

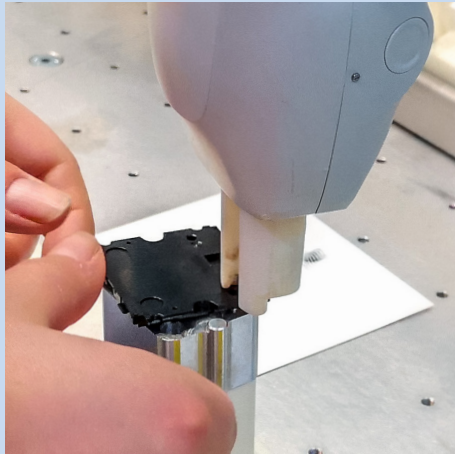


GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE TRABAJO  
Y ECONOMÍA SOCIAL

**insst**  
Instituto Nacional de  
Seguridad y Salud en el Trabajo

# Guía rápida de compra, instalación y puesta en servicio de un robot colaborativo



**Título:**

Guía rápida de compra, instalación y puesta en servicio de un robot colaborativo

**Autor:**

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P.

**Elaborado por:**

Emérita García Cañada  
Ibon Unzueta Estébanez

**Edita:**

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O. A., M.P.  
C/ Torrelaguna, 73 - 28027 Madrid  
Tel. 91 363 41 00, fax 91 363 43 27  
www.insst.es

**Composición:**

Servicio de Ediciones y Publicaciones del INSST

**Edición:**

Madrid, mayo 2024

**NIPO** (en línea): 118-24-008-6

**Hipervínculos:**

El INSST no es responsable ni garantiza la exactitud de la información en los sitios web que no son de su propiedad. Asimismo la inclusión de un hipervínculo no implica aprobación por parte del INSST del sitio web, del propietario del mismo o de cualquier contenido específico al que aquel redirija.

**Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:**

<http://cpage.mpr.gob.es>

**Catálogo de publicaciones del INSST:**

<https://www.insst.es/catalogo-de-publicaciones>



Guía rápida de compra, instalación  
y puesta en servicio de un robot  
colaborativo

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. DEFINICIONES	7
3. NORMATIVA APLICABLE	10
3.1. NORMATIVA DE COMERCIALIZACIÓN	10
3.1.1. Directivas y reglamentos	10
3.1.2. Normas armonizadas	10
3.1.3. Otros documentos técnicos de interés	11
3.2. NORMATIVA DE UTILIZACIÓN	12
4. FIGURAS PRESENTES EN EL PROCESO DE COMPRA, INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES	13
4.1. FABRICANTE	13
4.2. INTEGRADOR	13
4.3. EMPRESA USUARIA	16
4.4. MODIFICACIÓN SUSTANCIAL	17
5. MÉTODOS BÁSICOS DE SEGURIDAD EN APLICACIONES COLABORATIVAS	18
5.1. PARADA SUPERVISADA DE SEGURIDAD	18
5.2. GUIADO MANUAL	19
5.3. SUPERVISIÓN DE VELOCIDAD Y DISTANCIA DE SEPARACIÓN	20
5.4. LIMITACIÓN DE POTENCIA Y FUERZA	22
6. FUNCIONES DE SEGURIDAD	24
7. BIBLIOGRAFÍA	26

## 1. INTRODUCCIÓN

Con la evolución de la tecnología, especialmente en el ámbito industrial, se han desarrollado nuevas formas de trabajo. Dentro de estas, cabe destacar el trabajo con robots en aplicaciones colaborativas, donde el objetivo es combinar el desempeño repetitivo y preciso de los robots con las habilidades individuales y las capacidades de las personas.

Históricamente, el trabajo asistido por la robótica ha tenido un papel fundamental en el desarrollo industrial y, en este sentido, la robótica colaborativa es una parte importante de la evolución a nuevas formas de trabajo.

La principal característica de las aplicaciones colaborativas es la existencia de un cierto grado de interacción entre el robot y la persona, algo impensable en tiempos pasados. Tradicionalmente la protección de la persona que trabaja con un robot ha sido la interposición de una barrera física, un cerramiento con enclavamiento que los separa físicamente, o un dispositivo de protección que detiene los movimientos del robot si la persona se encuentra en sus proximidades, de forma que la interacción entre la persona y el robot no es posible.

Esta interacción, desde el punto de vista de la Prevención de Riesgos Laborales (PRL), implica cambios sustanciales que comienzan con el propio diseño del robot y afectan a todo el proceso de instalación y puesta en servicio (la propia aplicación, las herramientas necesarias, el espacio donde se va a utilizar, quién lo va a utilizar, etc.).

Estos aspectos plantean nuevos retos en la PRL. La presente guía pretende ser una ayuda desde el punto de vista preventivo, para aquellas empresas que se plantean la posibilidad de adquirir, implantar y utilizar un robot colaborativo. Su objetivo es dar a conocer la normativa de aplicación e identificar los intervinientes en el proceso de compra, instalación y puesta en servicio de un robot colaborativo en aplicaciones colaborativas, así como sus funciones y responsabilidades.

Actualmente, en el mercado, podemos encontrar robots industriales «tradicionales» que NO están diseñados ni fabricados para trabajar en modo colaborativo, y los que se denominan «robots colaborativos» que, por su diseño y fabricación, permiten, bajo determinadas circunstancias, desarrollar una aplicación colaborativa. La posibilidad de implementar este último tipo de aplicaciones no solo depende del robot, sino también de las tareas que va a realizar y las herramientas, piezas, materiales, sustancias, etc. que va a utilizar. Los robots colaborativos, si no van a trabajar en modo colaborativo, a efectos de seguridad, se deben tratar como robots convencionales.

Como se ha señalado anteriormente, la principal característica de la robótica colaborativa es la capacidad de interacción que existe entre el robot y la persona. En esta interacción intervienen dos parámetros: el tiempo y el espacio. Dependiendo del grado de interacción se pueden distinguir tres tipos:

### **Coexistencia:**

Se da en aplicaciones donde no existe interacción entre la persona y el robot durante el proceso productivo, no comparten el espacio de trabajo, pero trabajan al mismo tiempo en zonas contiguas. El acceso de la persona al espacio de trabajo del robot provoca la parada de éste.

### **Cooperación:**

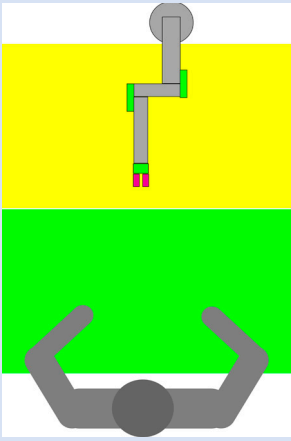
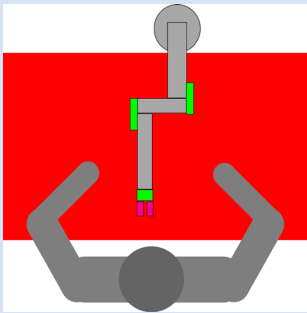
Es el tipo de interacción que se da cuando la persona y el robot comparten un mismo espacio de trabajo, pero en tiempos diferentes. Por ejemplo, cuando tanto la persona como el robot trabajan en una misma pieza de forma sucesiva y en una zona de trabajo compartida.

**Colaboración:**

Esta forma de interacción es la única que permite el contacto entre la persona y el robot, ambos trabajan en el mismo espacio y al mismo tiempo. El contacto es posible y en ocasiones necesario.

A continuación, en la tabla 1 se presentan las diferencias entre los tres tipos de interacción que se pueden dar.

Tabla 1. Tipo de interacción persona - robot

	ESPACIO	TIEMPO	
COEXISTENCIA	No compartido	Simultáneo	
COOPERACIÓN	Compartido	No simultáneo	T1
			T2
COLABORACIÓN	Compartido	Simultáneo	

Es importante identificar el tipo de interacción que se puede producir en una aplicación específica, ya que esta interacción determinará los modos de funcionamiento que se pueden aplicar y las medidas preventivas necesarias.

## 2. DEFINICIONES

Se presenta a continuación una breve definición de algunos términos empleados en este documento para facilitar su lectura y aclarar conceptos.

- **Robot colaborativo.** Manipulador controlado automáticamente, reprogramable y multifuncional, programable en tres o más ejes, que puede ser fijo o móvil y diseñado para interactuar directamente con un humano dentro de un espacio de trabajo colaborativo (véase la figura 1).



Figura 1. Robot colaborativo.

- **Elemento terminal.** Dispositivo, específicamente diseñado para fijarse a la interfaz mecánica de la muñeca, que permite al robot colaborativo realizar su trabajo (véase la figura 2).  
*Ejemplos: pinza, garra, lijadora, ...*



Figura 2. Elementos terminales.

- **Sistema robótico colaborativo.** Sistema que comprende:
  - el robot colaborativo;
  - el(los) elemento(s) terminal(es); y
  - cualquier maquinaria, equipamiento, dispositivos, ejes externos auxiliares o sensores que ayudan al robot colaborativo a realizar la aplicación robótica colaborativa.

**“El robot colaborativo y el elemento terminal son cuasi máquinas”**

- **Unidad robótica colaborativa (URC).** Uno o más sistemas robóticos colaborativos, incluyendo la maquinaria correspondiente, el equipo necesario, las medidas de protección correspondientes y el espacio operativo.
- **Cuasi máquina.** Conjunto que constituye casi una máquina, pero que no puede realizar por sí solo una aplicación determinada. La cuasi máquina está destinada únicamente a ser incorporada a, o ensamblada con, otras máquinas, u otras cuasi máquinas o equipos, para formar una máquina. Fuente: Directiva Máquinas 2006/42/CE.
- **Máquina.** Conjunto de partes o componentes vinculados entre sí, de los cuales al menos uno es móvil, asociados para una aplicación determinada, provisto o destinado a estar provisto de un sistema de accionamiento distinto de la fuerza humana o animal, aplicada directamente. Fuente: Directiva Máquinas 2006/42/CE.
- **Aplicación robótica colaborativa.** Aplicación en la que un robot, diseñado específicamente para la tarea, trabaja directamente en interacción con un humano dentro de un espacio de trabajo definido (véase la figura 3).  
*Ejemplos: ensamblaje, pick and place, paletizado.*

**“La unidad robótica colaborativa es una máquina”**

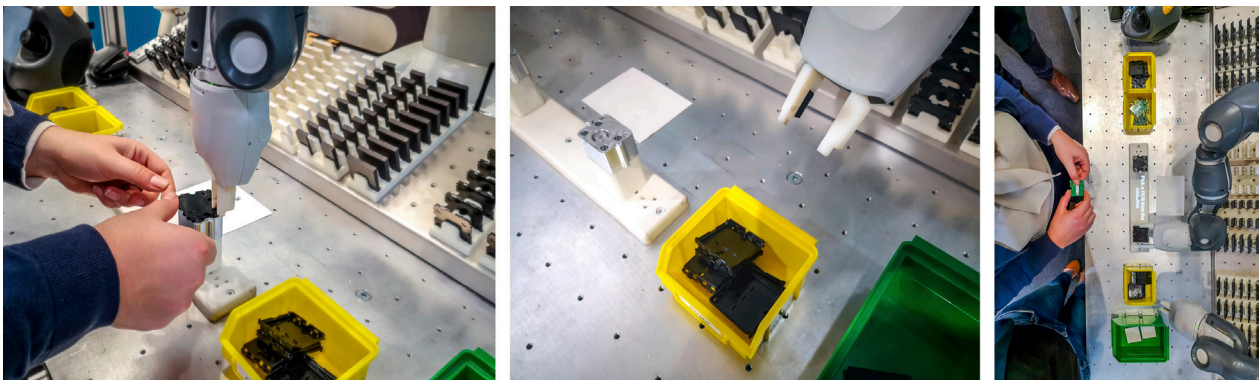


Figura 3. Aplicación robótica colaborativa.

- **Espacio de trabajo colaborativo.** Espacio de trabajo en el que durante su funcionamiento el robot (incluidos el elemento terminal y la pieza de trabajo) y un humano pueden desarrollar tareas de forma simultánea (véase la figura 4).

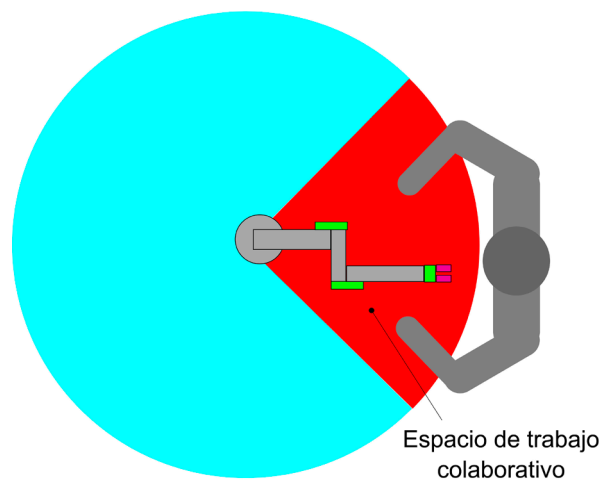


Figura 4. Espacio de trabajo colaborativo (en rojo).



- **Integración.** Acción de combinar un robot colaborativo con otros equipamientos u otras máquinas o cuasi máquinas (incluyendo robots adicionales) para formar una unidad robótica colaborativa capaz de desarrollar una aplicación determinada; por ejemplo, la fabricación de componentes.
- **Integrador.** Entidad que ensambla unidades robóticas colaborativas y se encarga de la estrategia de seguridad, las interfaces e interconexiones del sistema de mando.
- **Empresa usuaria.** Entidad que utiliza la unidad robótica colaborativa.
- **Parada de protección.** Interrupción de la operación que causa el cese de movimientos por motivos de seguridad. La norma UNE-EN 60204-1 define tres categorías de parada<sup>1</sup>.
- **Supervisión de parada de protección.** Función de seguridad que supervisa el paro tras una parada de protección de categoría 2.

---

<sup>1</sup> Las categorías de parada según la norma UNE-EN 60204-1 son las siguientes:

- Categoría 0: parada incontrolada de corte inmediato de la energía en los accionadores (motores, cilindros, ...).
- Categoría 1: parada controlada manteniendo disponible la energía en los accionadores hasta obtener la parada segura de la máquina y corte posterior de la energía.
- Categoría 2: parada controlada permaneciendo disponible la energía en los accionadores.

### 3. NORMATIVA APLICABLE

En el ámbito de la normativa aplicable a la robótica colaborativa se encuentra, por una parte, la normativa de comercialización, implementada a través de las posibles directivas o reglamentos en la comercialización y puesta en servicio; y por otra, la normativa de utilización, de aplicación a las unidades robóticas colaborativas en su utilización en el ámbito laboral.

#### 3.1. NORMATIVA DE COMERCIALIZACIÓN

##### 3.1.1. Directivas y reglamentos

Son directivas o reglamentos europeos que los "productos", en este caso los robots colaborativos y las unidades robóticas colaborativas, deben cumplir para su comercialización o puesta en servicio en la Unión Europea. Exigen el cumplimiento de requisitos formales y requisitos técnicos por parte del fabricante del "producto".

En el campo de la seguridad en máquinas resulta de aplicación la Directiva 2006/42/CE (Directiva Máquinas - DM) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE, transpuesta por el Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas. Atendiendo a las definiciones del artículo 2 de la DM, el robot colaborativo y el elemento terminal responden a la definición de "cuasi máquina" y la unidad robótica colaborativa responde a la definición de "máquina".

Otras posibles directivas por las que se pueden ver afectados los robots colaborativos y las unidades robóticas colaborativas, dependiendo de las tecnologías o como consecuencia de las tecnologías y los productos empleados, son:

- Directiva 2014/30/UE, transpuesta por el Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos.
- Directiva 2014/35/UE, transpuesta por el Real Decreto 187/2016, de 6 de mayo, por el que se regulan las exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión.
- Directiva 2011/65/UE, transpuesta el Real Decreto 219/2013, de 22 de marzo, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.
- Directiva 2012/19/UE, transpuesta el Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

##### 3.1.2. Normas armonizadas

Como complemento a las directivas mencionadas anteriormente, se encuentran las normas técnicas armonizadas, que son especificaciones técnicas, de carácter no obligatorio, adoptadas por un organismo de normalización (CEN, CENELEC, ETSI) y que dan presunción de conformidad con los requisitos esenciales de seguridad y salud de las distintas directivas. En el caso de la DM los organismos de normalización son CEN y CENELEC (normas europeas armonizadas EN).

Así, la norma armonizada UNE-EN ISO 12100:2012 "Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo" especifica los conceptos, la terminología y los principios de diseño básicos aplicables a todas las categorías de máquinas. Si bien, aunque su aplicación proporciona un marco esencial para la correcta aplicación de la DM, no es suficiente para garantizar la conformidad con los requisitos esenciales de salud y seguridad pertinentes de la Directiva y, por tanto, no otorga presunción de conformidad plena. En cualquier

caso, el robot colaborativo y la unidad robótica colaborativa se deben diseñar de acuerdo con los principios de esta norma para la identificación de peligros, la evaluación de riesgos y la adopción de medidas de prevención y protección correspondientes.

En el caso de robots industriales, las siguientes normas otorgan presunción de conformidad con los requisitos esenciales de seguridad y salud de la DM:

- UNE-EN ISO 10218-1:2012 Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1: Robots. Esta norma describe los riesgos básicos asociados con los robots y especifica los requisitos y las directrices para un diseño inherentemente seguro, las medidas de protección y la información para el uso de robots industriales. En este caso se trata de una norma dirigida al diseño de un robot industrial (cuasi máquina) de forma individual. Su apartado 5.10 establece requisitos específicos para el funcionamiento colaborativo del robot industrial.
- UNE-EN ISO 10218-2:2011 Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración. Esta norma describe los riesgos básicos asociados con los robots y especifica los requisitos para la integración de robots industriales y sistemas robóticos industriales definidos en la anterior UNE EN ISO 10218-1, así como para una o varias celdas de robots industriales, las medidas de protección y la información para el uso de robots industriales. La integración incluye el diseño, fabricación, instalación, funcionamiento, mantenimiento y la retirada de servicio del sistema robótico o celdas de robots industriales; la información necesaria para cada una de las anteriores fases; y los componentes del sistema robótico o celdas de robots industriales. Su apartado 5.11 establece requisitos específicos para el funcionamiento de unidades robóticas colaborativas.

### 3.1.3. Otros documentos técnicos de interés

De forma particular, para los robots colaborativos, la Organización Internacional de Normalización (*ISO, International Organization for Standardization*) dispone de la especificación técnica *ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices - Collaborative robots*, que complementa las anteriores normas, estableciendo los requisitos de seguridad para aplicaciones robóticas colaborativas, entre ellos valores máximos de presión y fuerza para los contactos entre el robot y la persona<sup>2</sup>.



Figura 5. Cambio de elemento terminal de un robot colaborativo.

<sup>2</sup> Existe un proyecto de informe técnico, *ISO/CD TR 21260 Safety of machinery - Mechanical safety data for physical contacts between moving machinery or moving parts of machinery and persons* (Seguridad de las máquinas - Datos de seguridad mecánica para contactos físicos entre máquinas móviles o partes móviles de las máquinas y las personas), que tiene previsto definir los límites para los contactos físicos entre máquinas y humanos causados por el movimiento de la máquina como parte de su uso previsto o mal uso previsible. Cubre todos los tipos de máquinas que estén diseñadas para funcionar en presencia de personas sin barreras físicas y, como resultado, pueda producirse contacto entre las máquinas, incluidos los robots colaborativos, y las personas. También cubre los contactos mecánicos peligrosos de humanos con el entorno causados por caídas humanas originadas por el movimiento de una máquina. Incluye máquinas que entran en contacto con personas como parte de su función y máquinas que no requieren contacto humano.

Por otra parte, el informe técnico ISO/TR 20218-1:2018 *Robotics - Safety design for industrial robot systems - Part 1: End-effectors* proporciona orientación sobre las medidas de seguridad para el diseño y la integración de los elementos terminales utilizados en los sistemas robóticos, incluyendo aplicaciones colaborativas. La integración incluye la fabricación, el diseño y la integración de los elementos finales y la información necesaria para su uso.

### 3.2. NORMATIVA DE UTILIZACIÓN

Desde el punto de vista de la utilización de las unidades robóticas colaborativas en el ámbito laboral, como equipos de trabajo, resulta de aplicación la Directiva 2009/104/CE, transpuesta por el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

Este real decreto establece las obligaciones de la empresa en la utilización de la unidad robótica colaborativa por parte de las personas trabajadoras.

La unidad robótica colaborativa debe cumplir las disposiciones del Anexo I y las condiciones de utilización del Anexo II del citado real decreto.

## 4. FIGURAS PRESENTES EN EL PROCESO DE COMPRA, INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES

Las figuras presentes en el proceso de compra, instalación y puesta en servicio de un robot colaborativo son:

- Fabricante
- Integrador
- Empresa usuaria

### 4.1. FABRICANTE

La Directiva 2006/42/CE define “fabricante” como la persona física o jurídica que diseña o fabrica una máquina o una cuasi máquina cubierta por la Directiva y que sea responsable de la conformidad de dicha máquina o cuasi máquina con la Directiva, con vistas a su comercialización, bajo su propio nombre o su propia marca, o para su propio uso. Y en ausencia de un fabricante en el sentido indicado, se considerará fabricante cualquier persona física o jurídica que comercialice o ponga en servicio una máquina o una cuasi máquina cubierta por la presente Directiva.

En función del tipo de producto, se puede distinguir entre:

#### Fabricante de robot colaborativo (cuasi máquina)

El fabricante del robot colaborativo lo comercializa como cuasi máquina. El cumplimiento de la norma UNE-EN ISO 10218-1, dentro de los límites de su campo de aplicación, otorga presunción de conformidad con los requisitos esenciales de seguridad y salud de la DM. El apartado 5.10 especifica los requisitos para el funcionamiento colaborativo.

#### Fabricante de elementos terminales (cuasi máquina)

El fabricante del elemento terminal lo comercializa como cuasi máquina. El apartado 5.3.10 de la norma UNE-EN ISO 10218-2 recoge los requisitos para el elemento terminal y su punto 5.11.2.a.2) los relacionados con el funcionamiento colaborativo.

El diseño del robot y del elemento terminal debe incluir medidas de prevención intrínsecas (uso de bordes redondeados, materiales flexibles y suaves, áreas de superficie de contacto más amplias, etc.) y, en el caso particular del robot, funciones de seguridad configurables y parametrizables.

El fabricante del robot colaborativo o del elemento terminal, antes de su comercialización, deberá:

- elaborar la documentación técnica pertinente;
- elaborar las instrucciones de montaje;
- redactar la declaración de incorporación.

Las instrucciones de montaje y las declaraciones de incorporación del robot colaborativo y del elemento terminal deberán acompañar a los mismos hasta que se incorporen a la unidad robótica colaborativa y pasen así a formar su expediente técnico.

### 4.2. INTEGRADOR

Desde un punto de vista práctico, podemos entender al integrador como la figura que, partiendo de sus componentes: robot, herramientas, etc., ensambla la unidad robótica colaborativa, la prepara para su aplicación y finalmente, la instala; teniendo en cuenta, entre otros, el aspecto productivo y la seguridad. Por tanto, es quien crea la unidad robótica colaborativa (máquina), convirtiéndose en su fabricante.

Desde el punto de vista preventivo, es una figura clave que, atendiendo a las características del robot, el elemento terminal, cualquier otro accesorio necesario para realizar la tarea y la aplicación requerida, debe elaborar la evaluación de riesgos, donde reflejará los riesgos derivados del uso del robot para esa aplicación y establecerá las medidas preventivas adecuadas. Posteriormente, implantará estas medidas para crear el conjunto final, la máquina operativa, de forma que cumpla los pertinentes requisitos de seguridad y salud del Anexo I de la DM. El cumplimiento de la norma UNE-EN ISO 10218-2 otorga presunción de conformidad con los requisitos esenciales de seguridad y salud de la DM, dentro de los límites de su campo de aplicación. El apartado 5.11 especifica los requisitos para el funcionamiento de los robots colaborativos.



Figura 6. Elección de nuevo elemento terminal.

Tras llevar a cabo el oportuno procedimiento de evaluación de la conformidad<sup>3</sup> mediante la elaboración del expediente técnico de construcción y el control interno de fabricación, colocará el marcado CE, redactará la declaración CE de conformidad y el manual de instrucciones de la máquina resultante, donde deberá indicar, entre otros, el uso previsto (aplicación).

El proceso de integración se puede dividir en cuatro fases:

### **1. Identificación de peligros y estimación del riesgo**

Inicialmente el integrador debe definir los límites de uso de la máquina, el uso previsto, el mal uso razonablemente previsible y contraindicaciones de uso, para todas las fases del ciclo de vida de la URC: uso, limpieza, mantenimiento, desmantelamiento...

La identificación de peligros se realizará en función de los límites de uso. Algunos aspectos que considerar son:

- Características del robot (fuerza, velocidad, alcance, etc.).
- Posibilidades de contacto cuasi estático o transitorio (véase apartado 5.4 Limitación de fuerza y potencia).
- Posible ubicación de personas respecto al robot y sus movimientos.
- Peligros de partes móviles de la URC.
- Entorno en el que se ubica la URC.
- Aspectos ergonómicos.
- Peligros generados por un mal uso razonablemente previsible o, si se puede dar el caso, por la transición entre modo no colaborativo y modo colaborativo.

Tras la identificación de peligros se procederá a la estimación de los riesgos asociados y, en función de esta última, se valorará la necesidad de eliminación o reducción del riesgo mediante la implantación de medidas preventivas, para asegurar el cumplimiento de los requisitos esenciales de seguridad y salud que sean de aplicación.

<sup>3</sup> El procedimiento de evaluación de conformidad para una URC es la "autocertificación", a través de un control interno de fabricación que garantice la conformidad de la máquina con el expediente técnico y los requisitos de la Directiva, ya que un robot con una aplicación colaborativa no pertenece a ninguna categoría de máquinas del anexo IV de la DM.

## 2. Reducción del riesgo: Elección de medidas preventivas

La elección de las medidas preventivas para eliminar los peligros o reducir los riesgos detectados debe seguir el orden siguiente, tal y como establece la DM:

- 2.1. Eliminación del peligro o, si no es factible, reducción del riesgo al máximo posible, mediante un diseño inherentemente seguro. Por ejemplo: bordes redondeados evitando aristas cortantes, aumento de superficies de contacto, etc.
- 2.2. Adopción de medidas técnicas de protección mediante funciones de seguridad configurables como limitación de parámetros del robot (alcance, velocidad, fuerza, potencia, etc.) y dispositivos de protección (escáner láser).
- 2.3. Información de uso: manual de instrucciones, información de los riesgos residuales, señalización, necesidad de EPI.

## 3. Validación de la aplicación y verificación de las medidas implantadas

La validación se lleva a cabo una vez que se han incorporado las medidas propuestas en el apartado anterior para la eliminación del peligro o reducción de los riesgos y consiste en la comprobación del correcto funcionamiento de las soluciones aplicadas (verificación), entre otras:

- Validación de las funciones de seguridad: todas las funciones de seguridad deben estar correctamente configuradas y ser efectivas (dispositivos de protección y limitación de parámetros del robot), teniendo presente que deben ofrecer las garantías de seguridad requeridas (véase el apartado 6. Funciones de seguridad). Si es posible, se realizará una simulación de fallos.
- Validaciones ergonómicas. Se deberán considerar aspectos como la adaptación a las diferentes características morfológicas individuales y la adecuación del interfaz persona-máquina a las características previsibles de las personas.
- Medición de colisiones en el caso particular del método básico Limitación de fuerza y potencia.

## 4. Otros requisitos reglamentarios.

Tal y como establece la DM, al final del proceso, para su comercialización o puesta en servicio, la máquina deberá llevar el Marcado CE e ir acompañada de la declaración CE de conformidad y del manual de instrucciones. El integrador debe facilitar esta documentación a la empresa usuaria final junto con la URC.

Se debe tener en cuenta que la URC está formada, entre otros elementos, por cuasi máquinas, como son el brazo robótico o el elemento terminal, que deben disponer de sus declaraciones de incorporación, tal y como establece la DM. Estas declaraciones deberán formar parte del expediente técnico y el integrador deberá respetar las instrucciones de montaje descritas por el fabricante.



Figura 7. Preparación del robot colaborativo para una aplicación.

### 4.3. EMPRESA USUARIA

Como ya se ha comentado anteriormente, la empresa usuaria es la entidad que pone en servicio y utiliza la unidad robótica colaborativa. De forma previa, debe llevar a cabo la implantación de la misma, proceso que se describe a continuación.

#### **Proceso de implantación de la URC**

En el proceso de implantación de la URC por parte de la empresa usuaria se pueden distinguir las siguientes fases:

##### **1° Elección del equipo**

A la hora de adquirir la URC la empresa usuaria debe determinar las especificaciones deseadas en función de las necesidades concretas de la aplicación que va a realizar. Para ello se debe plantear una serie de cuestiones como: por qué, para qué, dónde y cómo se va a utilizar. En este proceso inicial es fundamental recopilar toda la información posible entre las personas implicadas en la actividad que realizará la URC.

La correcta adquisición de una URC que se adapte a las necesidades de la empresa es especialmente relevante, ya que evitará modificaciones correctivas posteriores una vez puesta en servicio que puedan dar lugar a posibles nuevas fuentes de riesgos. Para ello, además de los parámetros productivos, la empresa usuaria deberá considerar los aspectos preventivos que puedan afectar a la seguridad y salud de sus trabajadores y trabajadoras, asegurándose de que el equipo seleccionado es adecuado para el trabajo a realizar.

##### **2° Verificación**

Una vez instalado, esta fase tiene por objeto verificar, antes de la puesta en servicio, que la URC cumple con la reglamentación aplicable, las especificaciones requeridas por la empresa usuaria y dispone de toda la documentación exigible. La empresa usuaria realizará esta verificación ella misma (si cuenta con los medios y los conocimientos suficientes) o puede también recibir asesoramiento externo.

Entre las obligaciones de la empresa usuaria se encuentran:

Comprobar que la URC dispone de marcado CE, declaración CE de conformidad y manual de instrucciones conforme a la Directiva Máquinas 2006/42/CE.

Comprobar que la URC cumple las disposiciones pertinentes del Anexo I (en cuanto a las características técnicas de la aplicación) y II (en cuanto a su utilización) del Real Decreto 1215/1997.

##### **3° Actividades previas a la puesta en servicio**

Una vez realizada la verificación anterior, debe realizar las actividades preventivas propias del puesto de trabajo, entre ellas:

Realizar la evaluación de riesgos del puesto de trabajo para el manejo de la URC.

Cumplir con las disposiciones establecidas en el manual de instrucciones de acuerdo con la instalación, puesta en servicio, uso previsto y mal uso razonablemente previsible, ajuste y mantenimiento seguro.

Garantizar que, de acuerdo con el artículo 5 del Real Decreto 1215/1997, las personas trabajadoras han recibido una formación "integral", que abarca la formación específica que les capacita para utilizar la URC y la formación preventiva sobre los riesgos en la utilización de la URC y las medidas preventivas a adoptar.



Teniendo en cuenta que el uso de la URC por parte de personas no formadas para ello puede suponer un riesgo para su seguridad y salud y la de terceros, se recomienda autorizar por escrito su uso.

#### **4° Puesta en servicio**

De esta forma, la empresa usuaria, después de haber realizado la selección y recepción del robot, y cumplidas las obligaciones descritas anteriormente, estará en condiciones de efectuar la puesta en servicio segura de la URC.

Si la URC puede cambiar de ubicación por necesidades productivas o de otra índole, después de cada montaje en un nuevo emplazamiento, la empresa usuaria deberá realizar una nueva evaluación de riesgos, adoptando, si es necesario, medidas de prevención y protección específicas para la nueva ubicación, siempre y cuando no se realice una modificación sustancial, tal y como se explica en el siguiente apartado.

### **4.4. MODIFICACIÓN SUSTANCIAL**

Debido a la versatilidad de este tipo de máquina, el usuario puede decidir modificar el uso inicial previsto de la URC desarrollando una nueva aplicación (por ejemplo, añadiendo más funciones con diferentes herramientas) o modificando la pieza de trabajo del robot o los parámetros que puedan afectar a la seguridad (alcance, velocidad, etc.).

Es importante tener en cuenta que en estos casos puede que la empresa usuaria esté realizando una «modificación sustancial» de la máquina inicial; entendida como una modificación no prevista por el fabricante, en este caso el integrador, que se realiza después de la puesta en servicio y que afecta a su seguridad, bien sea por la creación de un peligro nuevo o aumentando un riesgo ya existente, de modo que esta modificación requiere implementar nuevas medidas de protección que afectan al sistema de mando de la máquina.

Si las modificaciones están previstas o aceptadas por el integrador, y cubiertas por la evaluación de riesgos que éste hace de la URC (máquina), la documentación técnica, la declaración CE de conformidad y el Marcado CE originales que hizo el integrador siguen siendo válidos. En caso contrario, la máquina modificada es considerada una máquina nueva, la empresa usuaria se convierte en fabricante de la misma y debe realizar todo el proceso que se ha descrito para el integrador, es decir, procedimiento de evaluación de la conformidad, expediente técnico de construcción, marcado CE, declaración CE de conformidad, manual de instrucciones, etc.

Se recomienda que, en el caso de que se decida hacer una modificación a la URC una vez puesta en servicio, se consulte con el integrador para que éste indique si la modificación está cubierta o no por el marcado CE.

## 5. MÉTODOS BÁSICOS DE SEGURIDAD EN APLICACIONES COLABORATIVAS

La especificación técnica ISO/TS 15066 describe cuatro métodos básicos de funcionamiento que se pueden combinar para desarrollar una aplicación colaborativa:

- Parada supervisada de seguridad.
- Guiado manual.
- Supervisión de velocidad y distancia de separación.
- Limitación de potencia y fuerza.

En todos los modos básicos descritos el integrador deberá evaluar los riesgos que puedan presentar otros elementos conectados o adheridos con el sistema robótico cuando se produce una parada de protección o una parada supervisada de seguridad, y adoptar las medidas adecuadas (por ejemplo, parar otros elementos móviles peligrosos).

A continuación, se describe brevemente cada uno de ellos.

### 5.1. PARADA SUPERVISADA DE SEGURIDAD

Este método se utiliza para detener el movimiento del robot cuando una persona accede al espacio de trabajo colaborativo.

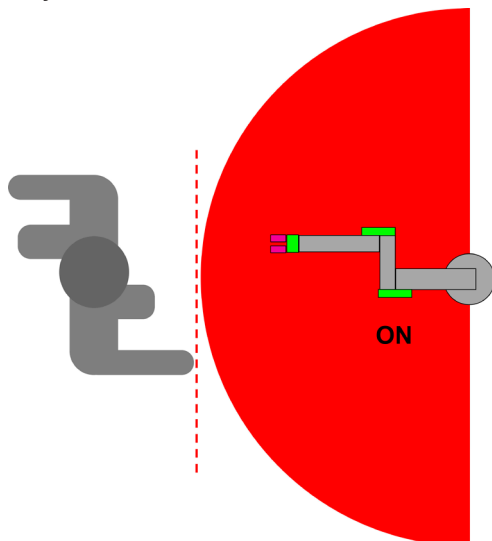


Figura 8. Parada supervisada de seguridad desactivada.

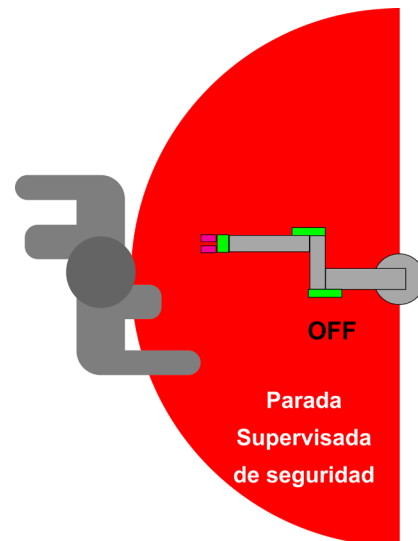


Figura 9. Parada supervisada de seguridad activada.

En la figura 8 la persona se encuentra fuera del espacio de trabajo colaborativo (área de color rojo) y el robot realiza las tareas programadas. Si la persona accede al espacio de trabajo colaborativo, figura 9, se produce una parada supervisada de seguridad y el robot se detiene. Esta parada se mantiene activa mientras la persona se encuentre en el espacio de trabajo colaborativo. Una vez que la persona lo abandona, se desactiva la parada supervisada de seguridad y el robot reanuda su tarea.

La función de parada debe estar diseñada para su conexión con dispositivos de seguridad externos (escáneres, barreras inmateriales, cámaras, etc.) que detecten la presencia de personas cuando penetren en el espacio de trabajo colaborativo, provocando la parada supervisada de seguridad cuando se produce el acceso.

En este método no es posible el contacto persona-robot, ya que cuando la persona accede al espacio de trabajo colaborativo el robot se para, como, por ejemplo, supervisiones durante el proceso.

Aunque en la vigente norma UNE-EN ISO 10218-2 la parada supervisada de seguridad se presenta como un método básico de funcionamiento colaborativo, en realidad no hay interacción persona-robot.

## 5.2. GUIADO MANUAL

En este método se utiliza un dispositivo manual para transmitir órdenes de movimiento al robot. Cuando la persona accede al espacio de trabajo colaborativo, se activa una parada supervisada del robot. El robot debe operar a una velocidad reducida de seguridad que permita su control, determinada por la evaluación de riesgos. En caso de superarse dicha velocidad se activa una parada de protección.

La reducción del riesgo se logra combinando el control del movimiento por parte de la persona usuaria mediante el dispositivo de guiado manual, que debe incorporar una parada de emergencia, y la limitación de la velocidad y posición según la evaluación de riesgos.

El modo guiado manual sigue la siguiente secuencia:

1. Se activa una parada supervisada de seguridad. El robot está listo para el guiado manual.
2. La persona toma el dispositivo de guiado manual, la parada supervisada de seguridad se desactiva y puede guiar manualmente al robot.
3. Si la persona libera el dispositivo de guiado, se genera una parada supervisada de seguridad.

Durante el guiado manual la persona debe tener una visión clara del espacio de trabajo colaborativo. En este método tiene especial relevancia la transición segura entre el guiado manual y otros tipos de operaciones colaborativas y no colaborativas.

Algunos posibles ejemplos de este método son las tareas de asistencia robótica a la elevación/soporte de piezas o su uso como herramienta portátil.

Cuando la evaluación de riesgos determine la necesidad de un dispositivo de validación de 3 posiciones (véase la figura 10), se debe tener en cuenta lo siguiente:

- debe ubicarse cerca del elemento terminal (por ejemplo, en la muñeca del robot) o en el propio elemento terminal;
- se deben abordar los riesgos ergonómicos que suponen el accionamiento sostenido en la posición central;
- en la posición 1 (órgano de mando en reposo), no se permite el movimiento del robot;
- en la posición 2 (órgano de mando accionado en posición central), se permite el movimiento del robot;
- en la posición 3 (órgano de mando accionado más allá de la posición central), no se permite el movimiento;
- el retorno a la posición 2 no autoriza la puesta en marcha.

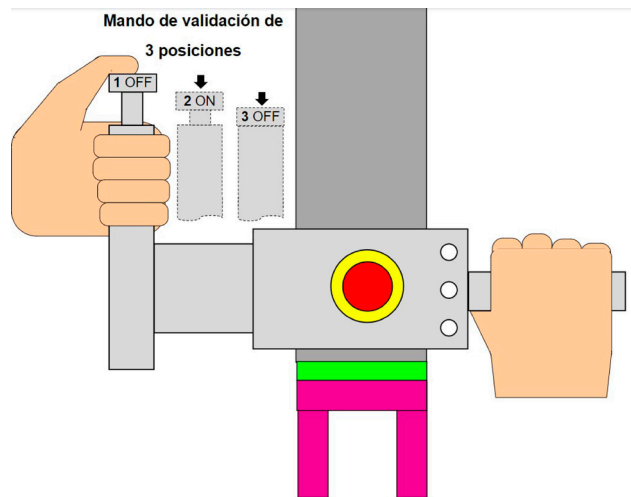


Figura 10. Parada supervisada de seguridad desactivada.

### 5.3. SUPERVISIÓN DE VELOCIDAD Y DISTANCIA DE SEPARACIÓN

En este método el robot y la persona pueden moverse simultáneamente en el espacio de trabajo colaborativo. La reducción del riesgo se logra determinando una distancia de protección (DP) entre la persona y el robot. Si se aproximan a una distancia inferior a ésta, el robot realiza una parada supervisada de seguridad, reanudando el movimiento cuando se supera de nuevo la DP. Para evitar sobrepasar la DP, el sistema de mando del robot puede ejecutar una trayectoria alternativa. El valor de la DP vendrá determinado por la evaluación de riesgos y para su cálculo se puede utilizar la norma UNE-EN ISO 13855, considerando la velocidad relativa entre la persona y el robot.

Para utilizar este método el robot debe estar equipado con una función de velocidad supervisada de seguridad y una función de parada supervisada de seguridad, que se aplicarán a todas las personas dentro del espacio de trabajo colaborativo. Si la medida está limitada a un número de personas, se debe indicar el número máximo en la información de uso; y si se excede este valor, se producirá una parada de protección.

Si la distancia de separación (DS) entre cualquier persona y una parte peligrosa del robot es inferior a la DP y se produce un fallo de la parada supervisada de seguridad, el sistema robot deberá iniciar una parada de protección.

#### Valores de separación y velocidad constantes y variables

Las velocidades máximas permitidas y las distancias de protección mínimas en una aplicación pueden ser constantes o variables. Para valores constantes (véase la figura 11), la velocidad máxima permitida y la distancia de protección se determinarán mediante la evaluación de riesgos para la situación más desfavorable. Para valores variables (véase la figura 12), las velocidades máximas permitidas y las distancias de protección pueden ajustarse continuamente en función de las distancias y velocidades relativas del robot y la persona. Así, si la separación entre la persona y el robot es mucho mayor que la distancia de protección, la velocidad máxima permitida puede aumentar.

## Valores de separación y velocidad constantes

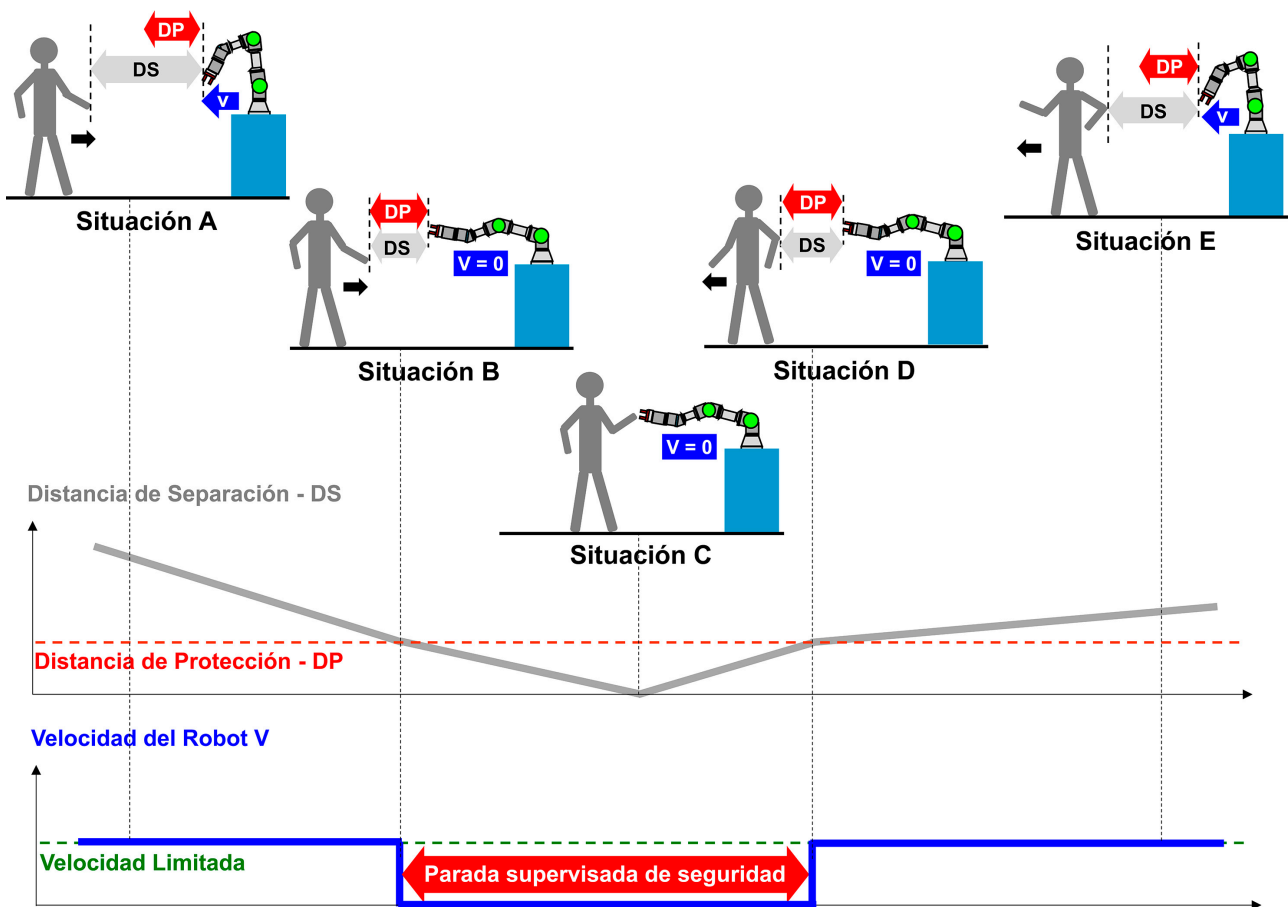


Figura 11. Valores de separación y velocidad constantes.

Cuando la DS es superior a la DP, el robot se mueve a la velocidad limitada y constante, independientemente del valor de la DS (situación A).

Cuando la DS es igual a la DP se activa la parada supervisada de seguridad (situación B), que se mantiene activa mientras la DS sea igual o inferior a la DP, independientemente de que la persona se acerque (paso de situación B a situación C) o se aleje (paso de situación C a situación D). Como se puede observar en la figura 11 la DS puede aumentar o disminuir dentro de valores inferiores a la DP, manteniéndose activa la parada supervisada de seguridad.

Cuando la persona se aleja del robot a una distancia superior a la DP, se desactiva la parada supervisada de seguridad y el robot vuelve a moverse a velocidad limitada y constante (situación E).

## Valores de separación y velocidad variables

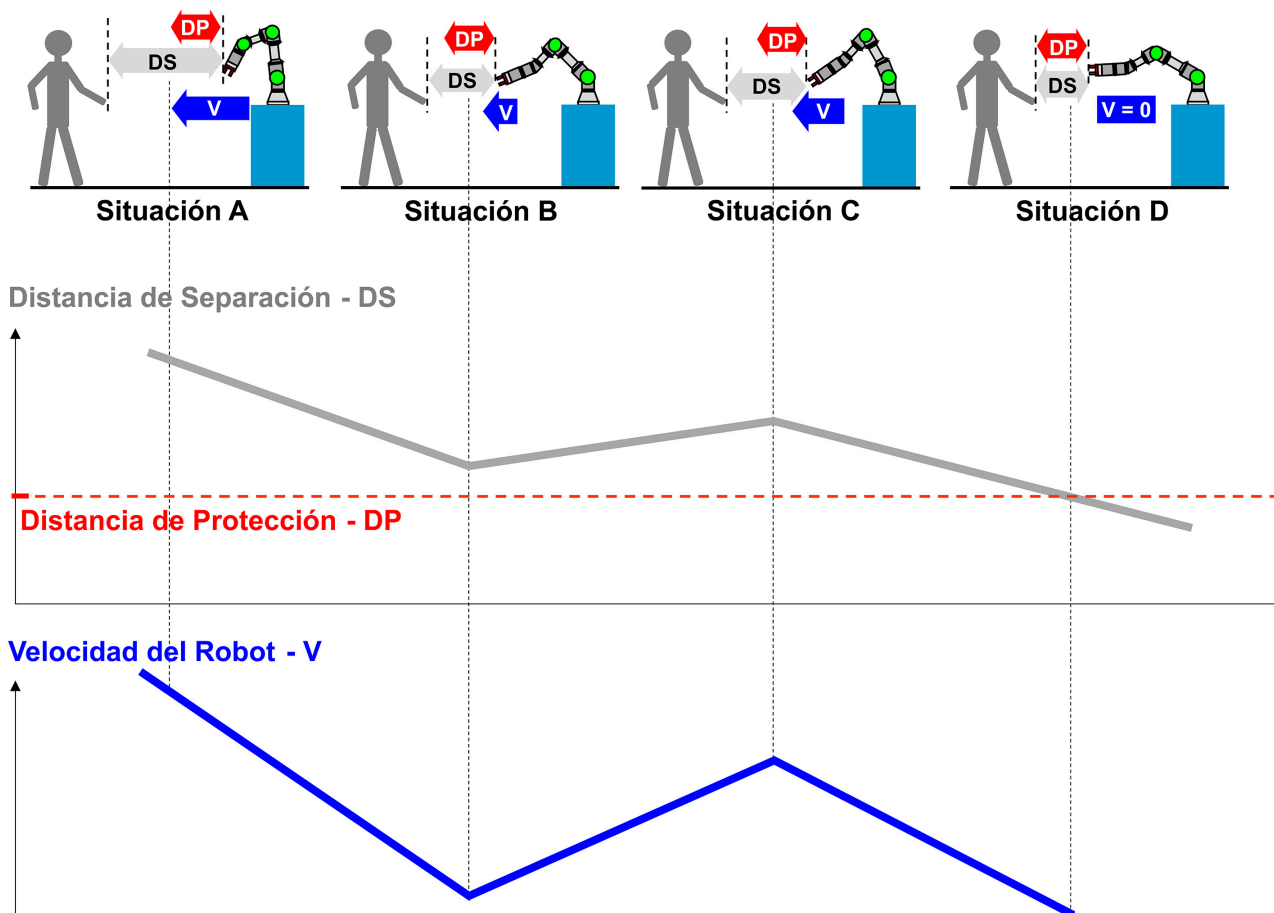


Figura 12. Valores de separación y velocidad variables.

En la situación A la DS entre el robot y la persona es mucho mayor que la DP, el robot se mueve a una mayor velocidad. Al disminuir la DS se reduce la velocidad a la que se mueve el robot (situación B). Al aumentar de nuevo la DS el robot incrementa su velocidad (situación C). En el caso de que la DS sea igual a la DP se produce una parada supervisada de seguridad que se mantiene activa mientras la DS sea igual o inferior a la DP (situación D).<sup>4</sup>

### 5.4. LIMITACIÓN DE POTENCIA Y FUERZA

Las aplicaciones colaborativas con limitación de potencia y fuerza se utilizan en tareas donde es frecuente la presencia de la persona junto al robot y se puede producir, de forma intencionada o no, el contacto físico entre el robot (incluida la pieza de trabajo) y la persona.

Los posibles tipos de contacto entre las partes móviles del robot y las áreas del cuerpo de una persona se clasifican de la siguiente manera:

- Contacto cuasi estático (atrapamiento/aplastamiento): incluye situaciones en las que una parte del cuerpo de una persona queda atrapada entre una parte móvil del robot y una parte fija o móvil del sistema robótico o de la instalación. En tal situación, el robot aplicaría una fuerza a

<sup>4</sup> Para facilitar la comprensión de las figuras 11 y 12, tanto la DS como la velocidad se han representado mediante rectas. Un caso real puede no corresponderse con esta representación, pero sí ha de cumplir que a mayor distancia de separación mayor velocidad y viceversa.

la parte del cuerpo atrapada durante un intervalo de tiempo prolongado hasta que se pueda aliviar la condición (véase la figura 13).

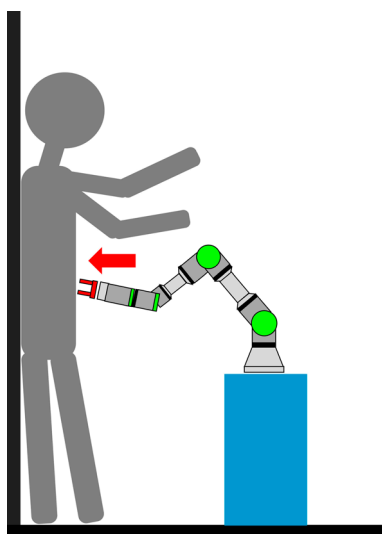


Figura 13. Contacto "cuasi" estático.

- Contacto transitorio (impacto): conocido como "impacto dinámico", describe una situación en la que una parte del cuerpo de una persona y una parte móvil del sistema robótico colisionan y la persona puede retroceder o retraerse del robot sin que el área del cuerpo contactada se vea atrapada, siendo el contacto real de corta duración (véase la figura 14).

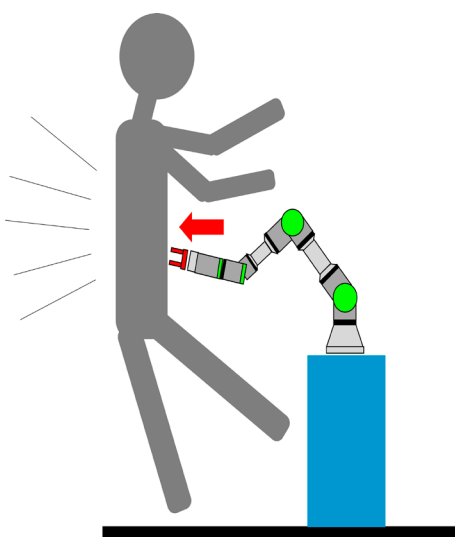


Figura 14. Contacto transitorio.

### Límites de potencia y fuerza

La reducción del riesgo se logra a través de medios inherentemente seguros en el robot y mediante funciones de seguridad integradas en el sistema de mando. Entre estos cabe destacar el diseño apropiado de las características físicas del robot: aumento de la superficie de contacto, bordes redondeados, superficies lisas, absorción de energía mediante rellenos o elementos deformables, etc. y la configuración de las funciones de seguridad: limitación de fuerza, par, velocidad, momento, potencia mecánica, rango de ejes, rangos espaciales, etc. para mantener los valores de presión y fuerza por debajo de los valores límite específicos para cada área del cuerpo y tipo de contacto (anexo A del informe ISO/TC 10566).

## 6. FUNCIONES DE SEGURIDAD

Las medidas de seguridad, en muchos casos, se implementan mediante funciones de seguridad integradas en el robot que se van a encontrar activas durante su funcionamiento en modo colaborativo. El integrador, como resultado de la evaluación de riesgos, debe seleccionar las funciones de seguridad que considere pertinentes para la aplicación colaborativa concreta y parametrizar, en su caso, aquellas que lo precisen.

Las partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad que implementan estas funciones de seguridad deben tener un nivel de prestaciones PL d con una categoría 3 según la norma UNE-EN ISO 13849-1 y en caso de fallo:

- un único fallo no debe llevar a la pérdida de la función de seguridad,
- el fallo se debe detectar en el momento de, o antes de, la siguiente demanda de la función de seguridad,
- la acumulación de fallos no detectados puede llevar a la pérdida de la función de seguridad.

A continuación, a título meramente informativo, la tabla 2 muestra algunas de las funciones de seguridad que se pueden utilizar en aplicaciones colaborativas y una breve descripción de las mismas.

Tabla 2. Descripción de funciones de seguridad.

Función de seguridad	Descripción
Limitación del eje	Evita que se supere el límite reduciendo la velocidad o detiene el robot (parada de protección) antes de que se supere el límite.
Velocidad reducida	Al seleccionar el modo manual la velocidad se limita al valor de velocidad reducida establecido para la aplicación. Este límite no debe ser superior a 250 mm/s.
Velocidad supervisada	Supervisión continua de la velocidad, reduciéndola o deteniendo el robot (parada de protección) para evitar que se supere el límite.
Parada de emergencia	El accionamiento manual de un dispositivo de parada de emergencia provoca el cese de todas las funciones peligrosas de la máquina.
Supervisión de parada	Vigila que el robot mantiene la posición de paro tras una orden de parada de protección de categoría 2 y en caso de fallo de esta parada (cambio de posición) activa una parada de protección que implique un corte de energía a los accionadores.
Modo manual, velocidad reducida	Cambio de otro modo a modo manual con velocidad reducida, iniciando una parada de protección y activando las funciones de seguridad correspondientes.
Modo manual, alta velocidad	Cambio de otro modo a modo manual con alta velocidad, iniciando una parada de protección y activando las funciones de seguridad correspondientes.



Activación de modo	Al seleccionar un modo de trabajo (manual, automático, reglaje...) se inicia una parada de protección y se activan las funciones de seguridad establecidas para el modo seleccionado. Para iniciar de nuevo la actividad del robot se requiere una acción voluntaria y específica.
Fuerza de agarre del elemento terminal (pinza o similar)	Supervisa la fuerza de agarre de la pinza y, si está fuera de los parámetros establecidos, produce una parada de protección o invierte el movimiento de cierre (p. ej., cuando una fuerza de agarre elevada pueda provocar lesiones).
Detección de fuerza del elemento terminal	Si la fuerza aplicada está fuera de los parámetros establecidos para el elemento terminal produce una parada de protección que requiere rearme o que implique un corte de energía a los accionadores.
Guiado manual	La desactivación del dispositivo de guiado manual produce una parada de protección de categoría 2 seguida de una supervisión de parada de protección, a menos que las funciones de Limitación de potencia y fuerza y de Supervisión de velocidad y separación proporcionen una reducción de riesgo aceptable.
Supervisión de velocidad y separación (SSM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supervisa las distancias relativas y mantiene la distancia de protección (DP) adoptando una de las siguientes medidas: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cambio de la velocidad del robot (por ejemplo, hasta llegar a velocidad cero).</li> <li>- Cambio de la trayectoria del robot para mantener la distancia mínima de separación.</li> <li>- Inicio de una parada de protección de modo que se mantenga la distancia de separación.</li> </ul> </li> <li>• Si la posición de la persona en relación con el robot es tal que el robot no podrá detenerse antes de entrar en contacto, produce una parada de protección que implica un corte de energía a los accionadores.</li> </ul>
Limitación de potencia y fuerza (PFL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supervisa para que no se excedan los límites de fuerza y potencia adoptando, entre otras, alguna de las siguientes medidas: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inicio de una parada de protección.</li> <li>- Paro del robot y posterior desplazamiento a una posición donde no se exceda el límite, seguido de una parada de protección de categoría 2 con supervisión de la misma.</li> </ul> </li> <li>• Si la fuerza supera los límites establecidos para sucesos de contacto adopta una de las siguientes medidas: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Paro del robot y posterior desplazamiento a una posición donde no se exceda el límite e inicio de una parada que implique un corte de energía a los accionadores.</li> <li>- Paro del robot y posterior desplazamiento a una posición donde no se exceda el límite e inicio de una parada supervisada.</li> </ul> </li> </ul>
Limitación de tiempo de parada	Evita que se supere el límite de tiempo de parada establecido reduciendo la velocidad o deteniendo el robot (parada de protección).
Limitación de distancia de parada	Evita que se supere el límite de distancia de parada establecido reduciendo la velocidad o deteniendo el robot (parada de protección).

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE (refundición).
2. Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.
3. Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
4. UNE-EN ISO 10218-1:2012 Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1: Robots. (ISO 10218-1:2011).
5. UNE-EN ISO 10218-2:2011 Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración. (ISO 10218-2:2011).
6. ISO/TS 15066:2016 *Robots and robotic devices - Collaborative robot*.
7. Guía para la aplicación de la Directiva 2006/42/CE relativa a las máquinas (2ª edición junio de 2010) – Comisión Europea.
8. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo (2ª edición septiembre de 2021) – INSST.

