



# SEGURIDAD DE LOS ROBOTS COLABORATIVOS

## MITOS – REALIDADES – FUTURO

---

Otto Görnemann  
Industrial Safety  
2017 - 08 - 20

***SICK – es uno de los fabricantes más importantes a nivel mundial de sensores y sistemas de sensores para la automatización de procesos industriales***

**70** Años de experiencia. Fundada en 1946.

**8.000** Empleados en todo el mundo

**88** Países con presencia de SICK  
Más de 50 Compañías subsidiarias y  
Join-Ventures y muchas agencias  
especializadas

**1.267** Millones de euros en ventas en el año 2015

**54.000** Productos.  
El portfolio más amplio de productos y  
tecnologías en la industria de sensores

**3.000** Patentes. Líder en el desarrollo de  
soluciones innovativas de sensores

- Gerente para seguridad de maquinaria  
- Regulaciones y Normas –
- Desde 1995 empleado en la División  
de Seguridad Industrial de SICK AG
- Miembro en diferentes comités técnicos de  
ISO – IEC – CEN – DIN – AENOR – AISS
  - ▶ ISO/TC199      Seguridad de las máquinas  
Presidente electo (1.1.2018)
  - ▶ CEN/TC114      Seguridad de las máquinas - Presidente
  - ▶ ISO/TC299      Robots y Automación
  - ▶ ISO/TC110      Vehículos industriales
  - ▶ ISO/TC39      Maquinas herramienta
  - ▶ CEN/TC146      Maquinas empaquetadoras
  - ▶ IEC/TC 44      Seguridad de las Máquinas – Liaison officer (Oficial de enlace)





## ¿ POR QUÉ ROBOTS COLABORATIVOS ?

**SICK**  
Sensor Intelligence.

En teoría, la idea es combinar las habilidades humanas y las capacidades de los robots permitiendo resolver en la industria aplicaciones que de otro modo necesitarían máquinas más complejas, caras y de hecho más peligrosas

- "Robots colaborativos" llegan a la industria a la par con Industria 4.0 – Smart manufacturing
- Se multiplican también las aplicaciones de robots de asistencia personal (Asia)
- EN ISO 12100 establece la separación física de los operarios de los riesgos como un principio básico de seguridad.
- ¿ Operación colaborativa como excusa para evitar aplicar medidas de protección ?



### ▪ **UNE EN ISO 10218-1:2011**

#### **Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1: Robots.**

- ▶ Especifica requisitos de seguridad para robots industriales
- ▶ No es aplicable para la integración de robots o el diseño de sistemas robot (células robotizadas)
- ▶ La norma no contempla el robot como máquina completa y no trata los riesgos debidos a ruido
- ▶ EN-ISO 10218-1 es una Norma tipo C y está armonizada bajo la directiva de maquinaria (2006/42/EC)

### ▪ **UNE EN ISO 10218-2:2011**

#### **Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración**

- ▶ Especifica requisitos de seguridad para sistemas robot e integraciones de robots que cumplen con la norma UNE EN ISO 10218-1
- ▶ La norma se aplica a sistemas robot como máquinas pero no trata los riesgos debidos a ruido
- ▶ La integración incluye el diseño, la construcción, instalación, operación, mantenimiento y puesta fuera de servicio
- ▶ EN-ISO 10218-2 es una norma tipo C y está armonizada bajo la directiva de maquinaria (2006/42/EC)

## Normas Internacionales aplicables – Robots colaborativos y de asistencia

### ■ **ISO/TS 15066:2015**

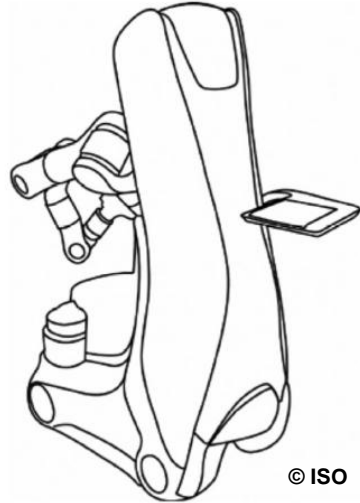
Robots y dispositivos robóticos - Robots de colaboración. (Especificación Técnica)

- ▶ Especifica los requisitos de seguridad adicionales para los sistemas de robots industriales de colaboración
- ▶ Se deberán cumplir los requisitos básicos de la norma ISO 10218-1 un -2. La norma no cubre el ruido
- ▶ El lector es advertido sobre el uso de los valores límite indicados en el TS, ya que podrían modificarse o ser impugnados
- ▶ ISO/TS 15066 **no** es norma armonizada según la Directiva de maquinaria (2006/42/EC)

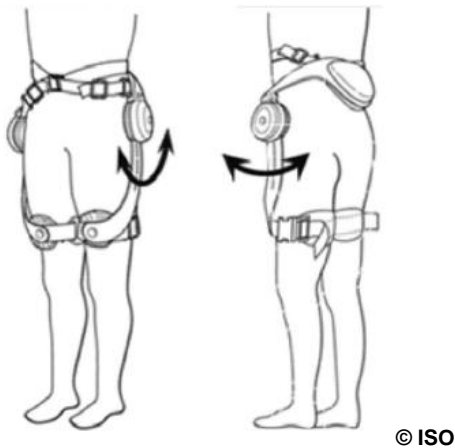
### ■ **UNE EN ISO 13482:2014**

Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots no industriales. Norma armonizada Robots de asistencia personal no médicos.

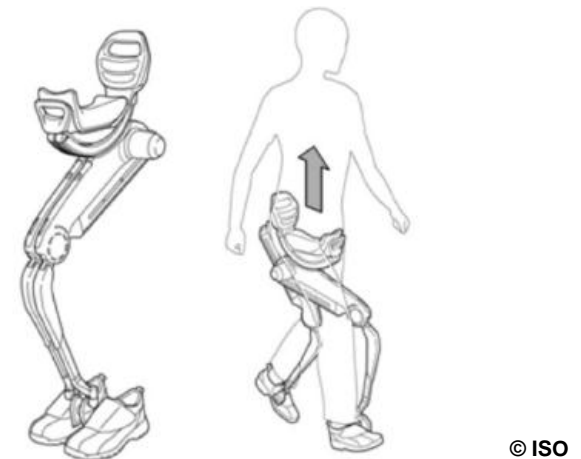
- ▶ Especifica los requisitos de seguridad intrínseca, medidas de protección e información del usuario de:
- ▶ Robots móviles de servicio, de asistencia física y para el transporte de personas (people mover)
- ▶ Se excluye su aplicación para robots
  - con velocidades superiores a 20 km/h
  - acuáticos y aéreos
  - juguetes
  - industriales
  - militares o para fuerzas públicas
  - operando como dispositivos médicos



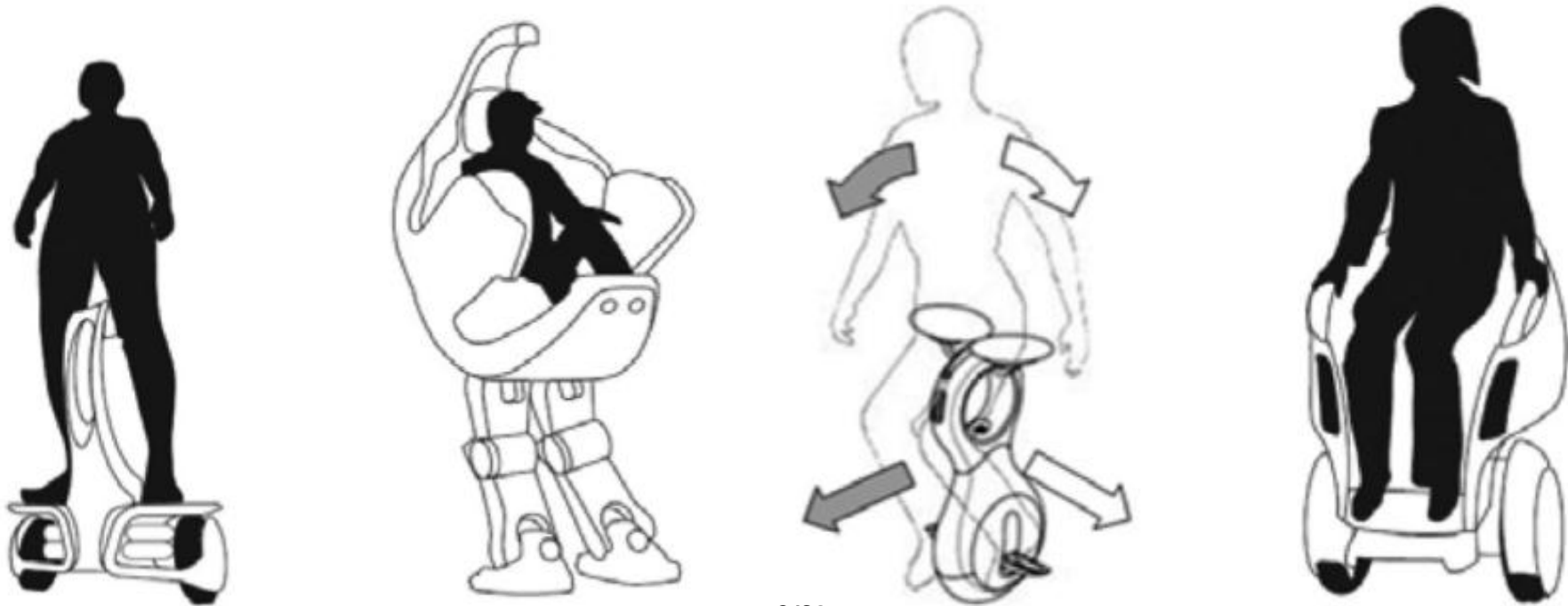
Asistencia en general



Asistencia física







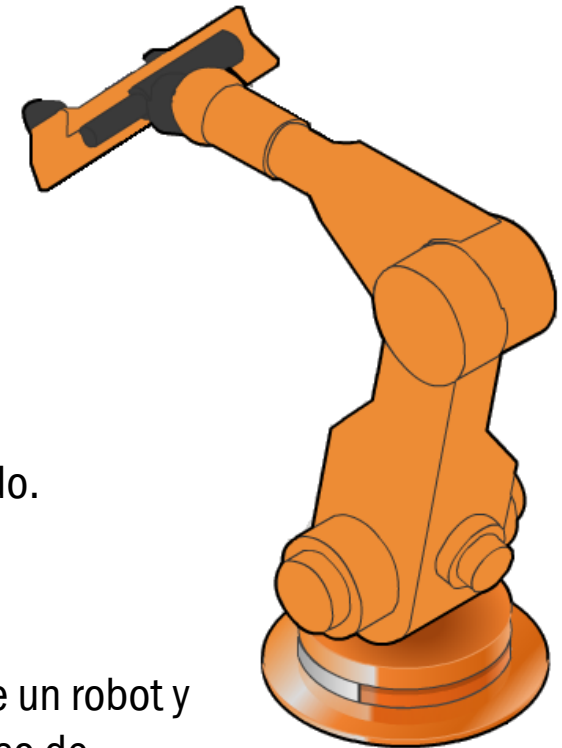


© ISO

Asistencia en transporte de personas

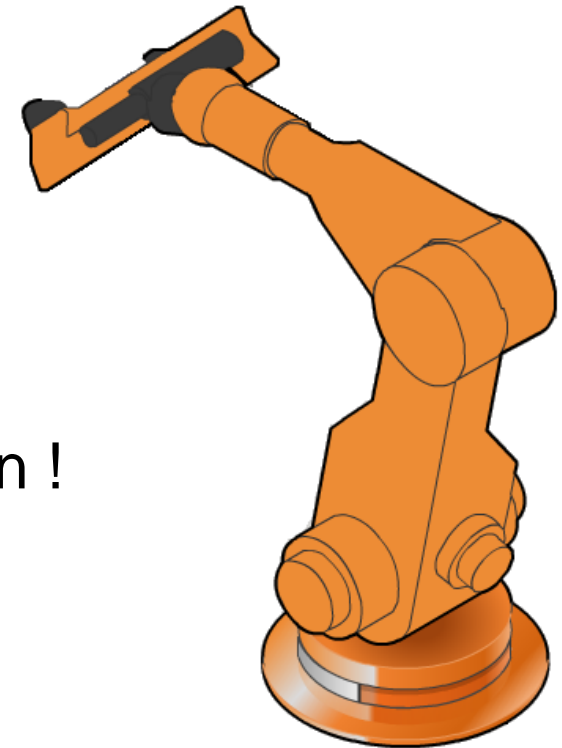
<b>Tipo de interacción</b>	<b>Tiempo diferente</b>	<b>Al mismo tiempo</b>
<b>Espacio compartido</b>		
<b>No se comparte espacio</b>	<p><b>Sin interacción</b></p> <p>© SICK AG</p>	

- ISO 10218-1 3.10 **Robot Industrial**  
Manipulador reprogramable para usos múltiples,, controlado automáticamente con tres o más ejes programables, ya sea fijo o móvil, para uso en aplicaciones de automatización industrial
- ISO 10218-2 3.2 **Robot colaborativo.**  
Robot diseñado para la interacción directa con humanos en un espacio colaborativo definido
- ISO 10218-1 3.4 **Operación colaborativa.**  
Situación en la cual robots específicamente diseñados trabajan en cooperación directa con humanos en un espacio de trabajo definido.
- ISO 10218-1 3.5 **Espacio de trabajo colaborativo.**  
Espacio de trabajo dentro del espacio resguardado (protegido) donde un robot y un humano pueden realizar tareas simultáneamente durante el proceso de producción.



© SICK AG

- El robot es seguro !
- El robot es inherentemente seguro !
- El robot esta certificado !
- El robot no necesita medidas de protección !
- La aplicación está certificada !



© SICK AG

El robot es seguro !

NO !

- ▶ El robot por si solo no puede ser seguro (no hace nada)
- ▶ El robot es una cuasi máquina según la directiva 2006/42/EC
- ▶ El integrador debe realizar una evaluación de riesgos para la máquina completa que resulta de la integración del robot con otros componentes.
- ▶ La máquina resultante debe cumplir los requisitos de la directiva de maquinas 2006/42
- ▶ El integrador o en su defecto el empresario que pone en marcha por primera vez esa máquina es automáticamente el fabricante y debe cumplir los requisitos de la directiva de maquinas 2006/42/EC

- ▶ El robot solo es inherentemente seguro cuando debido a la fuerza máxima de sus actuadores y a la forma y material del robot este no pueda producir ningún daño a personas  
(diseño inherentemente seguro según UNE EN ISO 12100 – 6.2)
- ▶ Robots cuya fuerza (momento, presión, impacto, velocidad) se limiten por medio de sistemas de mando (servos, inversores ,controladores) no se pueden considerar como inherentemente seguros.  
(estas son medidas de protección según UNE EN ISO 12100 – 6.3.2.7)
- ▶ La integración de un robot inherentemente seguro no libera al integrador de sus obligaciones como fabricante de maquinaria  
(Evaluación y reducción de riesgos)



El robot está certificado !

¿ Y que ?

- ▶ Un certificado puede ser expedido por cualquiera
- ▶ Existen muchos certificados usados fraudulentamente para sugerir seguridad o cumplimiento de la directiva 2006/42  
(p.e. el certificado de que un robot tiene un sistema de mando con algunas funciones con nivel de prestación PL “x” no significa que el robot cumpla con la directiva EC 2006/42 o el R.D.1644/2008
- ▶ Legalmente no es posible para un robot colaborativo:
  - Expedir un certificado “Examen de CE de tipo”
  - Expedir un certificado de “Cumplimiento de la directiva 2006/42”
  - Expedir un certificado de cumplimiento del R.D. 1644 o del R.D. 1215

## El robot no necesita medidas de protección ! ?

- ▶ Solo es veraz en aplicaciones con robots inherentemente seguros o robots con dispositivos de protección que no puedan ser desactivados en aplicaciones que no presenten peligros alcanzables
- ▶ Para todos los otros robots es necesario aplicar medidas de protección
- ▶ Ejemplos
  - Robot con limitación de fuerza y/o potencia por sistemas de mando seguros durante las fases de uso en los que estos no están activados (p.e. durante programación, mantenimiento, ajuste)
  - Un robot con fuerza y/o potencia muy baja, pero que maneja una pieza de metal con bordes muy afilados (p.e. chapa troquelada)

## La aplicación está certificada !

?

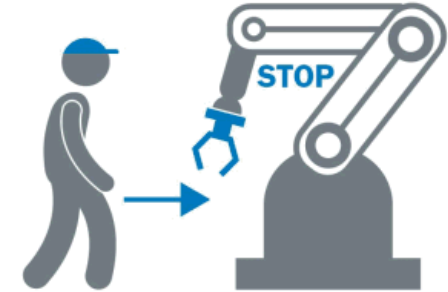
- ▶ Legalmente solo es posible que un ente con competencia adecuada certifique que una aplicación de robots colaborativos cumpla con los requisitos legales aplicables a puestos de trabajo.
- ▶ Legalmente no es posible certificar que una aplicación de robots colaborativos cumpla con los requisitos legales resultantes de la directiva de maquinaria (2006/42/EC)
- ▶ Una certificación según el primer caso pierde su validez cuando se cambia la aplicación o se traslada a otro lugar con condiciones de entorno y de trabajo diferentes



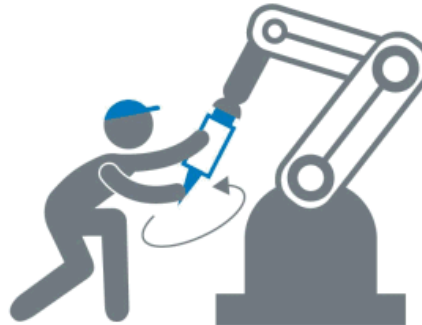
# APLICACIONES ROBÓTICAS COLABORATIVAS Y SEGURAS

**SICK**  
Sensor Intelligence.

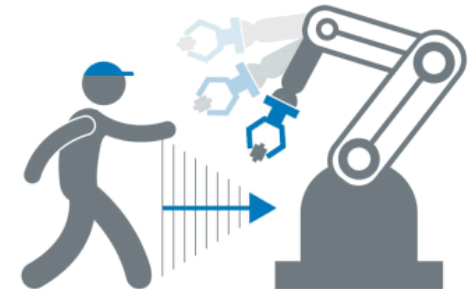
- Parada segura monitorizada



- Guiado manual



- Control de velocidad y separación

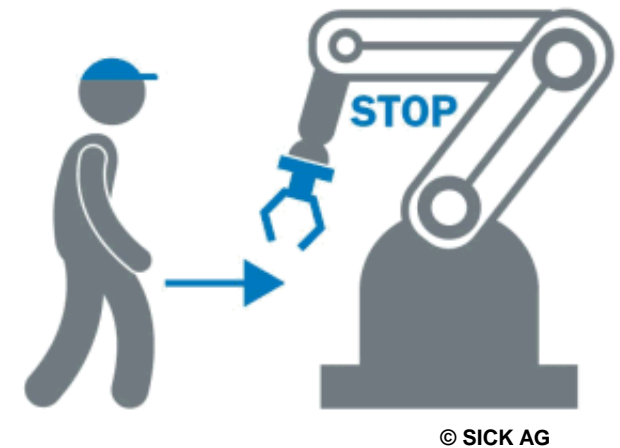


- Limitación de fuerza y energía





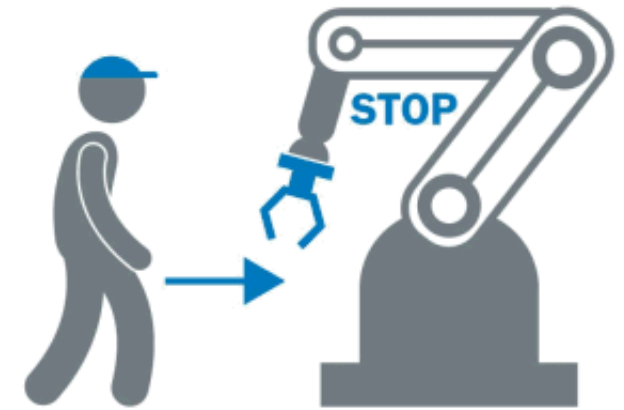
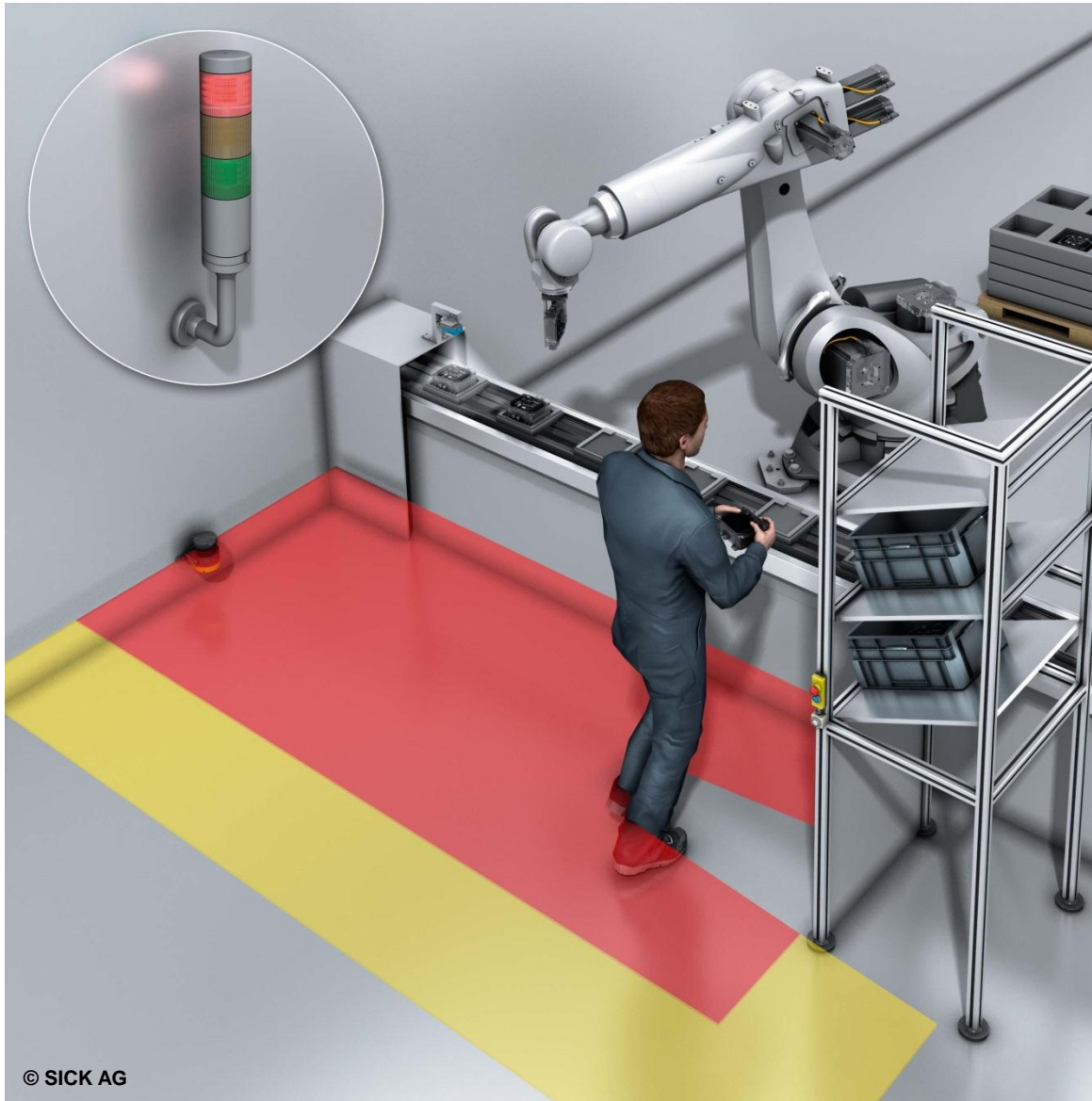
- El robot debe de tener una función de parada segura monitorizada con PL “d”
- La parada puede realizarse con una función de parada de categoría 0, 1, o 2 de acuerdo con IEC 60204-1 (EN 60204-1).
- El robot debe detenerse y permanecer parado cuando una persona se encuentra en el espacio colaborativo de trabajo
- El robot puede continuar (reiniciar) su tarea de manera automática cuando la persona abandone el espacio colaborativo de trabajo.
- Una vez realizada, la parada debe monitorizarse continuamente por el sistema de mando relativo a la seguridad. Un fallo que lleve a la pérdida de la función de parada o de su monitorización debe iniciar inmediatamente una parada de la categoría 0 (desconexión de la energía)



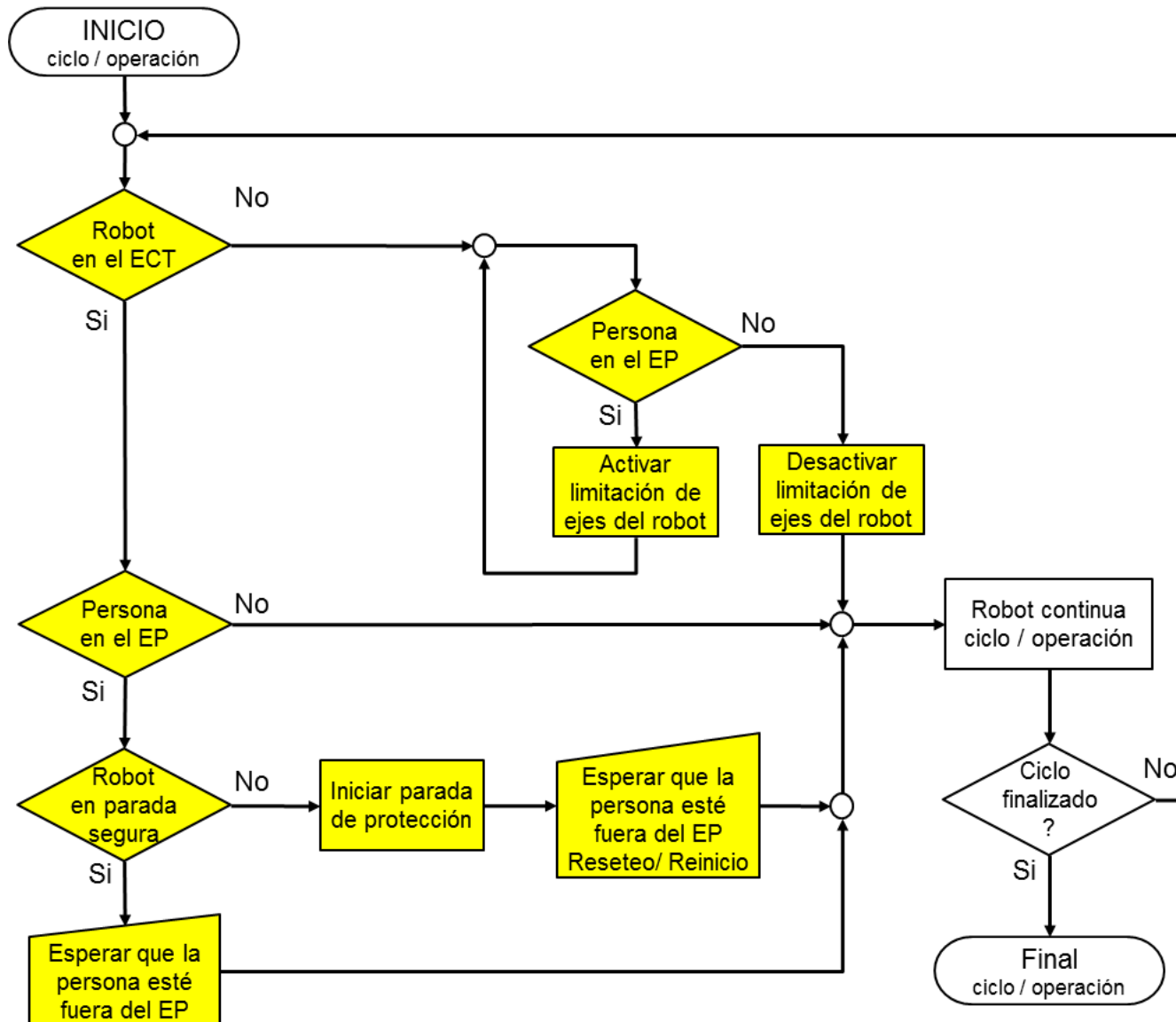


# PARADA SEGURA MONITORIZADA

## Ejemplo de aplicación



## Diagrama de flujo funcional



ECT = espacio colaborativo de trabajo

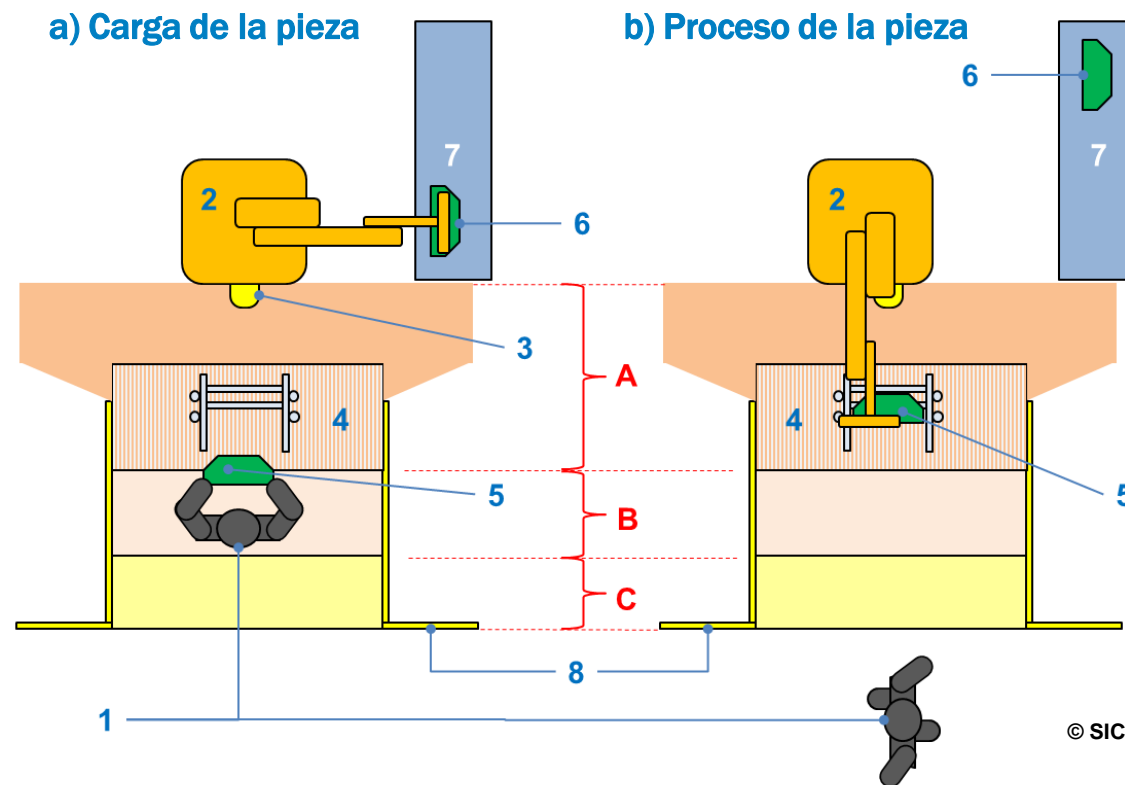
EP = espacio protegido  
(espacio donde personas son detectadas  
por medio de un dispositivo de protección)

Parada Segura = Monitorizada

# PARADA SEGURA MONITORIZADA

## Principios de aplicación con escaneador de áreas laser de seguridad

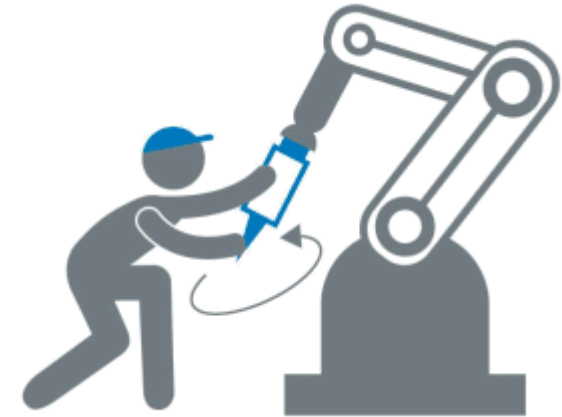
	a)	b)
1	Operario carga la pieza en el bastidor	Operario (otras tareas)
2	Robot industrial transfiriendo la pieza	Robot industrial procesando la pieza
3	Escaneador de áreas (AOPDDR)	
4	Bastidor (Espacio de trabajo colaborativo)	
5	Carga de la pieza	Proceso de la pieza
6	Transferencia de la pieza	Transporte de la pieza
7	Cinta transportadora	
8	Resguardo perimetral (valla)	

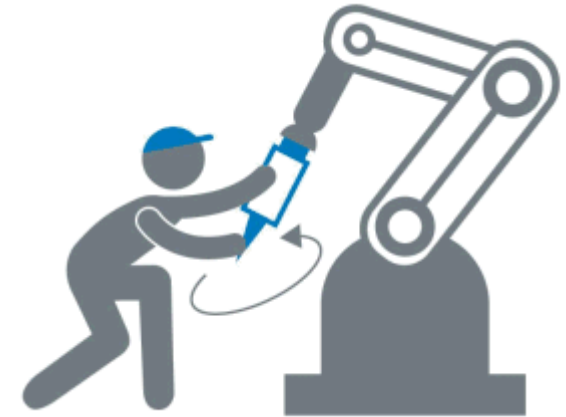


© SICK AG

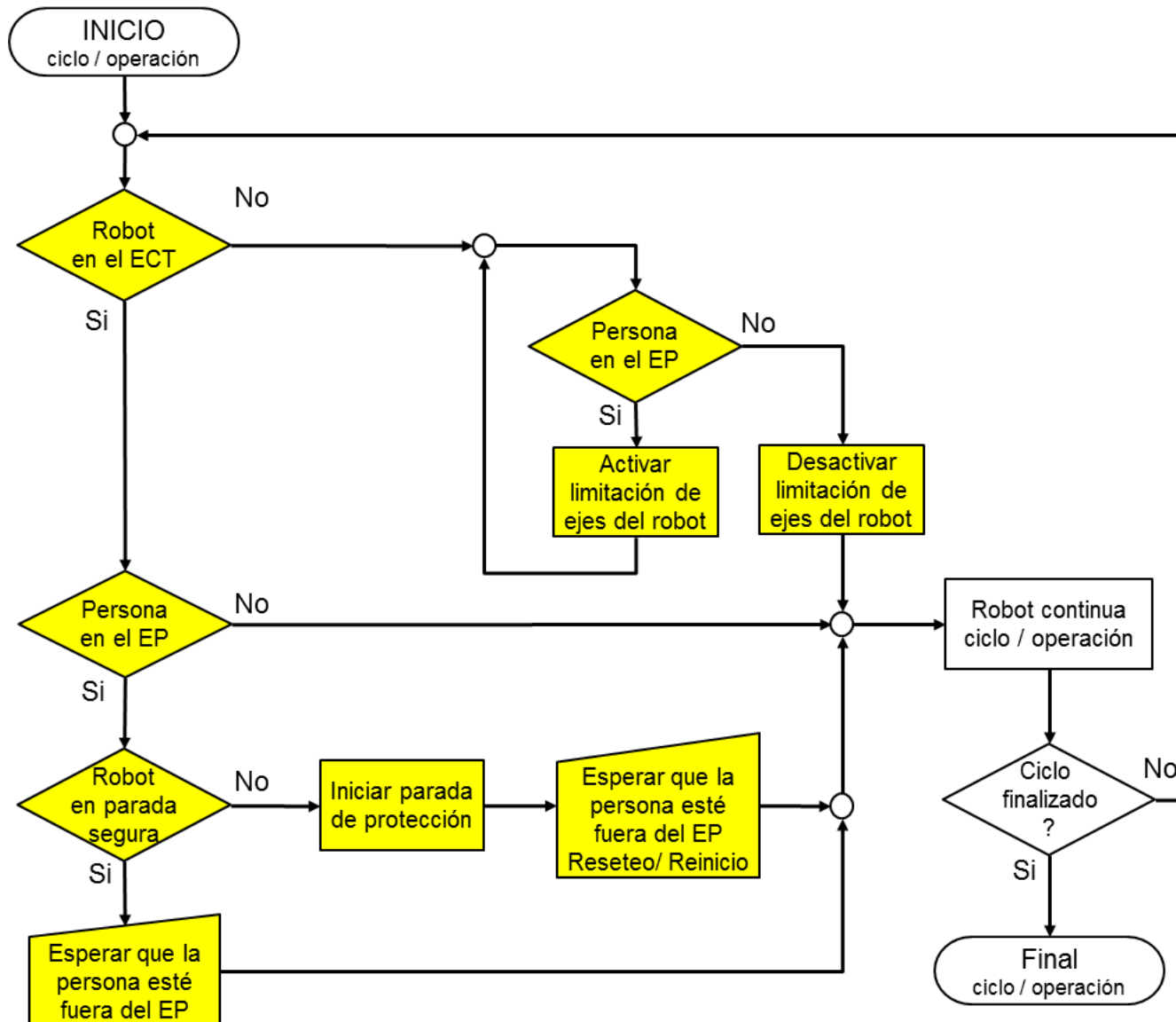
	Area / Campo	Efecto en el caso de la detección de una persona
	Espacio colaborativo de trabajo	No existe detección directa de la persona en el espacio colaborativo de trabajo. Las personas son detectadas indirectamente al estar situadas (erguidas) en el área de carga.
A	Campo de detección interno (se extiende bajo el bastidor)	Inicia una parada de seguridad de todas las funciones peligrosas del sistema robot. La orden de parada de seguridad se ha de mantener hasta que una acción voluntaria y manual sobre el órgano de rearme y que no pueda ser actuado desde la zona de peligro.
B	Campo de detección del área de carga	Inicia una parada de seguridad de las funciones peligrosas del sistema robot en el espacio colaborativo de trabajo. El robot puede continuar (reiniciar) su tarea automáticamente cuando la persona abandone el espacio colaborativo de trabajo sin entrar o haber entrado en el campo de detección interno
C	Campo de detección de entrada y salida	Puede usarse para iniciar la parada de seguridad y para detectar que la persona abandonó el espacio colaborativo de trabajo sin entrar en el campo de detección interno y reiniciar automáticamente la tarea del robot

- El robot debe de tener una función de parada segura monitorizada con PL “d”
- La parada puede realizarse con una función de parada de categoría 0, 1, o 2 de acuerdo con IEC 60204-1 (EN 60204-1).
- El robot debe detenerse y permanecer parado cuando una persona se encuentra el en espacio colaborativo de trabajo
- El robot puede continuar (reiniciar) su tarea de manera automática cuando la persona abandone el espacio colaborativo de trabajo.
- El robot debe de tener funciones de limitación de ejes y velocidades con PL “d”
- Las operaciones del robot solo deben ser posibles accionado un mando de validación y con velocidad reducida de manera segura (PL “d”). La velocidad ha de ser lo suficientemente baja para no ocasionar daño alguno!





## Diagrama de flujo funcional



ECT = espacio colaborativo de trabajo

EP = espacio protegido  
(espacio donde personas son detectadas por medio de un dispositivo de protección)

Parada Segura = Monitorizada

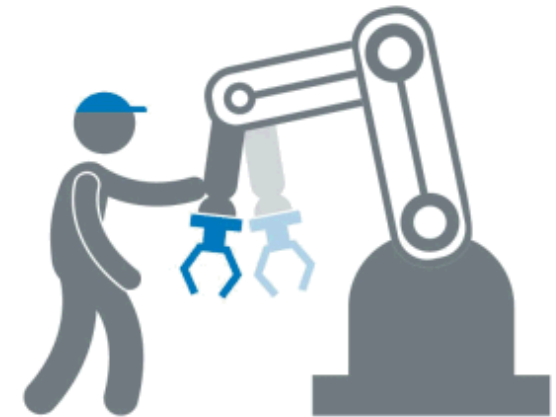


## Alternativa: diseño inherentemente seguro

- Requiere un robot(s) específicamente diseñado(s) para este modo particular de operación
- La reducción de riesgo se alcanza limitando la potencia y/o la fuerza de la manera siguiente:
  - ▶ Diseño mecánico inherentemente seguro (p. e. motores de bajo par, embragues de fricción, válvulas reductoras)
  - ▶ Funciones de seguridad de limitación (PL “d”) no parametrizables (p. e. fuerza y par de momento)
  - ▶ Dispositivos de protección sensibles (PSPE) a la presión con fuerza de actuación reducida. (PL “d”)
  - ▶ Dispositivos electrosensibles (ESPE) para anticipar colisiones y reducir las fuerzas resultantes. (PL “d”)

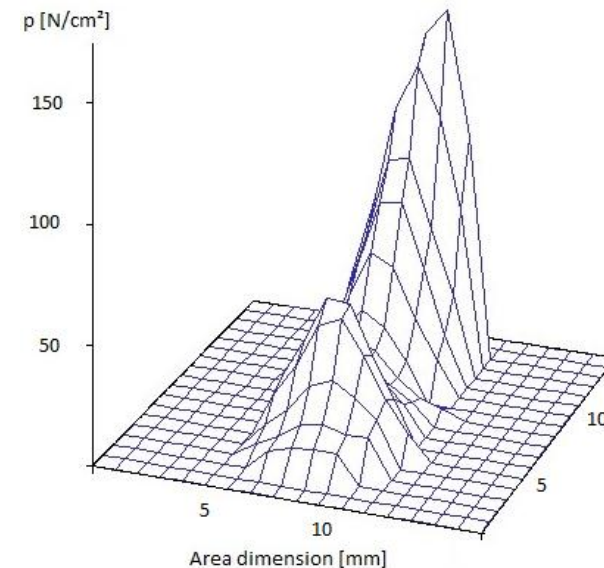


- Requiere un robot(s) específicamente diseñado(s) para este modo particular de operación
- Contactos entre el robot y las personas están permitidos pero solo cuando no originen lesión alguna o daño. Esto ha de ser asegurado mediante el método siguiente:
  - ▶ Determinar las partes del cuerpo humano que puedan ser envueltas en colisiones con el robot, su efector (actuador) u otras partes del sistema (p. e. mesas de carga y descarga) mediante un análisis de riesgo exhaustivo
  - ▶ Estimar de las fuerzas de contacto, presiones en caso de contactos cuasi-estáticos y energías en casos de impactos previsibles en la aplicación
  - ▶ Validar (por medición !) que dichos valores sean suficientemente menores a los establecidos en el Anexo A





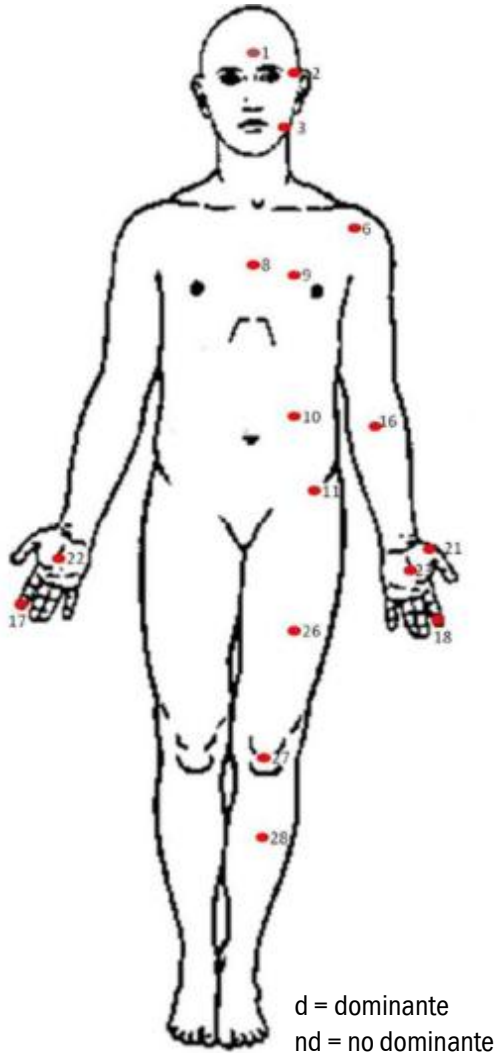
- Medición de presión – Algómetro
- Limite de dolor
- 1ª evaluación con 36 Personas
- Sonda de prueba       $14 \times 14\text{mm}$ .  
   aristas  $r = 2\text{mm}$
- Presión medida en cada  $\text{mm}^2$



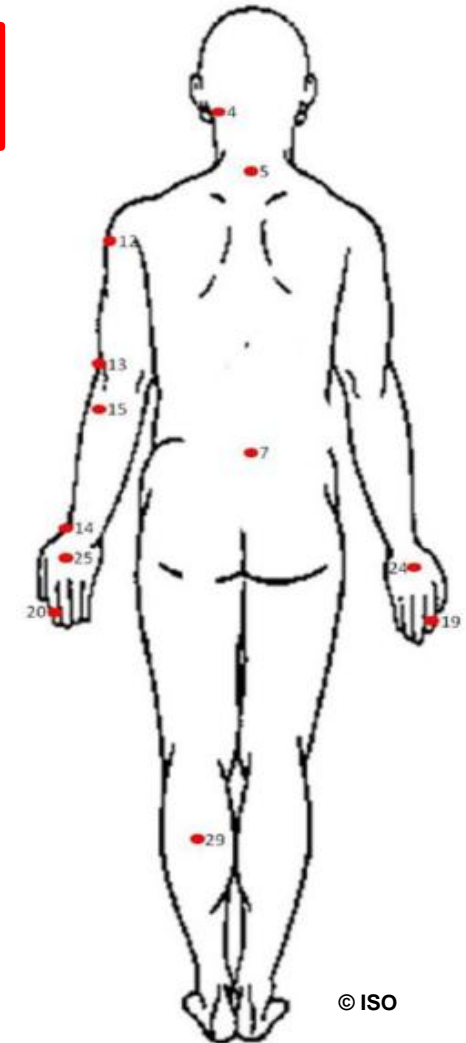
# LIMITACIÓN DE FUERZA Y/O POTENCIA

## Modelo corporal – Valores límites experimentales

### ZONA CRITICA

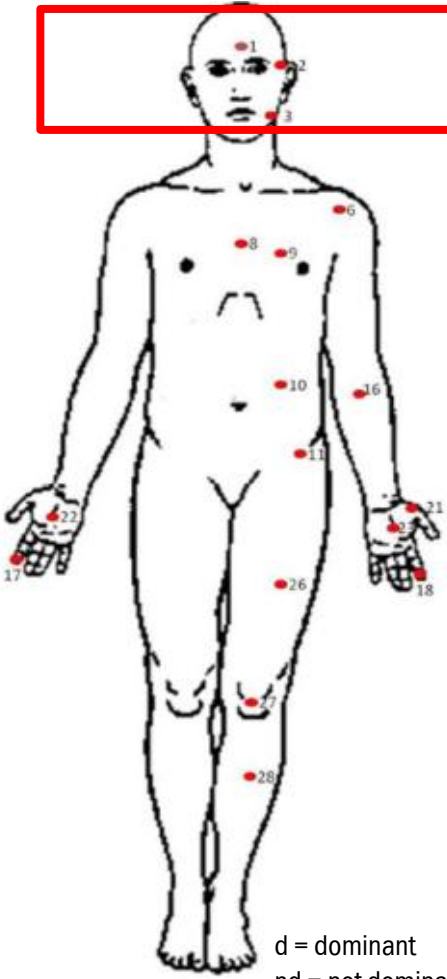


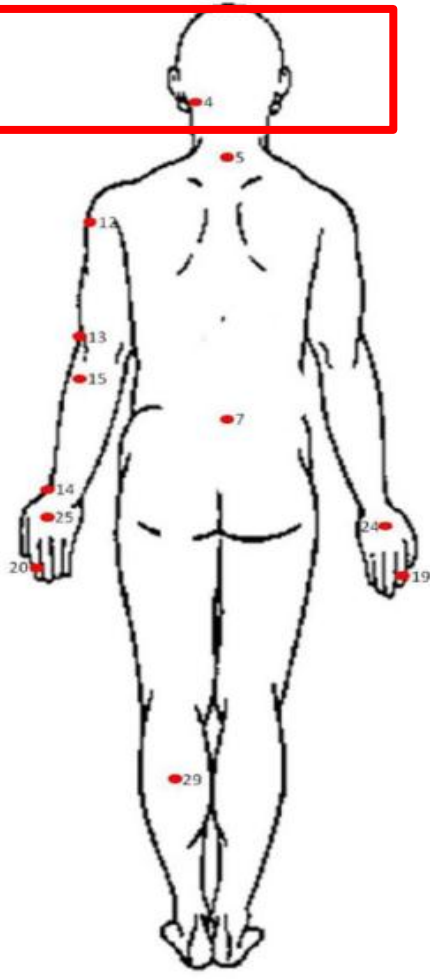
Localización corporal			Valor inicial	
Localización específica	Zona corporal		DOLOR Presión máxima [N/cm <sup>2</sup> ]	LESIÓN Fuerza [N]
1	Mitad de la frente	Rostro	114	130
2	Sien		85	
3	Musculo mastoideo	Cara	100	65
4	Musculo del cuello	Cuello / Espalda	108	145
5	7ª vertebra del cuello		149	
6	Hombro	Espalda / Clavícula	99	210
7	5ª vertebra lumbar		133	
8	Esternón	Pecho	99	140
9	Musculo pectoral		89	
10	Musculo abdominal	Abdomen	119	110
11	Hueso pélvico (cadera)	Cadera	181	180
12	Musculo deltoides	Brazo/Codo	137	150
13	Humero		178	
14	Radio	Antebrazo/ Articulación de la mano	158	160
15	Musculo del antebrazo		134	
16	Nervio del brazo	Brazo/Codo	122	150
17	Yema de dedo d	Mano/Dedos	163	135
18	Yema de dedo nd		159	
19	Articulación distal d		208	
20	Articulación distal nd		176	
21	Pulgar		144	
22	Palma de la mano d		171	
23	Palma de la mano nd		183	
24	Reverso de la mano d		166	
25	Reverso de la mano nd		156	
26	Musculo de	Pierna/Rodilla	133	220
27	Rótula		194	
28	Espinilla	Pierna	168	125
29	Musculo gemelo		128	



# LIMITACIÓN DE FUERZA Y/O POTENCIA

## Modelo corporal – Valores límites ISO/TS 15066

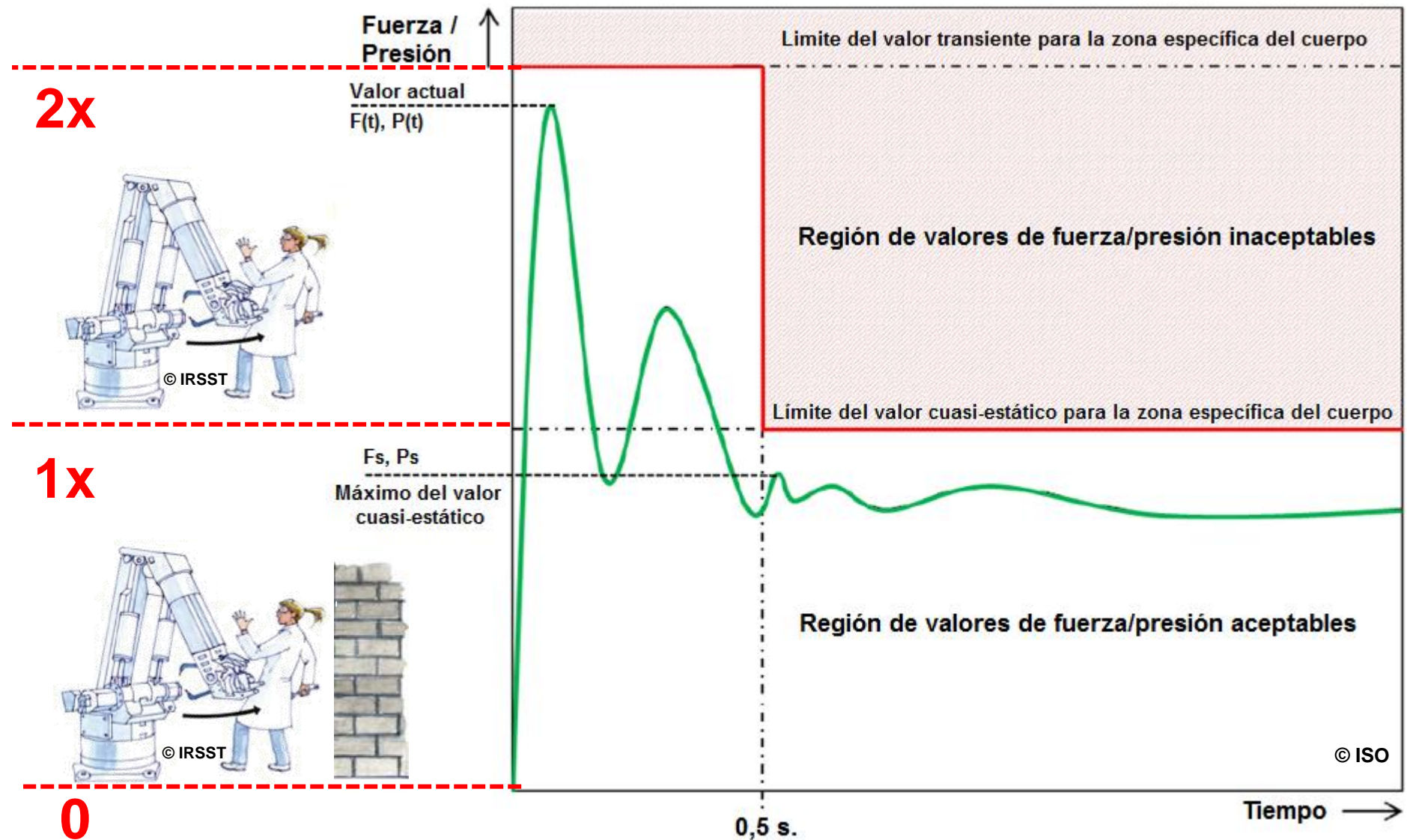
Localización corporal				Contacto cuasi estático		Contacto transiente	
Región corporal	Specific body area		Valor máximo permisible		Factor (P <sub>T</sub> )		
			Presión [N/cm <sup>2</sup> ]	Fuerza [N]	para los valores máximos permisibles		
 <p>d = dominant nd = not dominant</p>	Cabeza	1	Mitad de la frente	130	130	NO PERMITIDO	
		2	Sien	110			
	Rostro	3	Musculo mastoideo	110			65
	Cuello	4	Musculo del cuello	140	145	x 2	
		5	7ª vertebra del cuello	210			
	Espalda y hombros	6	Hombro	160	210		
		7	5ª vertebra lumbar	210			
	Pecho	8	Esternón	120	140		
		9	Musculo pectoral	170			
	Abdomen	10	Musculo abdominal	140	110		
	Cadera	11	Hueso pélvico (cadera)	210	180		
	Brazo / Codo	12	Musculo deltoides	190	150		
		13	Humero	220			
	Antebrazo / Articulación mano	14	Radio	190	160		
		15	Musculo del antebrazo	180			
	Brazo / Codo	16	Nervio del brazo	180	150		
		Mano y dedos	17	Yema de dedo d			300
	18		Yema de dedo nd	270			
	19		Articulación distal d	280			
	20		Articulación distal nd	220			
	21		Pulgar	200			
	22		Palma de la mano d	260			
	23		Palma de la mano nd	190			
	24		Reverso de la mano d	200			
	Muslo / Rodilla	26	Musculos del muslo	250			220
		27	Rótula	220			
	Pierna	28	Espinilla	220	130		
		29	Musculo gemelo	210			


--



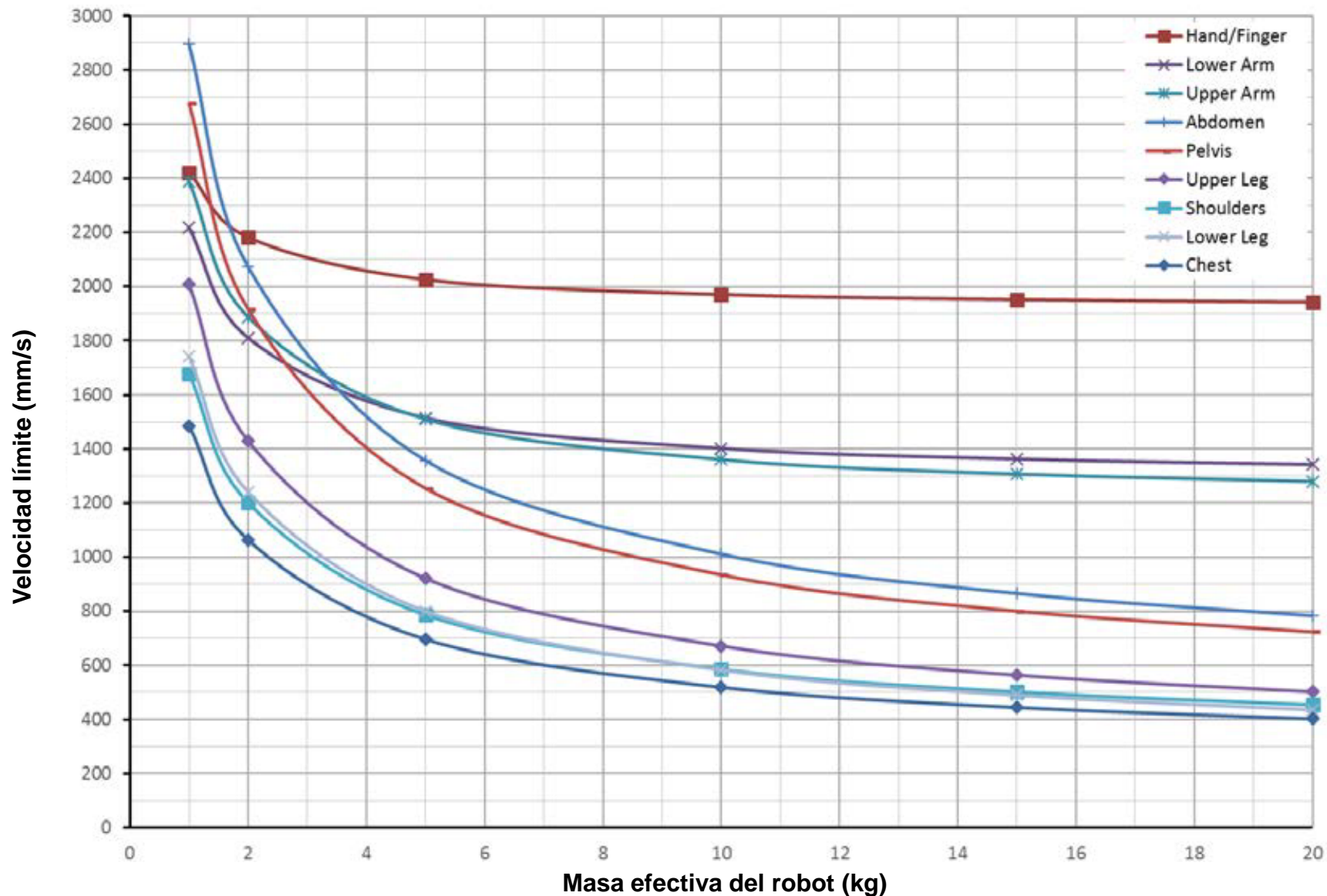
# LIMITACIÓN DE FUERZA Y/O POTENCIA

Características de impactos : cuasi-estático / transiente





## Velocidades máximas de robots



© ISO

Requisitos muy importantes y en ocasiones muy olvidados !

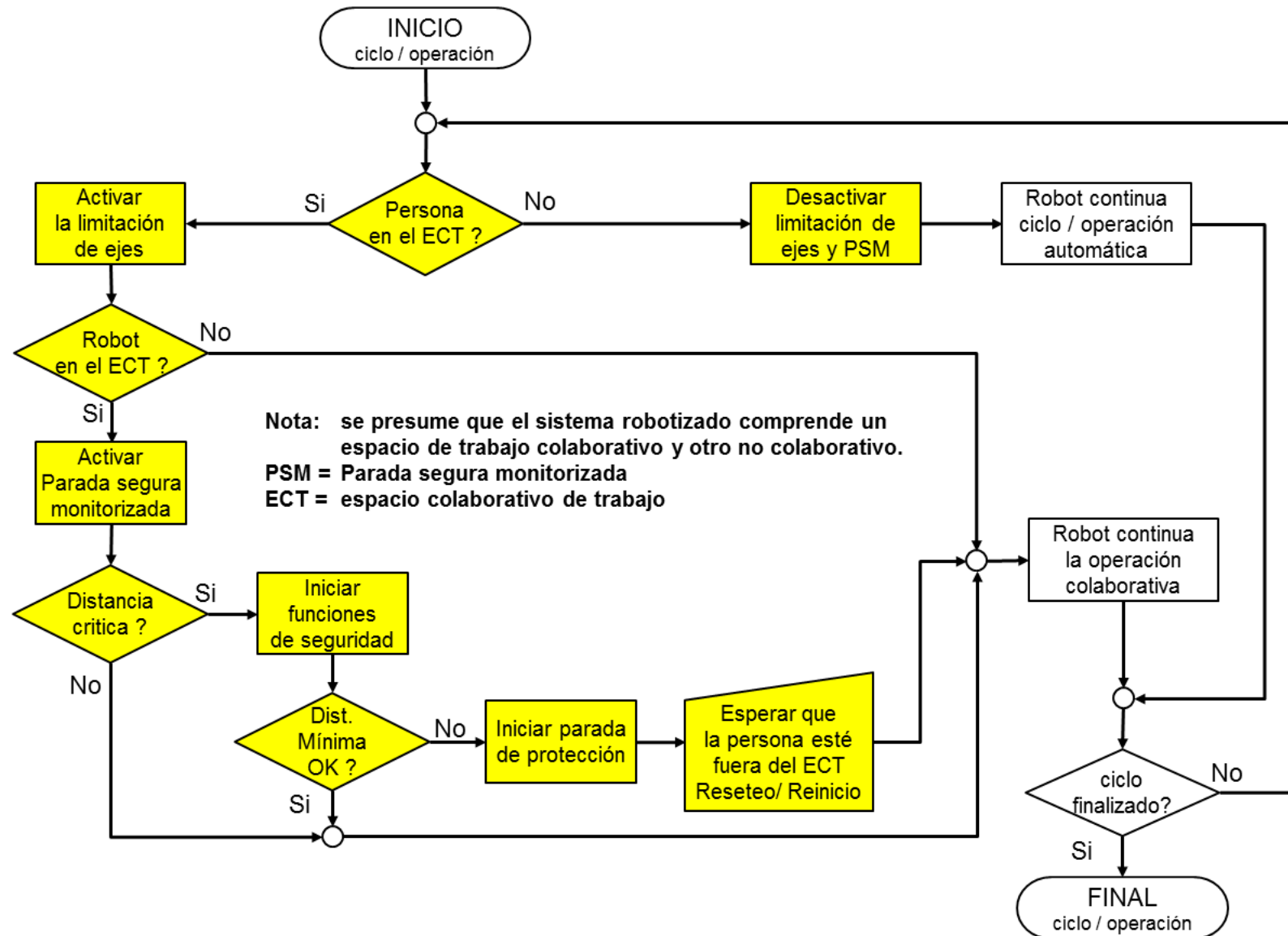
- Limitación efectiva de la fuerza o potencia máxima
- Validación (medida !) de los límites para todas las partes para las que un contacto con el robot es razonablemente asumible.
- Consideración del mal uso razonablemente previsible (2006/42/EC e ISO 12100)
- Ausencia de peligros      mecánicos - eléctricos - térmicos  
en:                              piezas - maquina - área de tarea colaborativa
- La operación colaborativa resultará en muchos casos en contactos repetidos.  
El efecto acumulado de estos contactos no debe resultar en ningún daño o lesión

**Para la mayor parte de las aplicaciones de robots colaborativos el resultado de la evaluación de riesgos demostrará que es necesario aplicar dispositivos de protección !**

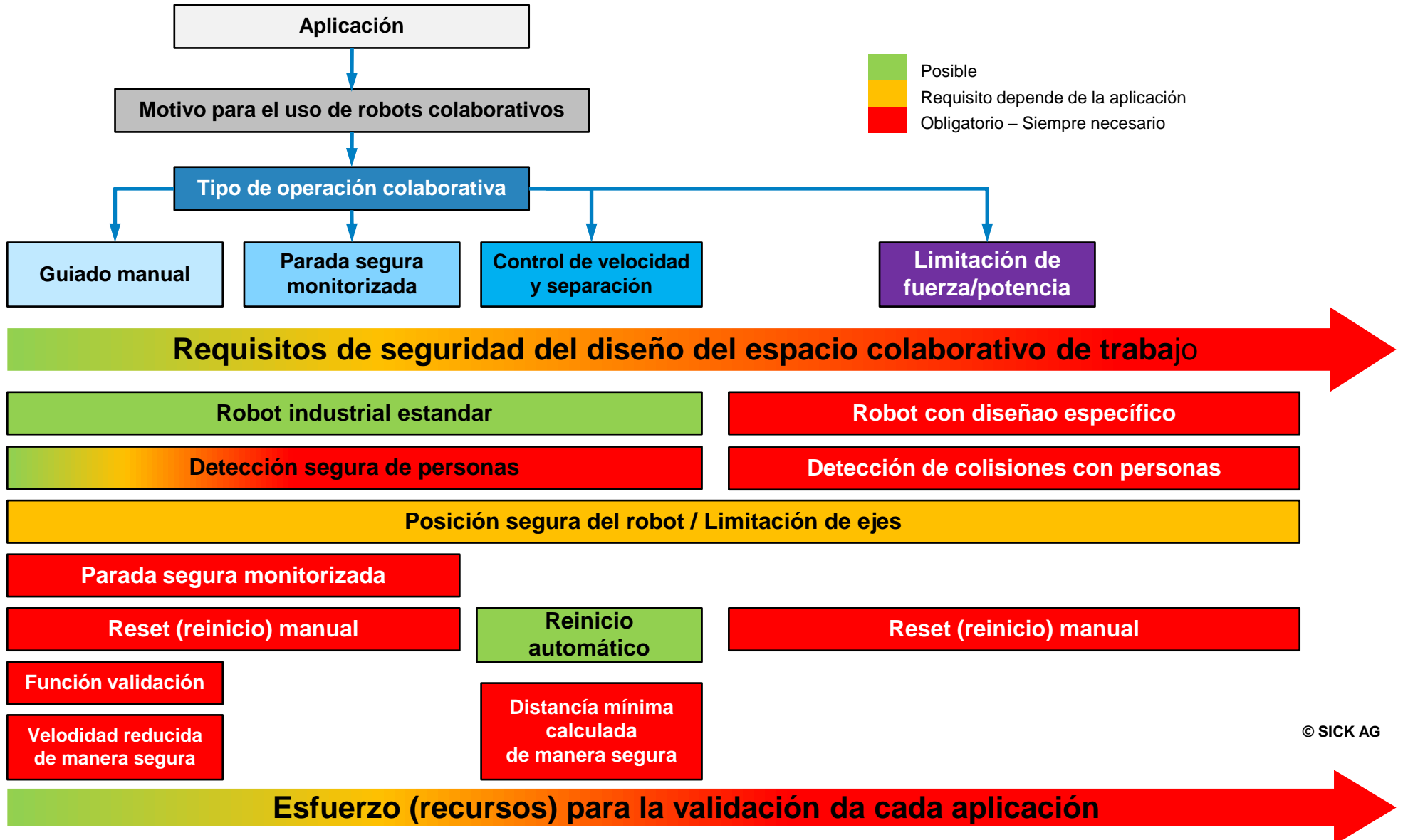


- La reducción de riesgo se alcanza manteniendo la separación (distancia mínima) entre la persona (operador) y el robot, ya sea reduciendo la velocidad del robot a alterando su trayectoria.
- Se requiere la detección de personas en el espacio colaborativo de trabajo. (PL “d”)
- El robot debe de tener una función de parada segura monitorizada (PL “d”)
- El robot debe de tener funciones de limitación de ejes y velocidades (PL “d”)
- Cuando no sea posible (pe. por un fallo) mantener la distancia mínima entre la persona(s) y el robot (s) en el espacio colaborativo de trabajo se deberá iniciar una parada de protección
- La función de parada puede ser de categoría 0, 1, o 2 de acuerdo con IEC 60204-1 (EN 60204-1).
- Una vez realizada, la parada debe monitorizarse continuamente. Un fallo que lleve a la pérdida de la función de parada o de su monitorización debe iniciar inmediatamente una parada de categoría 0
- El robot puede continuar (reiniciar) su tarea automáticamente cuando la persona abandone el espacio colaborativo de trabajo.
- Todas las personas presentes en el espacio colaborativo deben ser detectadas. Si esto no es posible (imposibilidad o restricción técnica, fallo de detección) se deberá iniciar una parada de protección

## Diagrama de flujo funcional



## Requisitos para un interacción segura Persona/Robot





MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN.



Otto Görnemann

Industrial Safety

Tel.: +49 7681 202 5420

[Otto.Goernemann@sick.de](mailto:Otto.Goernemann@sick.de)

