

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



- 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)

■ ISO/TS 15066:2015

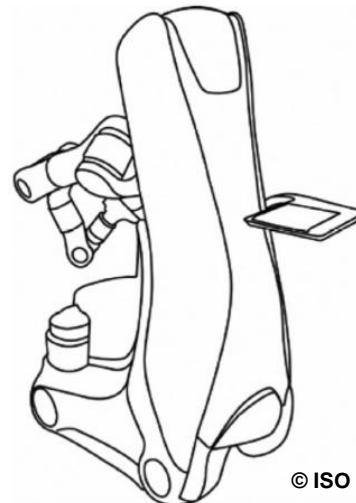
Robots y dispositivos robóticos - Robots de colaboración. (Especificación Técnica)

- ▶ 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 y -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

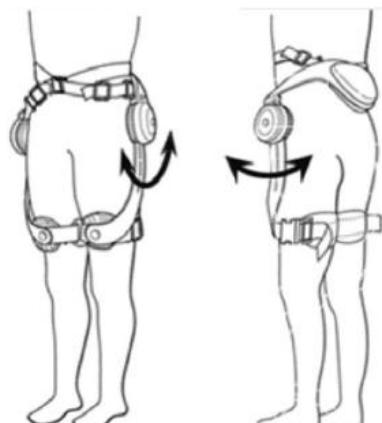


© ISO

Asistencia en general

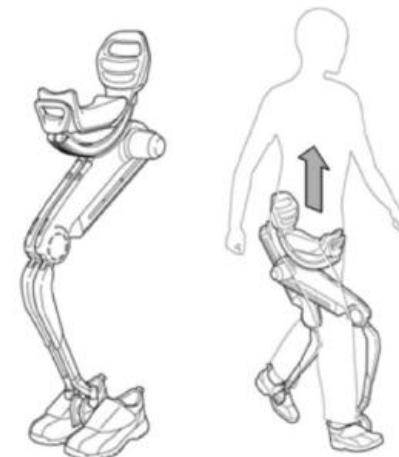


© ISO

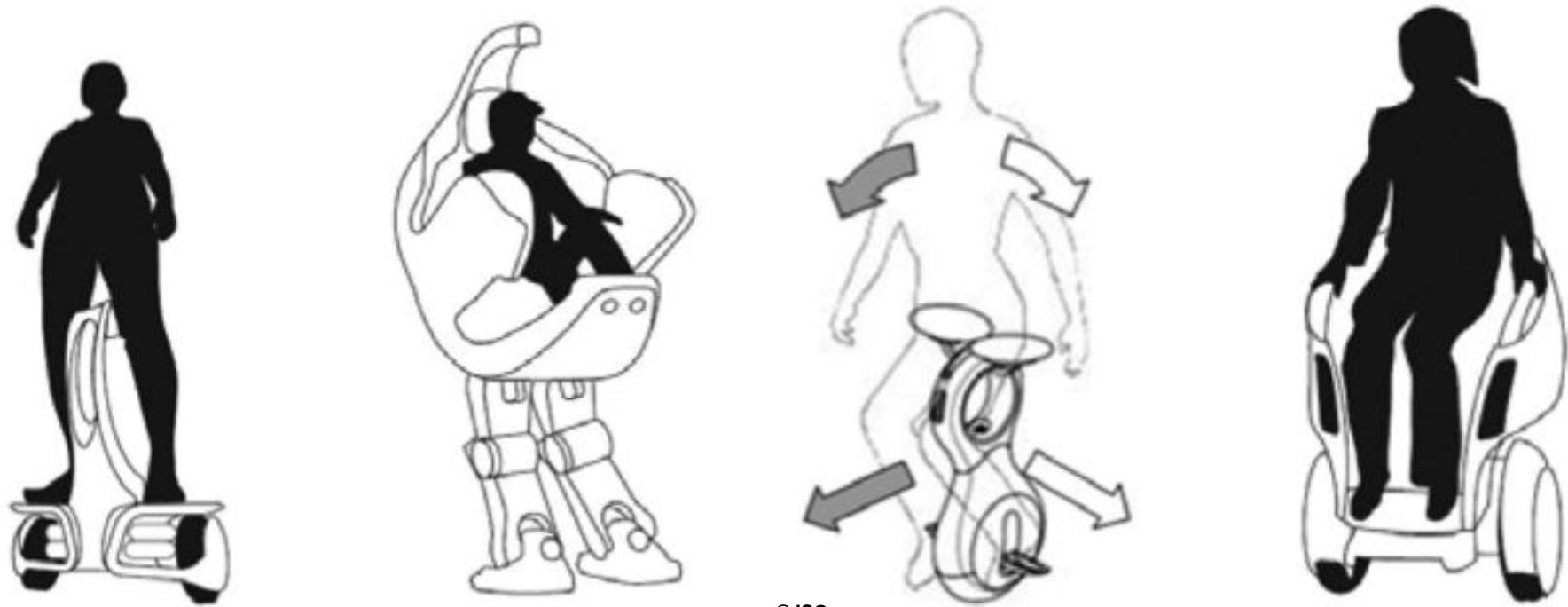


© ISO

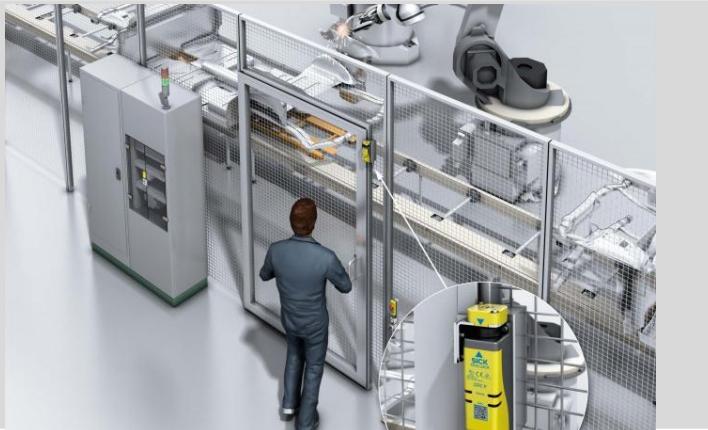
Asistencia física



© ISO



Asistencia en transporte de personas

Tipo de interacción	Tiempo diferente	Al mismo tiempo
Espacio compartido	 A worker in a blue uniform is pushing a pallet truck with several white boxes. In the background, an orange robotic arm is positioned behind a safety cage, working on a task. The worker and the robot are in the same physical space but at different times.	 A worker in a blue uniform is standing next to an open car hood, working on the engine. An industrial robotic arm is positioned in a safety cage nearby, also working on the car. The worker and the robot are in the same physical space at the same time.
No se comparte espacio	Sin interacción © SICK AG	 A worker in a blue uniform is standing in a separate room, looking at a robotic arm through a glass partition. The worker and the robot are not in the same physical space.

QUE ES UN ROBOT COLABORATIVO ?

Definiciones de las Normas

- 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 automación 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.

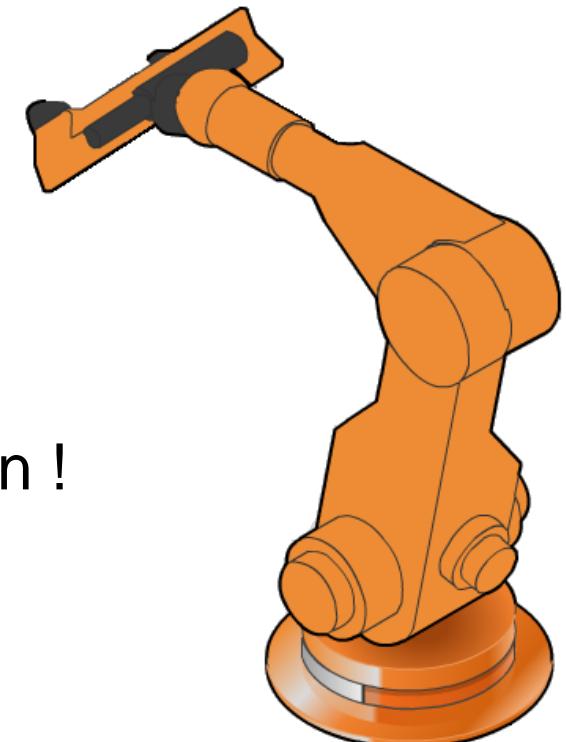
- ISO 10218-1 3.5 **Espacio de trabajo colaborativo.**

Espacio de trabajo dentro del espacio resguardado (protector) 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 quasi 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 es inherentemente seguro ! depende !

- ▶ 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

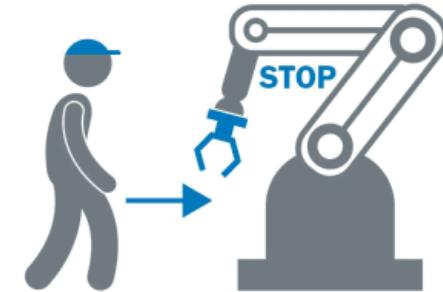
SICK
Sensor Intelligence.

TIPOS DE OPERACIÓN DE ROBOTS COLABORATIVOS

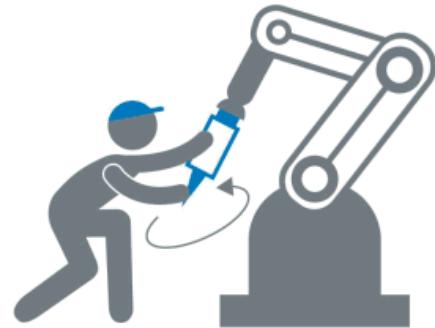
Definiciones de ISO TS 15066

SICK
Sensor Intelligence.

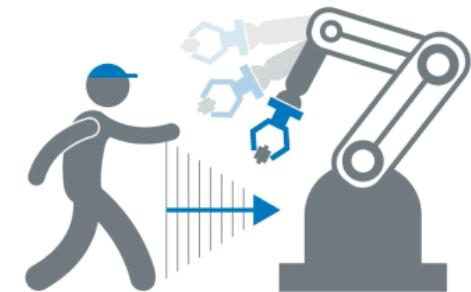
- Parada segura monitorizada



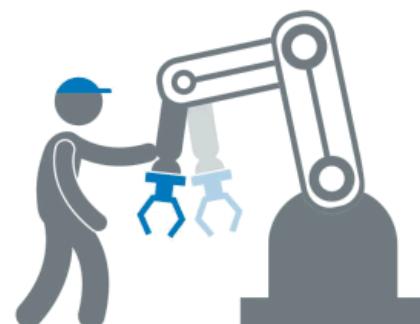
- Guiado manual



- Control de velocidad y separación



- Limitación de fuerza y energía

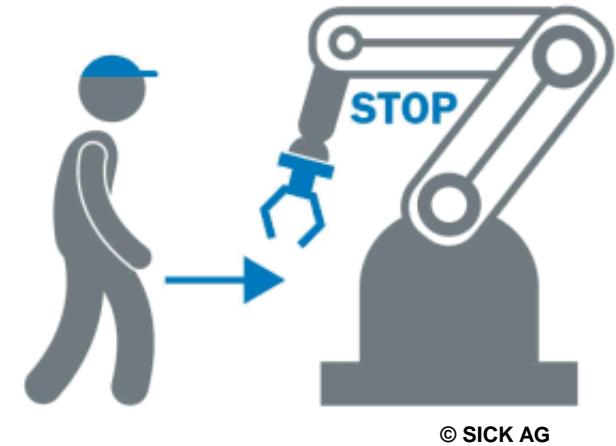


© SICK AG

PARADA SEGURA MONITORIZADA

La mejora del clásico robot industrial

- 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.
- Una vez realizada, la parada debe monitorizarse continuamente por el sistema de mando relativo a la seguridad. Un fallo que lleve a la perdida de la función de parada o de su monitorización debe iniciar inmediatamente una parada de la categoría 0 (desconexión de la energía)

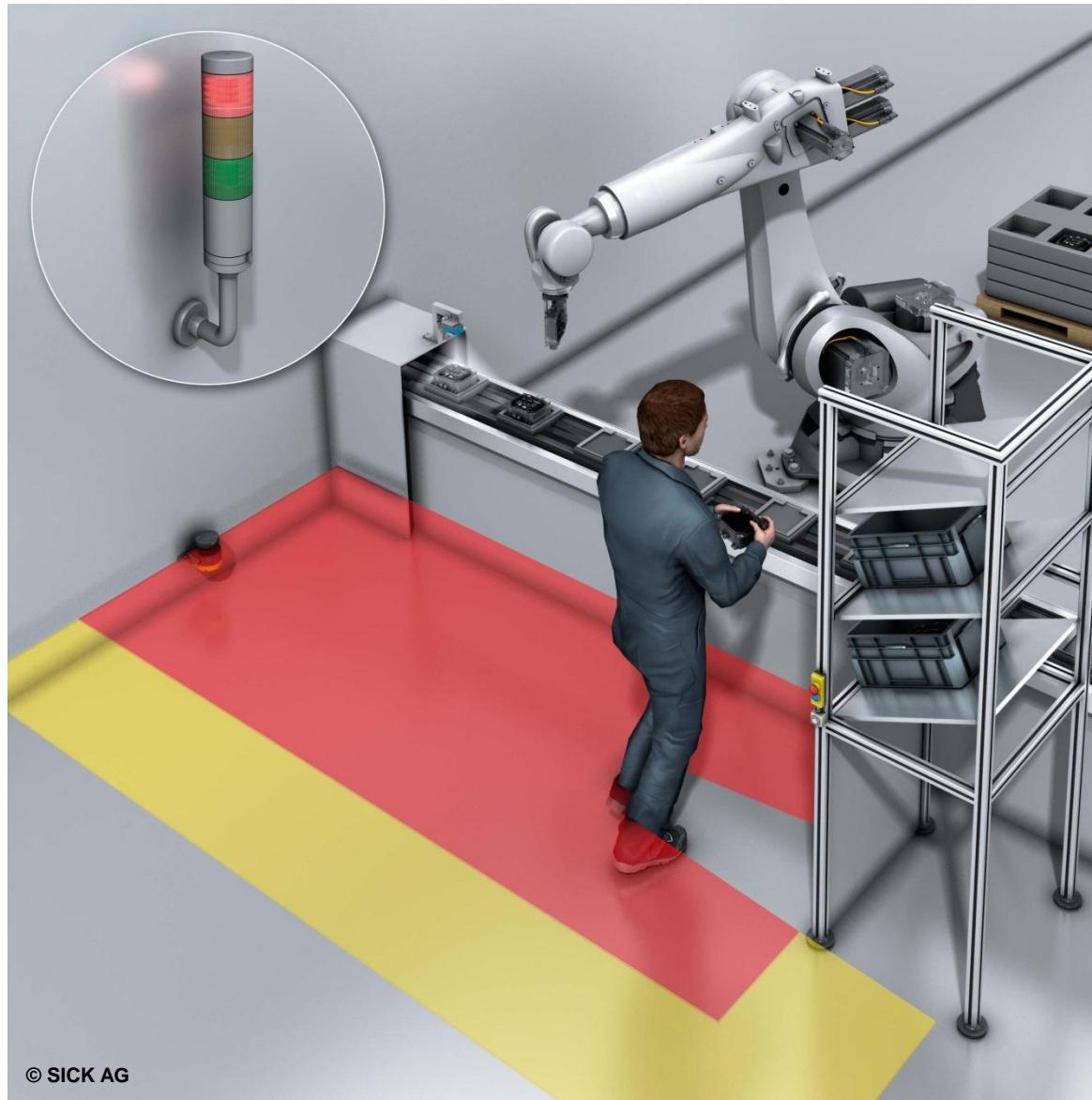


© SICK AG

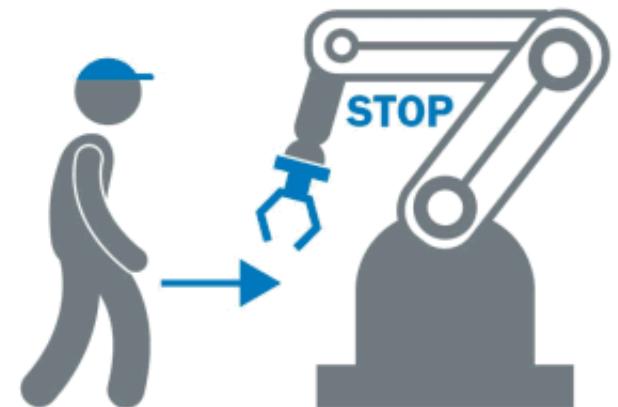
PARADA SEGURA MONITORIZADA

Ejemplo de aplicación

SICK
Sensor Intelligence.



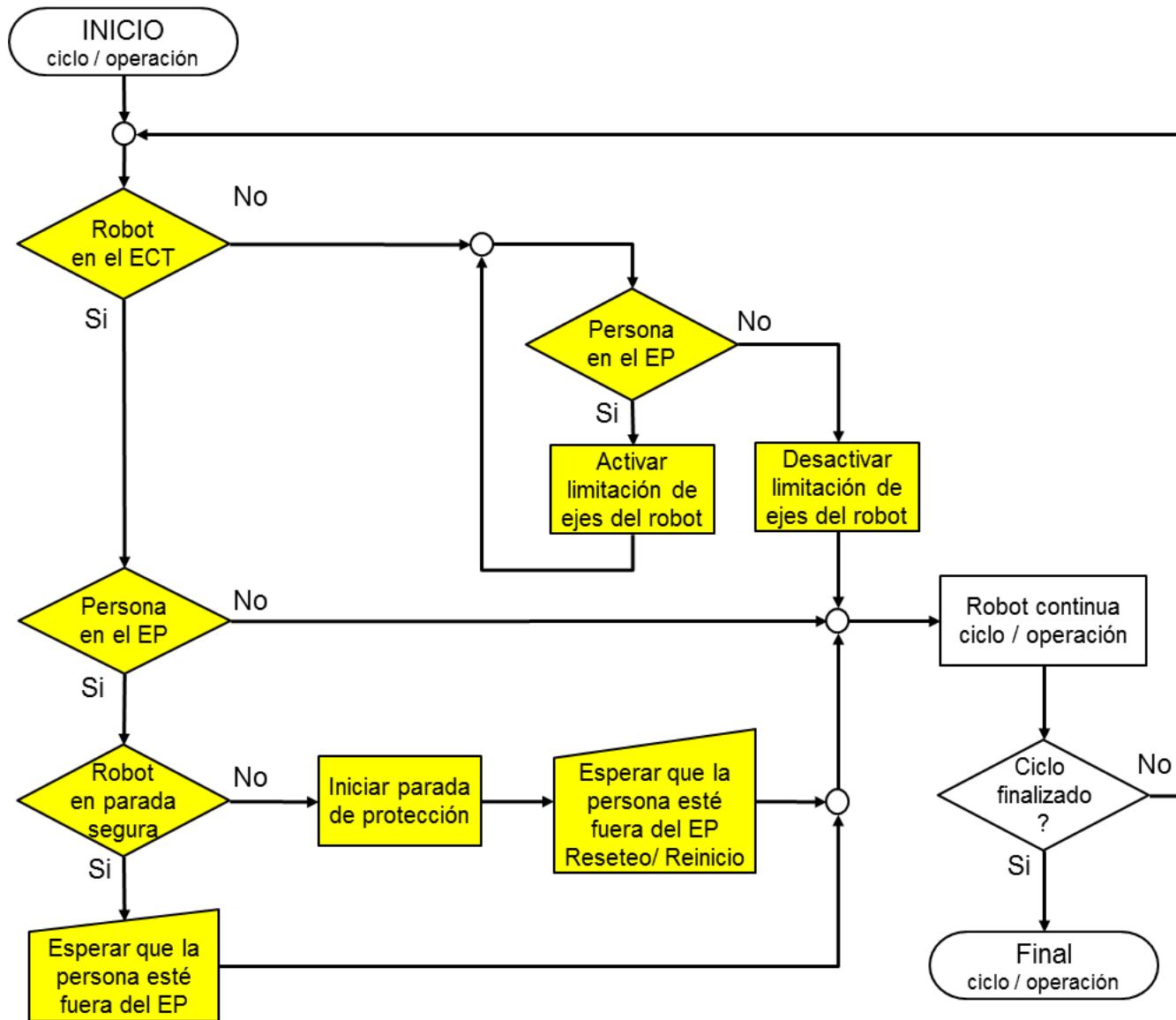
© SICK AG



© SICK AG

PARADA SEGURA MONITORIZADA

Diagrama de flujo funcional



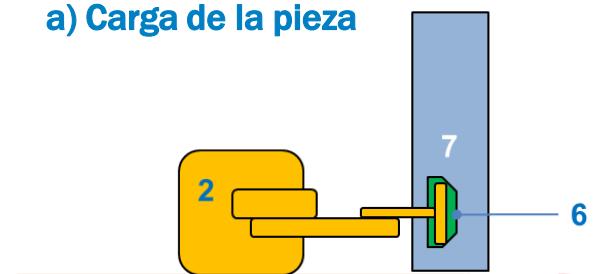
ECT = espacio colaborativo de trabajo

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

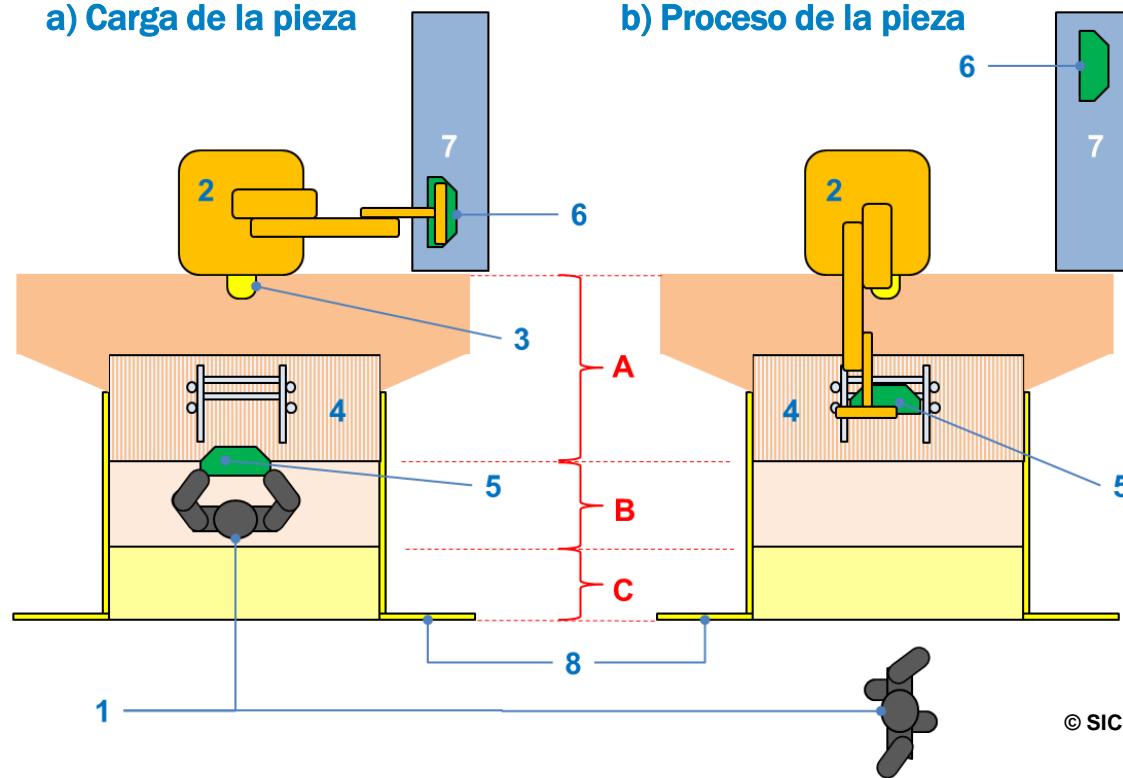
Parada Segura = Monitorizada

	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)	

a) Carga de la pieza



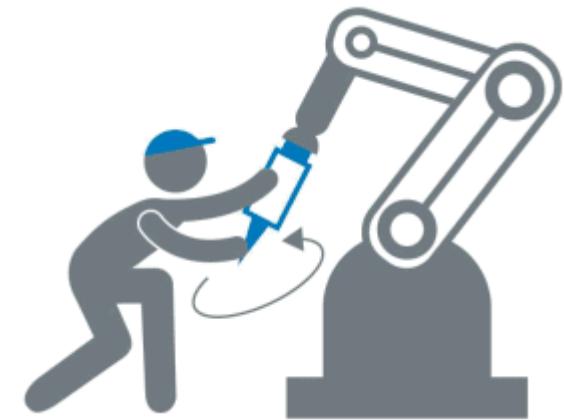
b) Proceso de la pieza

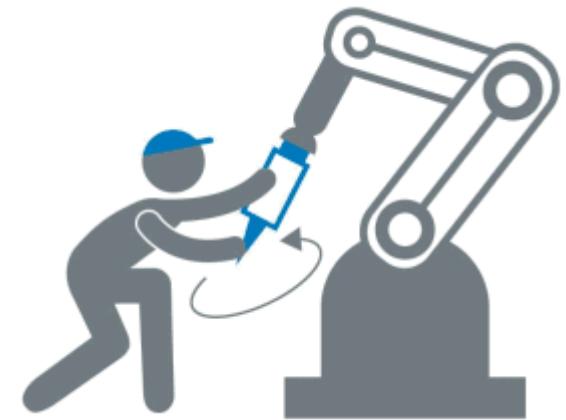
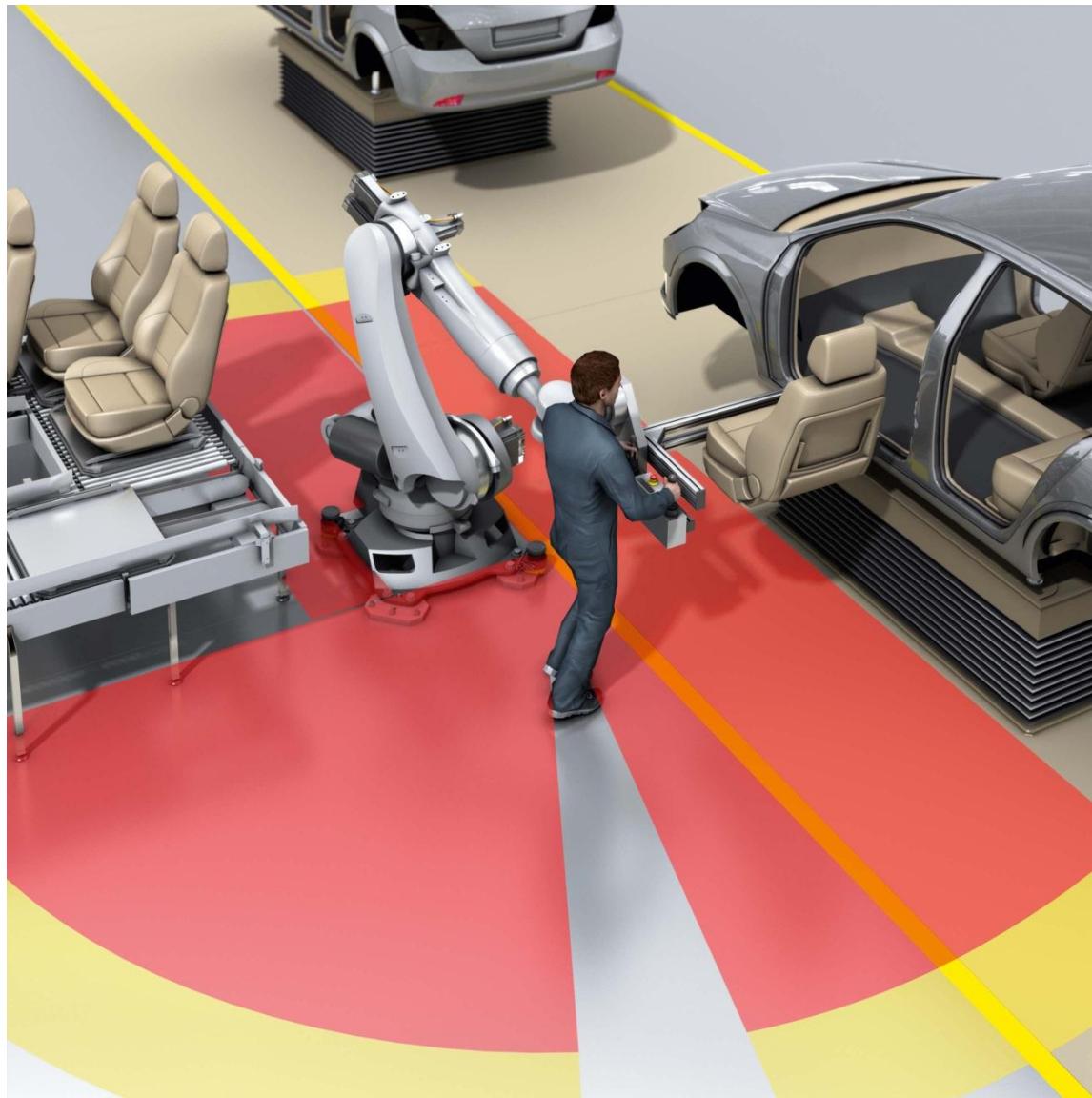


© SICK AG

Área / 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.

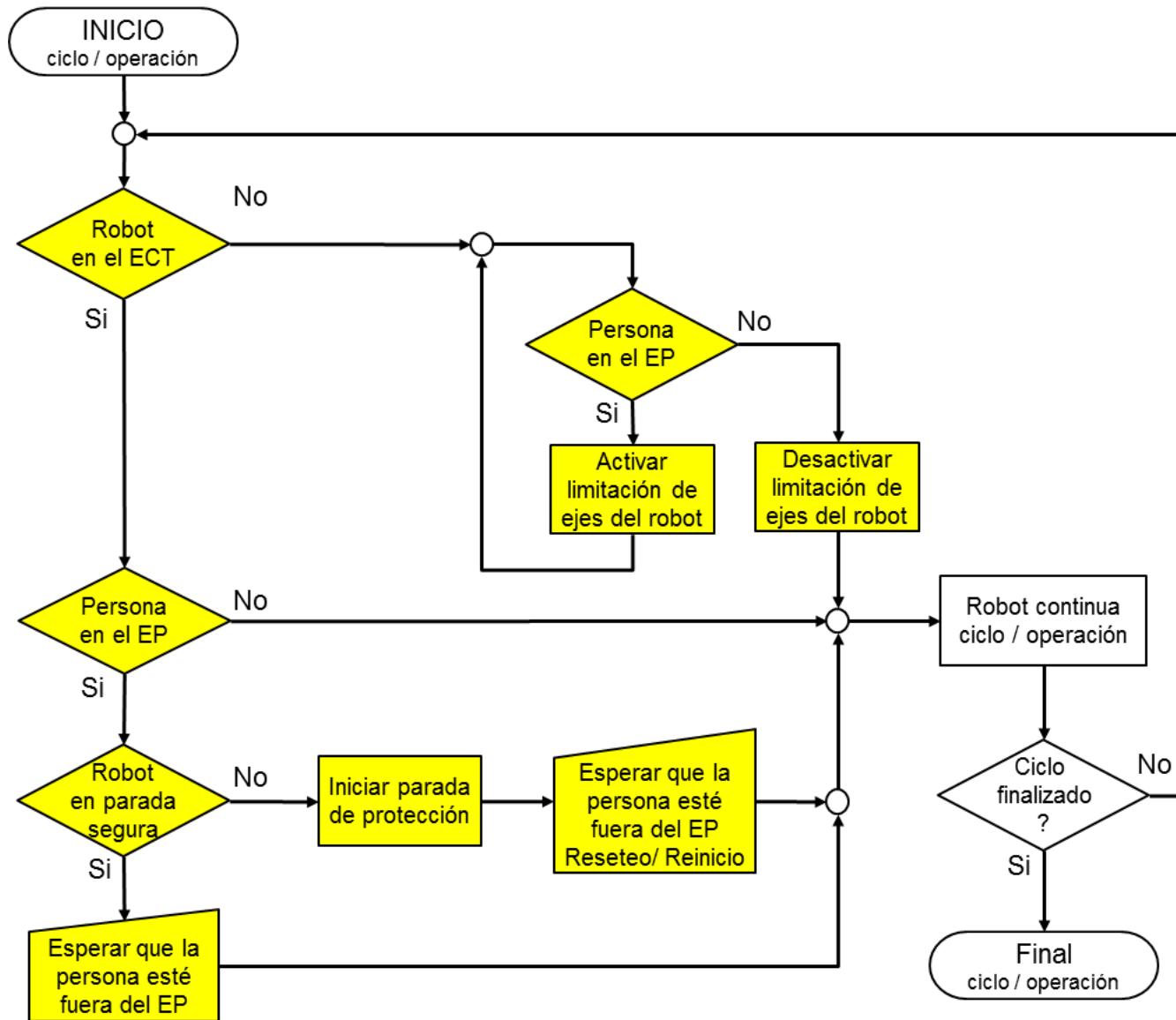
- El robot debe de tener una función de parada segura monitorizada con PL “d”
- La parada puede realizarse con una función de parada de categoría 0, 1, o 2 de acuerdo con IEC 60204-1 (EN 60204-1).
- El robot debe detenerse y permanecer parado cuando una persona se encuentra el en espacio colaborativo 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 accionando 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!





PARADA SEGURA MONITORIZADA

Diagrama de flujo funcional

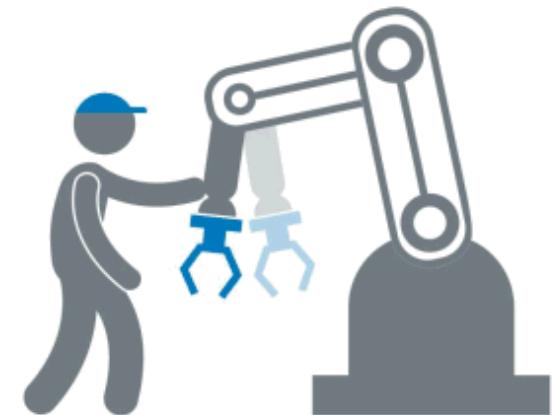


ECT = espacio colaborativo de trabajo

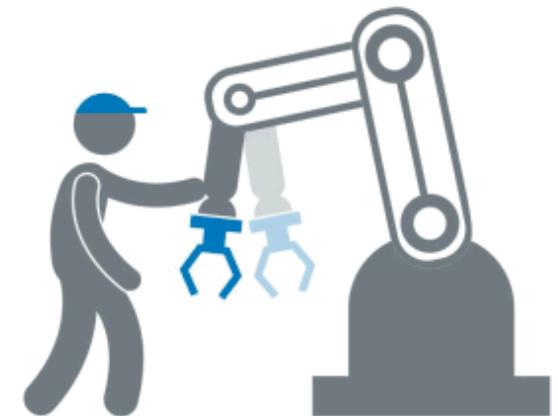
EP = espacio protegido
(espacio donde personas son detectadas por medio de un dispositivo de protección)

Parada Segura = Monitorizada

- 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 efecto (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 quasi-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



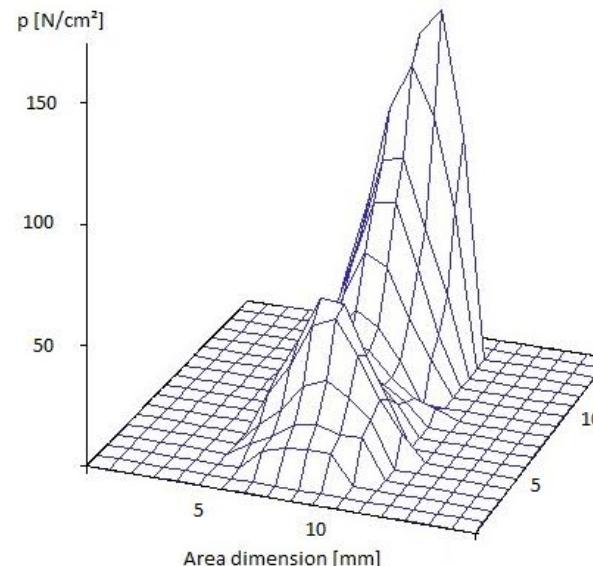
LIMITACIÓN DE FUERZA Y/O POTENCIA

Estudio científico – Universidad de Maguncia – Instituto IFA del DGUV

SICK
Sensor Intelligence.



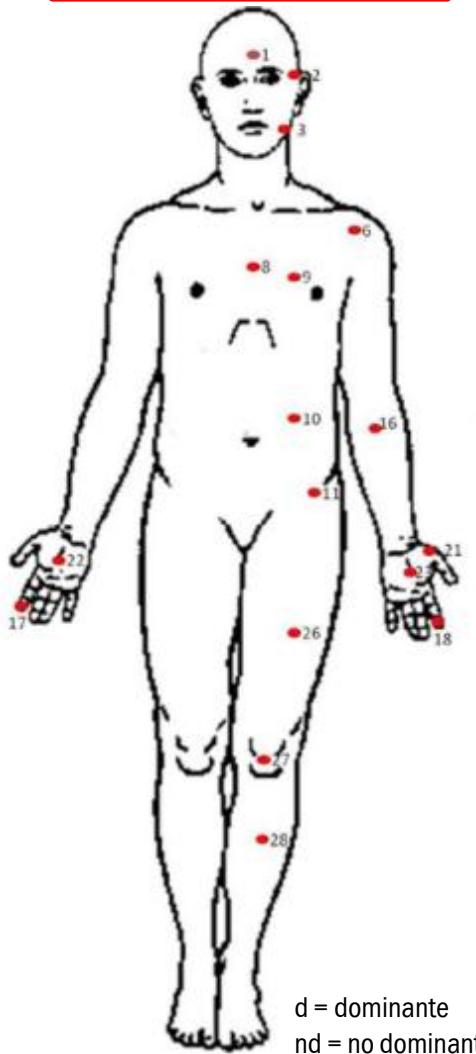
- Medición de presión – Algómetro
- Límite de dolor
- 1^a evaluación con 36 Personas
- Sonda de prueba $14 \times 14\text{mm}$.
aristas $r = 2\text{mm}$
- Presión medida en cada mm^2



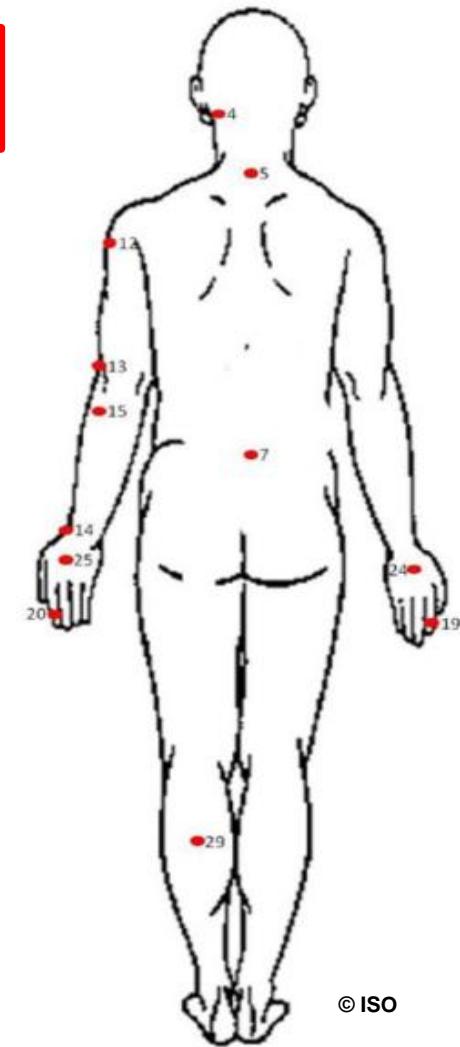
LIMITACIÓN DE FUERZA Y/O POTENCIA

Modelo corporal – Valores límites experimentales

ZONA CRITICA

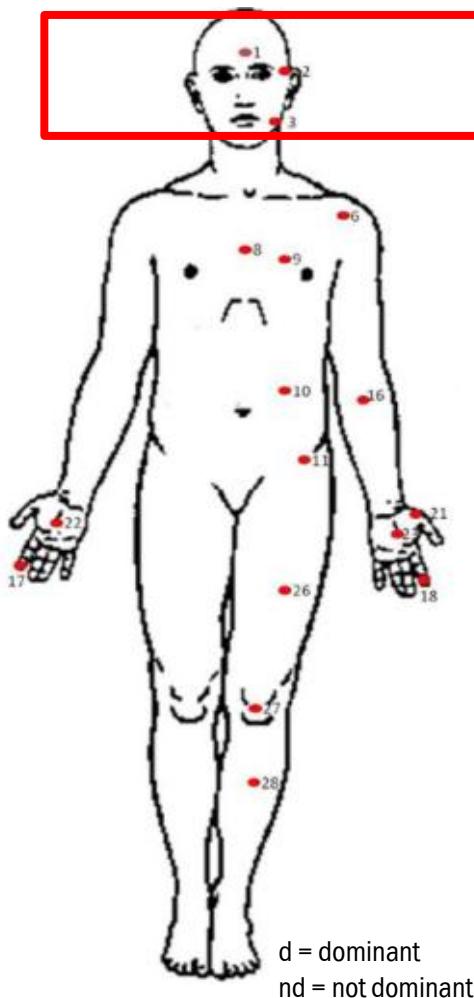


Localización corporal		Valor inicial	
Localización específica	Zona corporal	DOLOR	LESIÓN
		Presión máxima [N/cm ²]	Fuerza [N]
1	Mitad de la frente	114	
2	Sien	85	130
3	Musculo mastoideo	100	65
4	Musculo del cuello	108	
5	7 ^a vértebra del cuello	149	145
6	Hombro	99	
7	5 ^a vértebra lumbar	133	210
8	Esterón	99	
9	Musculo pectoral	89	140
10	Musculo abdominal	119	110
11	Hueso pélvico (cadera)	181	180
12	Musculo deltoides	137	
13	Humero	178	150
14	Radio	158	
15	Musculo del antebrazo	134	160
16	Nervio del brazo	122	150
17	Yema de dedo d	163	
18	Yema de dedo nd	159	
19	Articulación distal d	208	
20	Articulación distal nd	176	
21	Pulgar	144	135
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	133	
27	Rótula	194	220
28	Espinilla	168	
29	Musculo gemelo	128	125



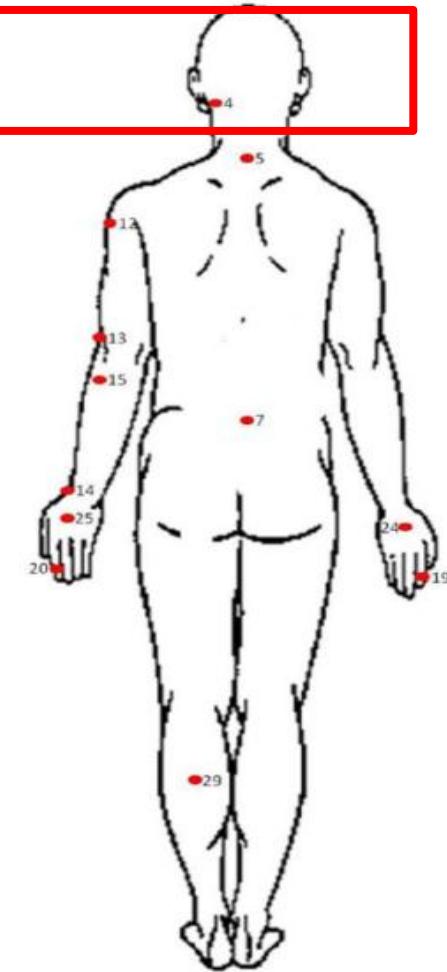
LIMITACIÓN DE FUERZA Y/O POTENCIA

Modelo corporal – Valores límites ISO/TS 15066



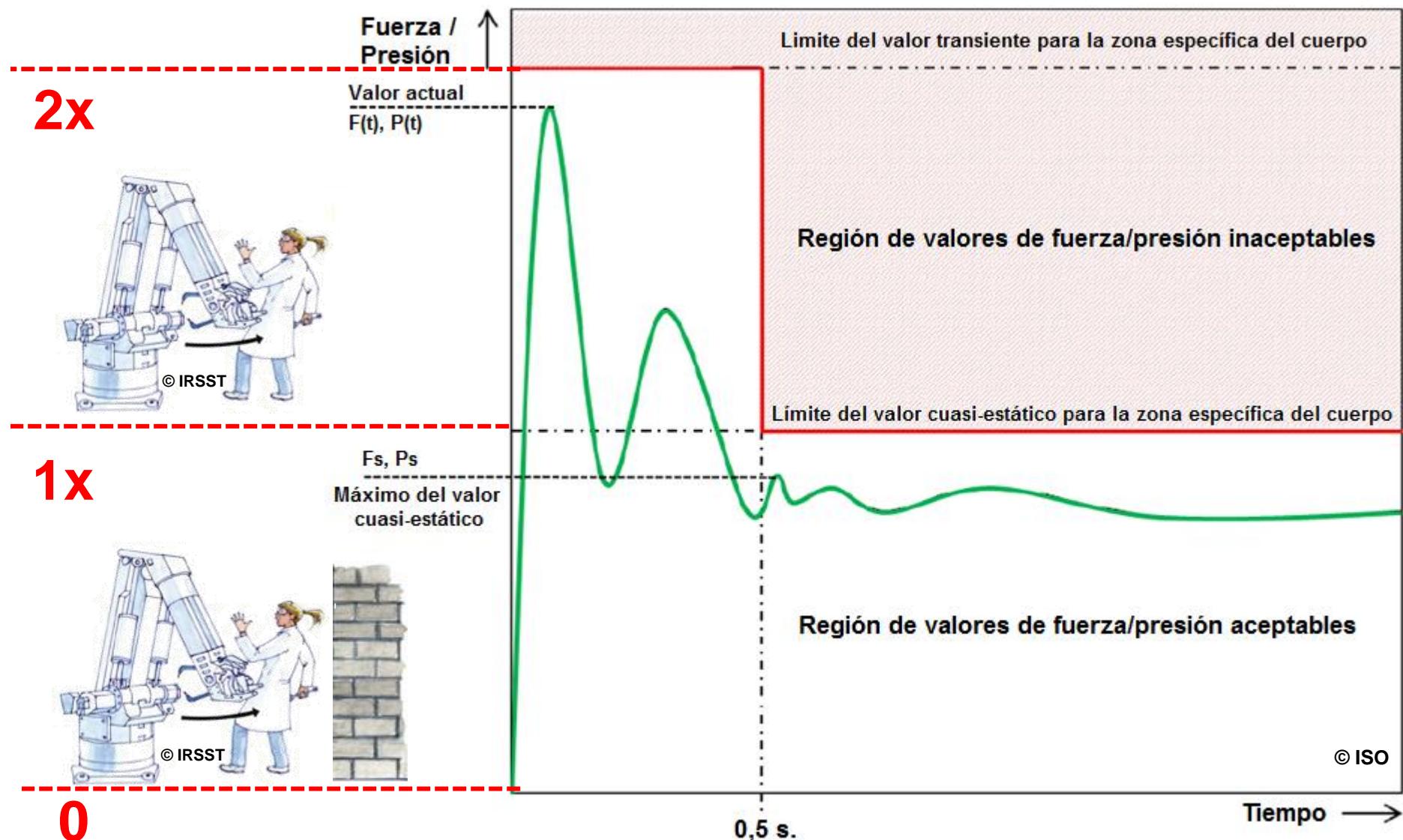
Localización corporal		Contacto cuasi estático		Contacto transiente
Región corporal	Specific body area	Valor máximo permisible		Factor (P_f) para los valores máximos permisibles
		Presión [N/cm ²]	Fuerza [N]	
Cabeza	1	Mitad de la frente	130	130
	2	Sien	110	
Rostro	3	Musculo mastoideo	110	65
	4	Musculo del cuello	140	
Cuello	5	7 ^a vértebra del cuello	210	145
	6	Hombro	160	
Espalda y hombros	7	5 ^a vértebra lumbar	210	210
	8	Esternón	120	
Pecho	9	Musculo pectoral	170	140
	10	Musculo abdominal	140	
Abdomen	11	Hueso pélvico (cadera)	210	110
Cadera	12	Musculo deltoides	190	180
Brazo / Codo	13	Humero	220	150
	14	Radio	190	
Antebrazo / Articulación mano	15	Musculo del antebrazo	180	160
	16	Nervio del brazo	180	
Mano y dedos	17	Yema de dedo d	300	150
	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	
	25	Reverso de la mano nd	190	
	26	Musculos del muslo	250	220
Muslo / Rodilla	27	Rótula	220	
	28	Espinilla	220	130
	29	Musculo gemelo	210	

X 2

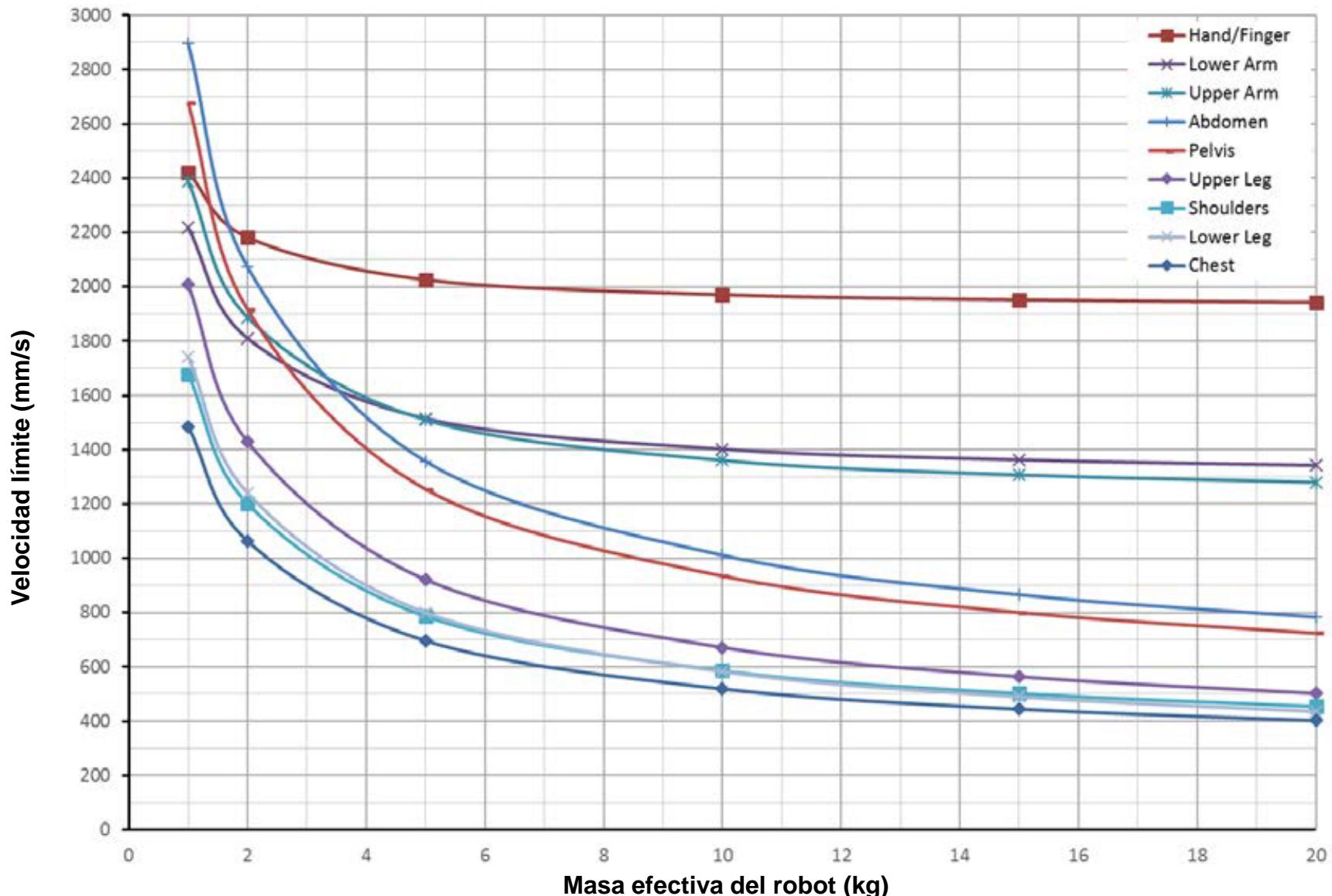


LIMITACIÓN DE FUERZA Y/O POTENCIA

Características de impactos : quasi-estático / transiente



Velocidades máximas de robots



© ISO

- 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 !

CONTROL DE VELOCIDAD Y SEPARACIÓN

El futuro – ahora ?

SICK
Sensor Intelligence.

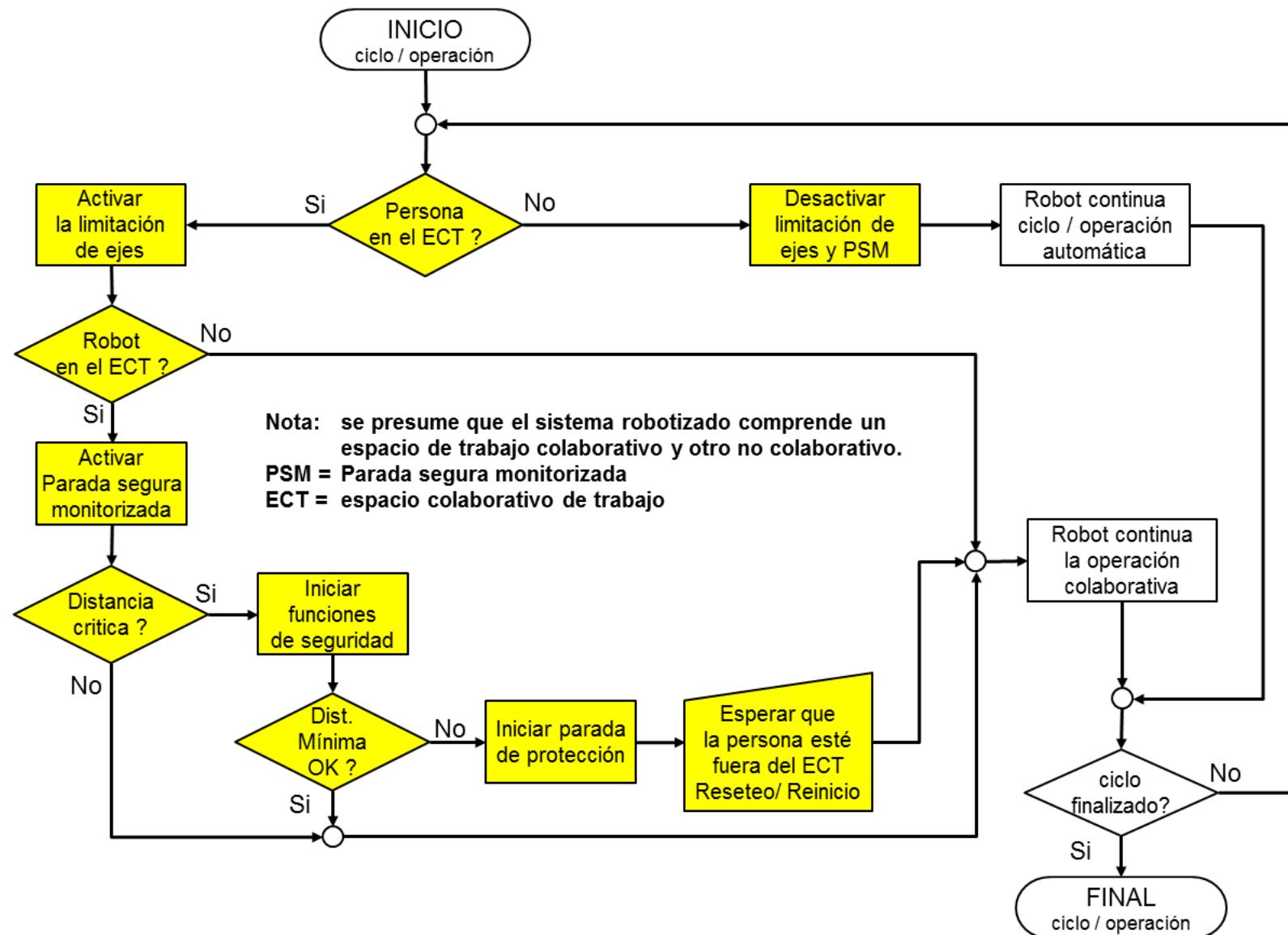


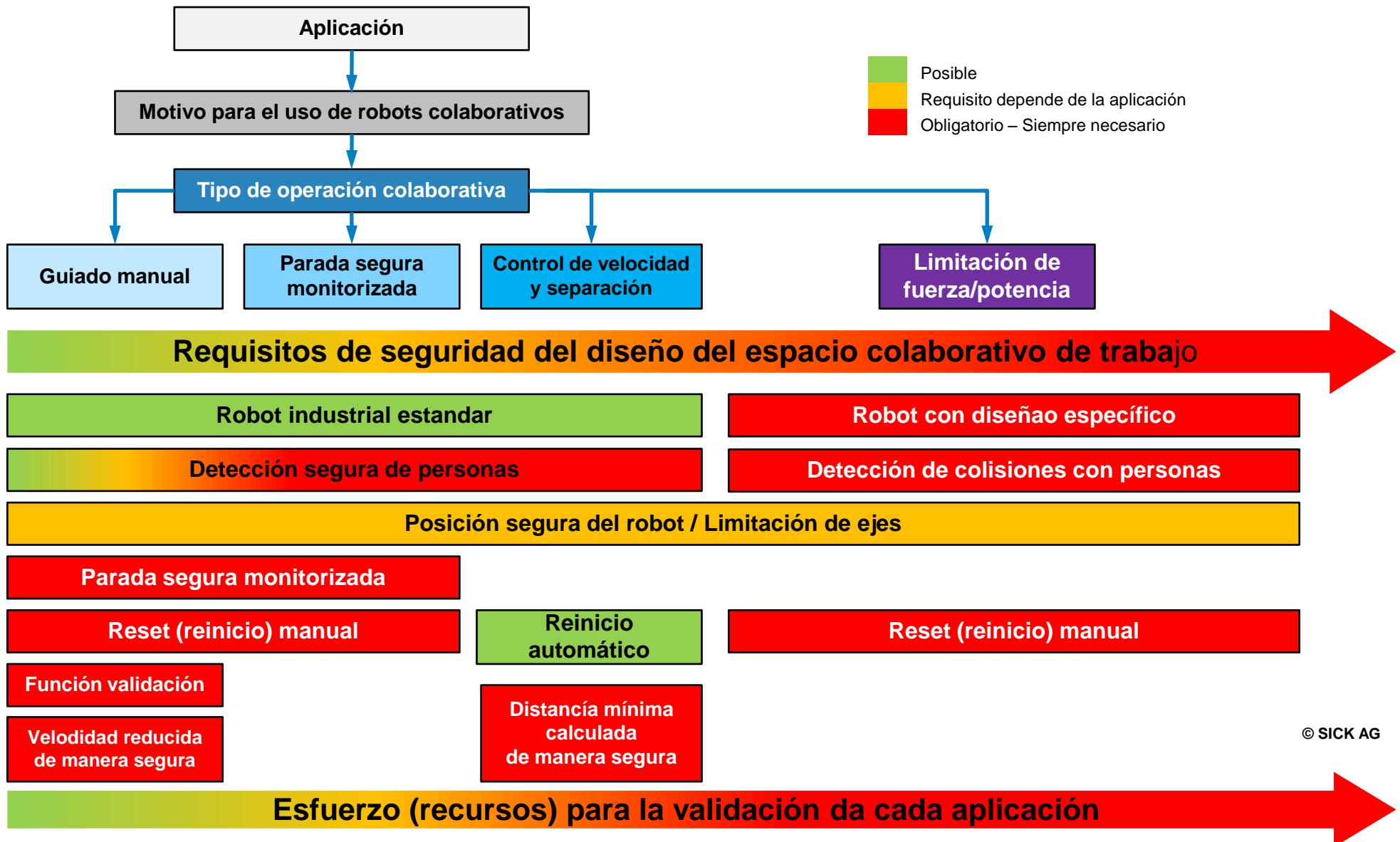
© SICK AG

- 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 perdida 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

CONTROL DE VELOCIDAD Y SEPARACIÓN

Diagrama de flujo funcional





MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN.



Otto Görnemann

Industrial Safety

Tel.: +49 7681 202 5420

Otto.Goernemann@sick.de

