de emergencia provoca la intervención del módulo de seguridad CS MP y de los contactos guiados forzados KMA1/2, KMB1/2, KMC1/2, apagando todos los motores.
La apertura de un resguardo en la zona A provoca la intervención de los dispositivos SS5 o SS6, los cuáles accionan el módulo de seguridad CS MP y los contactores KMA1 y KMA2, apagando así el motor MA. Los dispositivos SS5 y SS6 están conectados por separado y con doble canal al módulo de seguridad CS MP.
La apertura del resguardo en la zona B provoca la intervención del dispositivo SS7 que acciona el módulo de seguridad CS MP y los dos contactores KMB1 y KMB2, apagando el motor MB. La bisagra SS7 tiene dos salidas OSSD y está supervisada redundantemente por el módulo de seguridad CS MP.
La apertura de un resguardo en la zona C provoca la intervención de los dispositivos SS8, SS9 o SS10, los cuáles accionan el módulo de seguridad y los contactores KMC1 y KMC2, apagando así el motor MC. Los sensores SS8, SS9 y SS10 están conectados entre sí a través de las salidas OSSD y están supervisados redundantemente por el módulo de seguridad CS MP.

Datos de los dispositivos

- SS1, SS2, SS3 y SS4 (ES AC31005) son pulsadores de emergencia (E2 1PERZ4531) con 2 contactos NC. B_{10D} = 600.000
- SS5 y SS6 (SR AD40AN2) son sensores magnéticos de seguridad. B_{10D} = 20.000.000
- SS7 (HX BEE1-KSM) es una bisagra de seguridad con salidas OSSD. $MTTF_d$= 4077 años/DC = 99%
- SS8, SS9 y SS10 (ST DD310MK-D1T) son sensores de seguridad con tecnología RFID y salidas OSSD. $MTTF_d$= 4077 años/DC = 99%
- KMA, KMB y KMC son contactores utilizados con carga asignada. B_{10D} = 1.300.000 (vea tabla C.1 de la EN ISO 13849-1)
- CS MP202M0 es un módulo de seguridad con $MTTF_d$ = 2035 años/DC = 99%

Hipótesis de frecuencia de uso

- Si cada puerta de la zona A se abre 2 veces por hora por 16 horas/día por 365 días/año, es igual a n_{op}/año = 11.680. Los contactores intervienen con frecuencia doble = 23.360
- Si la puerta de la zona B se abre 4 veces por hora por 16 horas/día por 365 días/año, es igual a n_{op}/año = 23.360. Los contactores intervienen con la frecuencia siguiente = 23.360
- Si cada puerta de la zona C se abre 1 vez por hora por 16 horas/día por 365 días/año, es igual a n_{op}/año = 5.840. Los contactores intervienen con la frecuencia siguiente = 17.520
- Se supone que la seta de emergencia se accione como máximo 1 vez a la semana, n_{op}/año = 52
- Exclusión de fallos: puesto que se supone que los pares de contactores, conectados en paralelo respecto a las salidas de seguridad, están cableados de forma permanente en el interior del cuadro eléctrico, se excluye la posibilidad de un cortocircuito entre +24V y los contactores (vea Tabla D.4, punto D.5.2 de la EN ISO 13849-2).

Cálculo $MTTF_d$

Pulsadores de emergencia
- $MTTF_d$ SS1/SS2/SS3/SS4 = 115.384 años
- $MTTF_d$ CS = 2035 años
- $MTTF_d$ KMC1,KMC2 = 742 años
- $MTTF_d$ e-stop = 541 años

Resguardo zona A
- $MTTF_d$ SS5/SS6 = 17.123 años
- $MTTF_d$ CS = 2035 años
- $MTTF_d$ KMA1,KMA2 = 556 años
- $MTTF_d$ A = 425 años (SS5/SS6,CS,KMA)

Resguardo zona B
- $MTTF_d$ SS7 = 4.077 años
- $MTTF_d$ CS = 2035 años
- $MTTF_d$ KMB1,KMB2 = 556 años
- $MTTF_d$ B = 394 años (SS7,CS,KMB)

Resguardo zona C
- $MTTF_d$ SS8/SS9/SS10 = 4.077 años
- $MTTF_d$ CS = 2035 años
- $MTTF_d$ KMC1,KMC2 = 742 años
- $MTTF_d$ C = 479 años (SS8/SS9/SS10,CS,KMC)

Cobertura de diagnóstico DC_{avg}

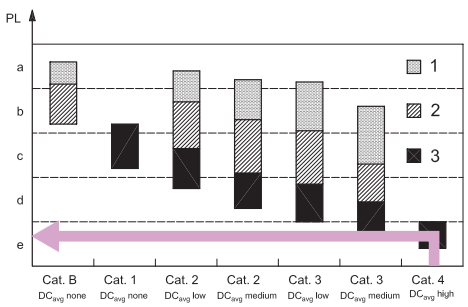
- Los contactos de KMA, KMB y KMC están supervisados por el CS MP mediante el circuito de retorno. DC = 99%
- Se pueden detectar todos los fallos de los dispositivos. DC = 99%
- El módulo CS MP202M0 tiene una DC = 99%
- Se obtiene una cobertura de diagnóstico del 99% (High) para cada función

Fallos de causa común CCF

- Se supone un valor > 65 para todas las funciones de seguridad (en base al anexo F de la EN ISO 13849-1).

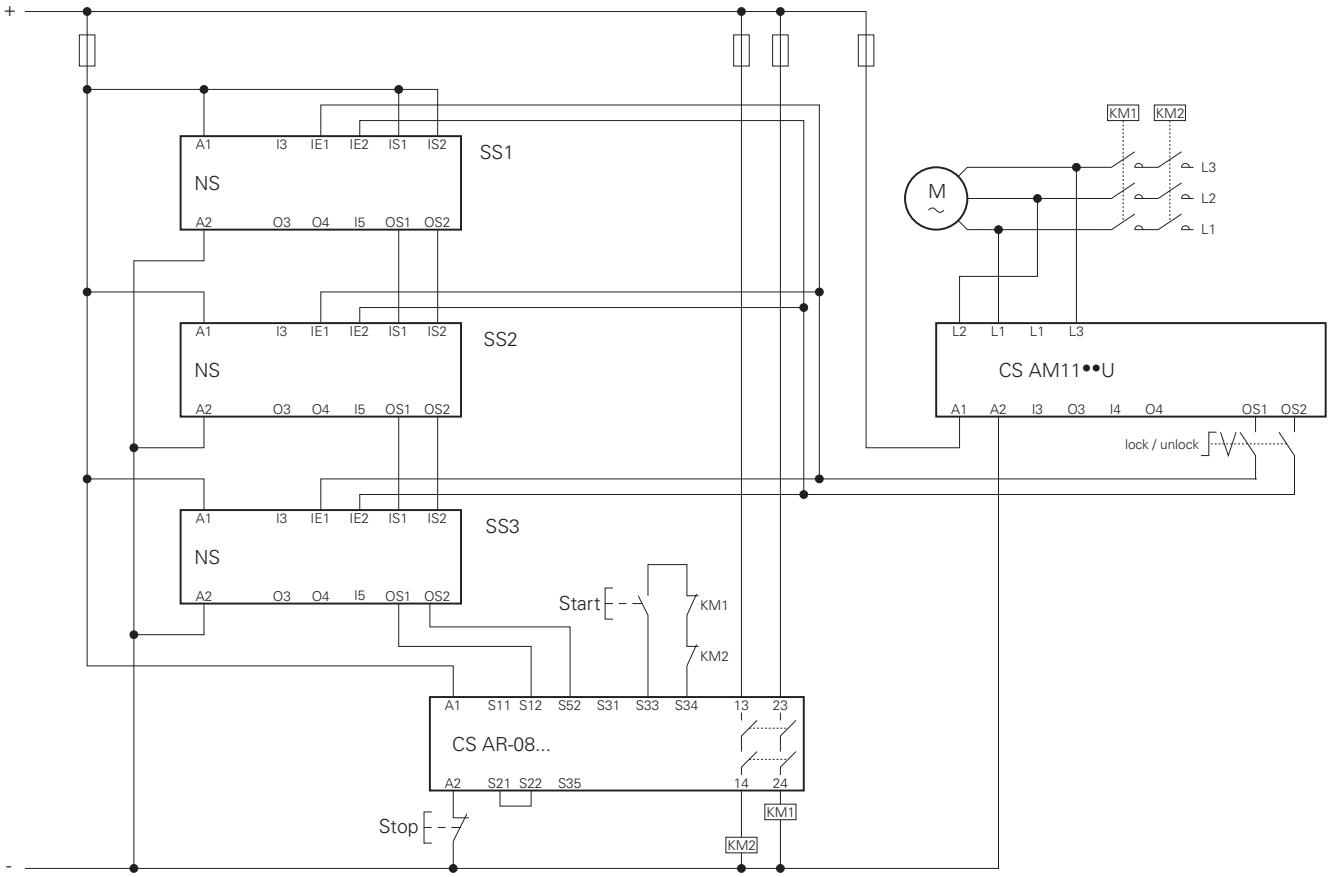
Determinación del PL

- Un circuito de categoría 4 con $MTTF_d \geq$ 30 años (High) y DC_{avg} = High corresponde a un PL e.
- Todas las funciones de seguridad conectadas a los resguardos y a los pulsadores de emergencia tienen un PL e.

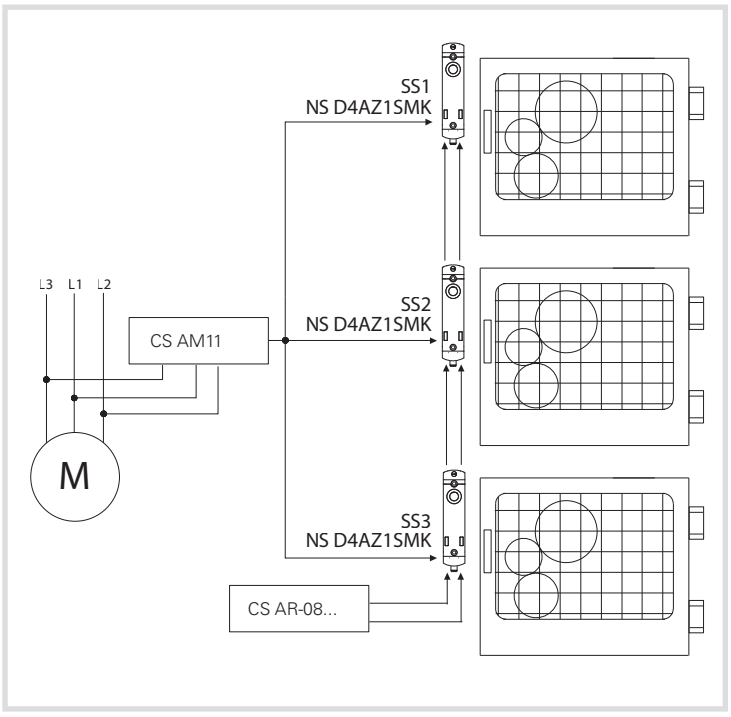


Cualquier información o ejemplo de aplicación, incluyendo los esquemas de conexiones, que se muestran en este documento, tienen un objetivo puramente descriptivo.
Es responsabilidad del usuario asegurarse de que los productos se seleccionen y utilicen conforme a lo prescrito en las normas, para no causar daños materiales o personales.

EJEMPLO 8
Aplicación: Supervisión de resguardos



Norma de referencia EN ISO 13849-1	
Performance Level función de seguridad 1	**PL e**
Performance Level función de seguridad 2	**PL e**

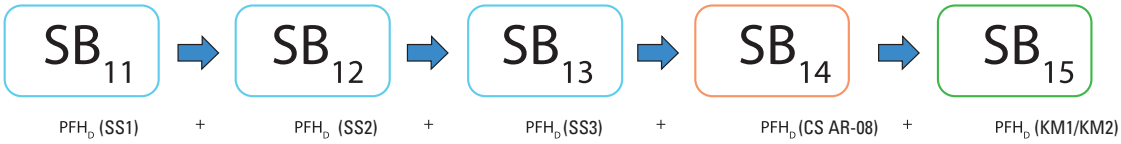


Descripción de la función de seguridad
Los dispositivos de enclavamiento SS1, SS2 y SS3 realizan dos funciones de seguridad: supervisión del estado del resguardo bloqueado y enclavamiento del resguardo.
Al desbloquear los resguardos, los tres sensores provocan la intervención del módulo de seguridad y los dos contactores KM1 y KM2. El CS AR-08 supervisa los contactores KM1 y KM2 (con contactos guiados forzados) mediante el circuito de retorno.
El comando de bloqueo en los tres dispositivos SS1, SS2 y SS3 se mantiene hasta que el módulo de detección de motor parado CS AM11 detecta la parada del movimiento real.

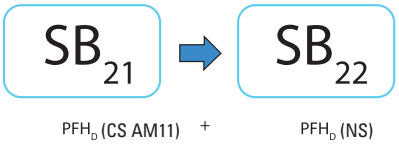
Datos de los dispositivos
SS1, SS2, SS3 son dispositivos de enclavamiento codificados de la serie NS con tecnología RFID y enclavamiento del resguardo. Función de detección del bloqueo PFH_D = 1,23E-09 PL = «e», función de comando de retención PFH_D = 2,04E-10 PL = «e».
CS AR-08 es un módulo de seguridad, PFH_D = 9,73E-11, PL = «e».
CS AM11 es un módulo de seguridad que detecta paradas de motores, PFH_D = 1,00E-09, PL «e».
KM1, KM2 son contactores utilizados con carga asignada. B_{10D} = 1.300.000 (vea tabla C.1 de la EN ISO 13849-1)

Hipótesis de frecuencia de uso
Cada puerta se abre cada 10 minutos, 16h/día, 365 días/año, lo que es igual a n_{op}/año = 35.040

Definición del SRP/CS y de los subsistemas
Este ejemplo de aplicación contiene dos funciones de seguridad:
1. Función de paro de seguridad activada por una medida de protección
2. Función de mantenimiento del resguardo bloqueado con motor M en movimiento
La función de seguridad 1 es llevada a cabo por un SRP/CS formado por 5 subsistemas (SB):
- SB11,12,13 son los tres dispositivos de enclavamiento RFID de la serie NS, SS1, SS2 y SS3, respectivamente
- SB14 es el módulo de seguridad CS AR-08
- SB15 está formado por dos contactores KM1 y KM2 con diseño redundante (cat. 4)



La función de seguridad 2 es llevada a cabo por 2 subsistemas (SB):
- SB21 es el módulo de seguridad de detección de motor parado CS AM11
- SB22 está formado por tres dispositivos de enclavamiento RFID de la serie NS



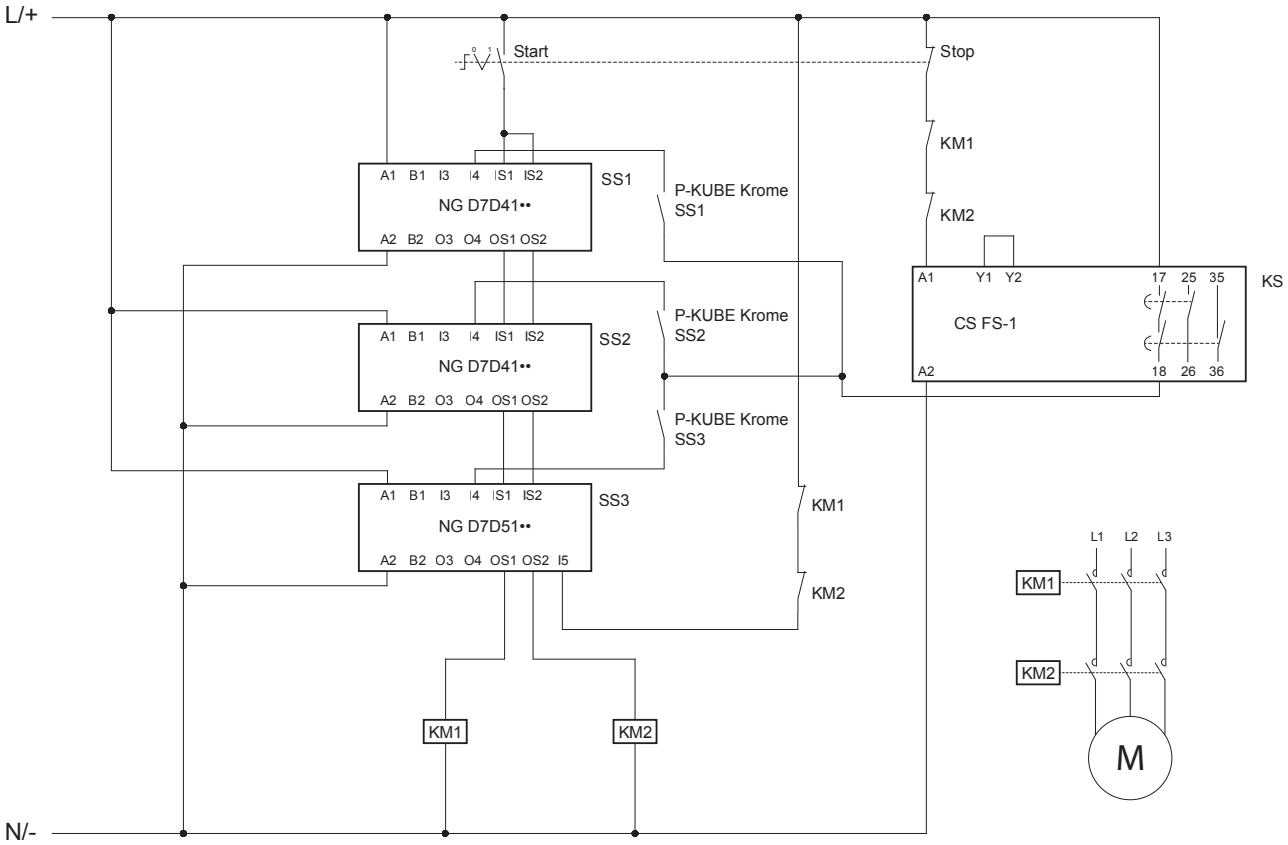
Cálculo PFH_D para SB15
$MTTF_d$ KM1,KM2 = 371 años.
DC = 99%, el módulo de seguridad supervisa los contactos de KM1 y KM2 mediante el circuito de retorno.
Se supone un valor mayor a 65 para el parámetro CCF (en base al anexo F de la EN ISO 13849-1).
Un circuito de categoría 4 con $MTTF_D$ = 371 y cobertura de diagnóstico alta (DC = 99%) corresponde a una probabilidad de fallo PFH_D = 6,3E-09 y a un PL e.

Cálculo de la PFH_D total del SRP/CS para función de seguridad 1 (enclavamiento)
$PFH_{dTOT} = PFH_{dSB11} + PFH_{dSB12} + PFH_{dSB13} + PFH_{dSB14} + PFH_{dSB15}$ = 1E-08
esto corresponde a un PL e.

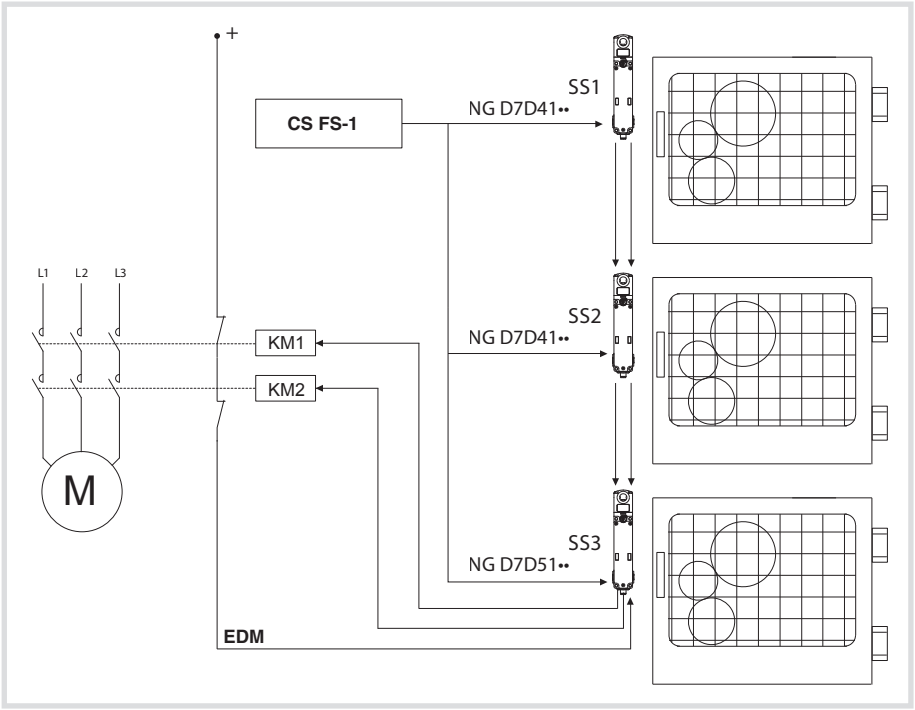
Cálculo de la PFH_D total del SRP/CS para función de seguridad 2 (bloqueo)
$PFH_{dTOT} = PFH_{dSB21} + PFH_{dSB22}$ = 1,20E-09
esto corresponde a un PL e.

Ejemplo de cálculo realizado con el software SISTEMA, descargable gratuitamente en el sitio web www.pizzato.com

EJEMPLO 9
Aplicación: Supervisión de resguardos



Norma de referencia EN ISO 13849-1	
Performance Level función de seguridad 1	**PL e**
Performance Level función de seguridad 2	**PL d**

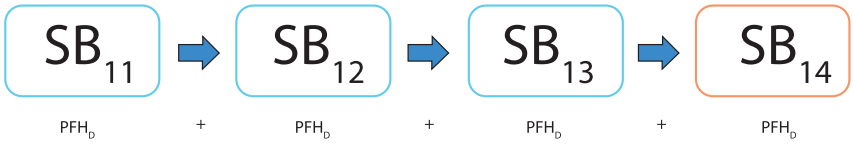


Descripción de la función de seguridad
Los dispositivos de enclavamiento SS1, SS2 y SS3 realizan dos funciones de seguridad: supervisión del estado del resguardo bloqueado y enclavamiento del resguardo.
Al desbloquear los resguardos, los tres sensores actúan directamente sobre los dos contactores KM1 y KM2. El sensor SS3 supervisa los contactores KM1 y KM2 (con contactos guiados forzados) a través de la entrada I5 de EDM (External Device Monitoring).
El comando de bloqueo en los tres dispositivos SS1, SS2 y SS3 está condicionado por el cierre del contacto de seguridad de un temporizador de seguridad CS FS-1. Cada dispositivo recibirá el comando de desbloqueo cuando se pulse el pulsador de la maneta P-KUBE Krome.

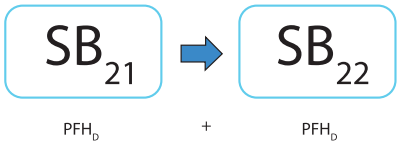
Datos de los dispositivos
SS1, SS2, SS3 son dispositivos de enclavamiento codificados con tecnología RFID y enclavamiento del resguardo. Función de detección del bloqueo PFH_D = 1,17E-09 PL = «e», función de comando de retención monocanal PFH_D = 1,51E-10 PL = «d».
CS FS-1 es un temporizador de seguridad, PFH_D = 5,06E-10, PL «e».
KM1, KM2 son contactores utilizados con carga asignada. B_{10D} = 1.300.000 (vea tabla C.1 de la EN ISO 13849-1)

Hipótesis de frecuencia de uso
Cada puerta se abre cada 10 minutos, 16h/día, 365 días/año, lo que es igual a n_{op} = 35.040

Definición del SRP/CS y de los subsistemas
Este ejemplo de aplicación contiene dos funciones de seguridad:
1. Función de paro de seguridad activada por una medida de protección
2. Función de mantenimiento del resguardo bloqueado con motor M1 en movimiento
La función de seguridad 1 es llevada a cabo por un SRP/CS formado por 4 subsistemas (SB):
- SB11,12,13 son los tres dispositivos de enclavamiento RFID de la serie NG SS1, SS2 y SS3, respectivamente
- SB14 está formado por dos contactores KM1 y KM2 con diseño redundante (cat. 4)



La función de seguridad 2 es llevada a cabo por 2 subsistemas (SB):



- SB21 es el temporizador de seguridad CS FS-1
- SB22 es el dispositivo de enclavamiento RFID de la serie NG

Cálculo PFH_D para SB14
$MTTF_d$ KM1,KM2 = 371 años.
DC = 99%, el último dispositivo NG de la serie supervisa los contactos de KM1 y KM2 a través de la entrada de EDM.
Se supone un valor mayor a 65 para el parámetro CCF (en base al anexo F de la EN ISO 13849-1).
Un circuito de categoría 4 con $MTTF_D$ = 371 y cobertura de diagnóstico alta (DC = 99%) corresponde a una probabilidad de fallo PFH_D = 6,3E-09 y a un PL e.

Cálculo de la PFH_D total del SRP/CS para función de seguridad 1
$PFH_{DTOT} = PFH_{DSB11} + PFH_{DSB12} + PFH_{DSB13} + PFH_{DSB14}$ = 9,8E-09
Esto corresponde a un PL e.

Cálculo de la PFH_D total del SRP/CS para función de seguridad 2
$PFH_{DTOT} = PFH_{DSB21} + PFH_{DSB22}$ = 6,6E-10
Esto correspondería a un PL e. Sin embargo, considerando que el dispositivo NG con comando de bloqueo monocanal tiene un PL «d», todo el SRP/CS se degrada a este valor, es decir, PL «d».