ASEPEYO

prevención | Buenas prácticas

Guía de buenas prácticas de seguridad en robótica

Guía de buenas prácticas de seguridad en robótica

© Asepeyo. Mutua Colaboradora con la Seguridad Social nº 151
1ª Edición mayo 2023
Autores:Claudio Alberto García Suárez, Gerardo Franco Cedrún, Juan Isidro Petit Oltra, Lorenzo Díaz González, Rafael Luis Moyer Álvarez, Ricardo Castaño García-Castro y Joan Pau Esplugas Vidal. (Consultores del grupo de trabajo de seguridad robótica de Asepeyo)
Reservados todos los derechos en todas las lenguas y países
Referencia R1E23340

www.asepeyo.es

Presentación

Esta publicación pretende sensibilizar y dar a conocer nociones básicas de la seguridad en robótica, empezando por la historia de la robótica, sus orígenes y su desarrollo, la importancia de los robots, que cada vez nos son más familiares y cercanos, estando más integrados en nuestra vida diaria, proporcionándonos unas mejores condiciones y calidad de vida con beneficios muy notables, sin olvidar los aspectos de la seguridad de los mismos.

En el documento desarrollamos una visión general de las diferentes tipologías de robots y analizamos las condiciones que han de cumplir para trabajar con condiciones de seguridad, principalmente expuestas en las normas UNE EN ISO específicas para este tipo de equipos de trabajo y, en particular, las que tratan el ámbito colaborativo.

Analizamos los modos de trabajo colaborativo que nos permiten las normas, e indicamos los criterios para el diseño de sistemas de robots colaborativos.

Cuando un robot y un humano colaboran la empresa gana en productividad pero siempre se ha de garantizar la seguridad de las personas en los entornos robotizados, que cada día están más presentes en nuestras actividades.

Cabe destacar el impacto que tienen en el ámbito de la manipulación de cargas y en los trabajos repetitivos que pueden llevar a cabo, mejorando notablemente las condiciones de trabajo, su aportación ha de ser muy importante ya que en la actualidad 3 de cada 10 accidentes son debidos a trastornos musculoesqueléticos.

La publicación se enmarca dentro del Plan de Actividades Preventivas de las Mutuas colaboradoras con la Seguridad Social para sensibilizar a los empresarios en referencia a los riesgos de la robótica, actividad muy presente que evoluciona rápidamente con el soporte tecnológico.

Índice

Historia de la robótica 4

Estadísticas de robots 5

Definición: ¿Qué es un robot industrial? 7

Clasificación general de los robots según su estructura mecánica 7

Clasificación general de los robots según su función 10

- Robots industriales y colaborativos
- Robots no industriales. Robots de servicio
- Robots de servicio personal para uso personal
- Robots de servicio personal para uso profesional
- Robot móvil

Norma UNE EN ISO 13482 11

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

Diferencias entre robots industriales y robots colaborativos (Ventajas e inconvenientes) 12

Legislación y normas aplicables 13

- RD 1644/2008. Maquinaria fabricación y comercialización
- RD 1215/1997. Seguridad en los equipos de trabajo

Evaluaciones de riesgo 14

Normas UNE EN ISO y Requisitos esenciales de seguridad y salud 14

Tipos de interacción de aplicaciones colaborativas 16

Modos de funcionamiento colaborativo 17

Tipos de contacto 18

ISO 15066:2016. Diseño de sistemas de robots colaborativos de uso industrial 19

Medidas de reducción del riesgo pasivas y activas 19

Valoración de los contactos. Modelo del cuerpo 21

Historia de la robótica

La historia de los robots tiene su origen en el mundo antiguo. Hay referencias en el Antiguo Egipto desde el siglo XVI a. C. hasta el siglo XI a. C. Los reyes mandaban hacer esculturas o grabados que representaban objetos, animales en movimiento. Los ingenieros árabes Banu Musa y Al Jazari publicaron tratados de hidráulica y avanzaron el arte de los relojes de agua (flujo de agua mide el tiempo), desarrollando los engranajes segmentarios en su libro "conocimientos de dispositivos mecánicos ingeniosos", publicado en 1206 por Al Jazari (ingeniero e inventor de ingeniería hidráulica) antes de su muerte. Estos engranajes aparecen 100 años después en los relojes europeos.

Leonardo da Vinci (1452-1519) desarrolla la primera automatización confirmable, humanoide (caballero con armadura), mueve cabeza, mandíbula, brazo y se pone en guardia.

- 1910 Nikola Tesla. Estadounidense de origen Croata. Ingeniero mecánico y eléctrico y Leonardo Torres Quevedo Ingeniero de Caminos inventan sistemas de control remoto para teledirigir máquinas.

- 1930. La empresa Westinghouse Electric Corporation utilizó tecnología punta para crear este primer humanoide, que además era capaz de hablar, andar y responder a preguntas.

- 1946. Se crea la primera computadora electrónica llamada ENIAC. Era digital y susceptible de ser reprogramada para resolver problemas numéricos.

- 1948. Se inventa el transistor en los laboratorios Nokia Bell Labs de Nueva Jersey. Se crean expectativas de una nueva revolución tecnológica, se habla de la llegada de máquinas inteligentes. Se redujo el tamaño de los equipos y el consumo de energía. Y en 1950 aparecen los circuitos integrados que revolucionan la electrónica y los computadores. Comienzan a aplicarse en la robótica.

- 1960. Se desarrolla el primer robot industrial: UNIMATE. Se instaló en una cadena de montaje de General Motors en la Inland Fisher Guide Plant en Ewing (Nueva Jersey), en el año 1961. Su trabajo consistía en levantar piezas calientes de metal de una máquina de fundición de metal.

- 1970. La Universidad de Stanford desarrolla el robot Shakey. Necesitaba 1 hora para poder procesar una imagen y tomar una decisión, con el riesgo de que el entorno hubiera cambiado.

- 1996. Se crea el primer COBOT. Edward Colgate y Michael Peshkin en 1996. Profesores de la Universidad del Noroeste en EE.UU.

Desde 1996 han experimentado un gran avance y crecimiento dentro del sector de la automatización industrial. Aportan gran valor en los trabajos repetitivos y trabajos en cadena.

Cada vez son más útiles en los sectores de logística, alimentación, almacenaje y trabajos pesados.

Y también se está desarrollando con éxito la robótica de asistencia personal y servicios.

No podemos dejar de nombrar la Industria 4.0, ya que está íntimamente relacionada con la robótica. El concepto "Cuarta Revolución Industrial" fue propuesto y acuñado por Klaus Schwab, uno de los fundadores del Foro Económico Mundial, y se dio en el contexto de la edición del FEM 2016:

- Avances tecnológicos
- Robótica
- Inteligencia artificial y nanotecnología
- Computación cuántica, biotecnología e impresión 3D
- Vehículos autónomos, drones

La inteligencia artificial es el elemento central de esta transformación relacionada con la acumulación de grandes cantidades de datos (big data), uso de algoritmos, interconexión masiva de sistemas digitales, smart Factories, mayor uso de internet y tecnología punta.

Estadísticas de robots

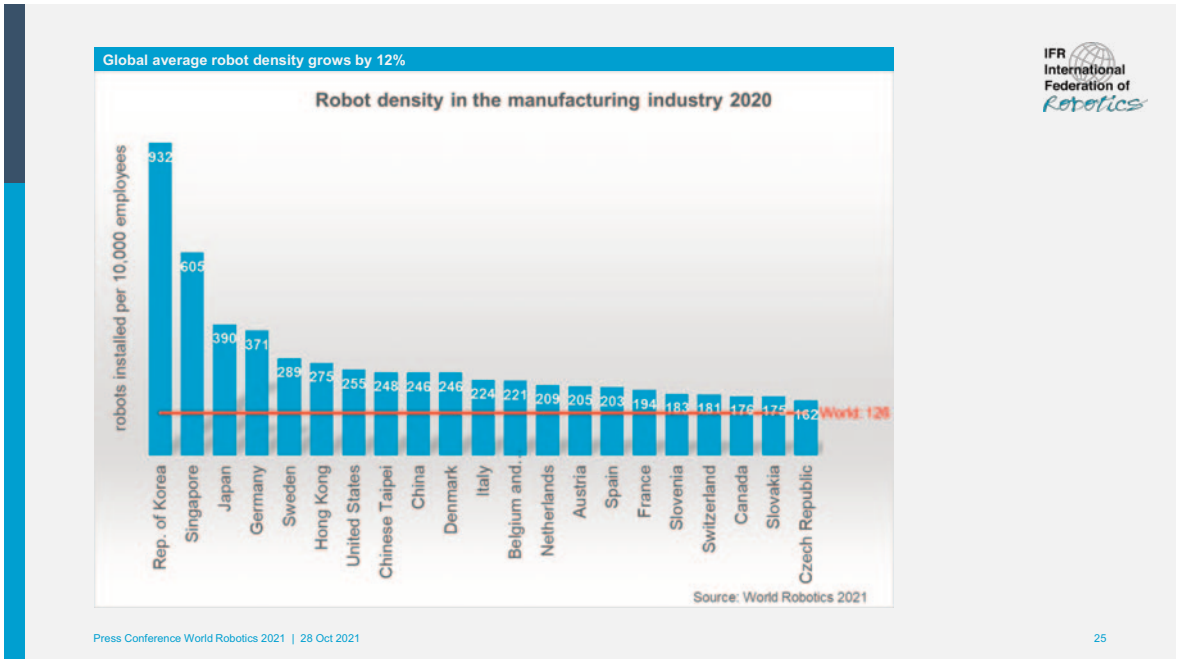
Cada día los robots van ganando protagonismo en el mundo y son capaces de llevar a cabo nuevos logros. Se ha producido una evolución del uso de los robots en el mundo. Han pasado de estar encerrados entre vallas de seguridad a colaborar mano a mano con los operarios (cobots o robots colaborativos) e incluso invadiendo los hogares (Aspirador Roomba) y a día de hoy existen prototipos de robots sociales diseñados para asistir y hacer compañía a personas mayores, en el ámbito de la agricultura hay robots que queman malas hierbas con láser, otros que recolectan manzanas, en medicina ayudan a los médicos a realizar operaciones complejas, y con múltiples aplicaciones más.

La evolución de la tecnología, el impulso que ha supuesto el IOT (Internet Of Things), el big data y la IA (Inteligencia Artificial), han supuesto un gran avance y posibilitado la realización de retos complicados. Por otra parte, precios más asequibles hacen que sean muy eficaces ofreciendo versatilidad, facilidad y rapidez de producción. La programación de los mismos cada vez es más sencilla para el trabajador. Cuando un robot y un humano colaboran la empresa gana productividad.

Realizan trabajos de manipulación de cargas, trabajos repetitivos y trabajos de precisión, entre otros. Además, ayudan a los trabajadores en sus tareas, permitiéndoles que puedan realizar trabajos que aporten más valor al producto final.

Los datos más relevantes de las cifras de los robots en el mundo según la IFR (International Federation of Robotics) son:

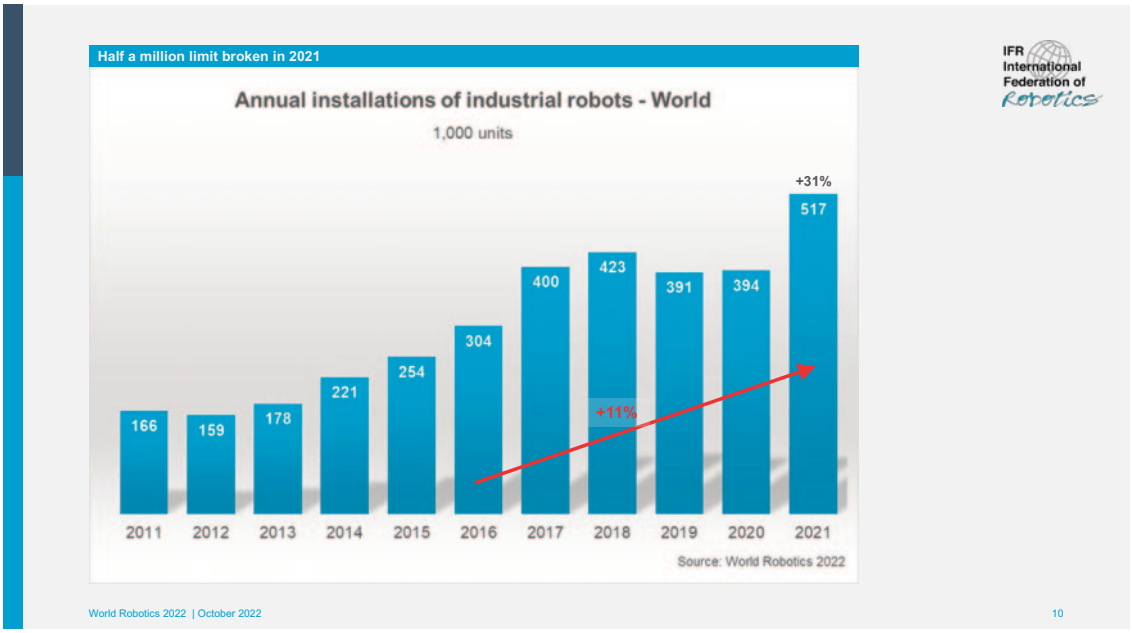
- Evolución de la cifra de robots en el mundo
  Actualmente la media es de 126 robots por cada 10.000 trabajadores. En España 203.



(Fuente IFR International Federation of Robotics)

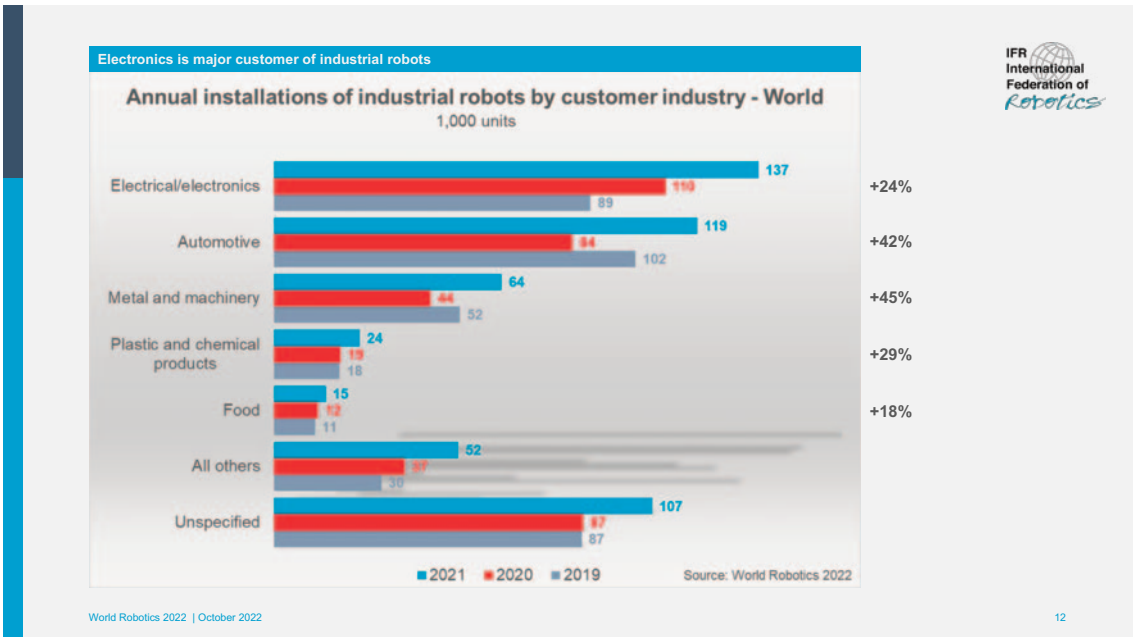
- Incremento anual del 13 % en unidades desde el 2013 a 2018

  En 2019 se instalaron 391.000 unidades, en 2020 394.000 unidades y en 2021 517.000 unidades, lo que supone un incremento del 31 %.



(Fuente IFR International Federation of Robotics)

- Actividades y sectores con más incidencia en instalación de robots: automoción, componentes electrónicos, metal y maquinaria, plástico, productos químicos y alimentación.



(Fuente IFR International Federation of Robotics)

Definición: ¿Qué es un robot industrial?

Su definición se establece claramente en la norma UNE EN ISO 10218-1. Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1. Es la misma definición de la ISO 8373:2012 "Manipulador controlado automáticamente, reprogramable y multifuncional, programable en tres o más ejes, que puede ser fijo o móvil y que se utiliza en aplicaciones industriales automatizadas".

Puntualizaciones sobre la definición.

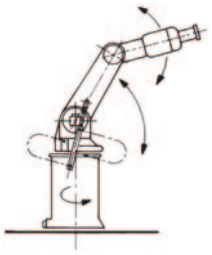
- Reprogramable: diseñado para que los movimientos o funciones auxiliares puedan ser cambiadas sin alteraciones físicas (cambios físicos).
- Multifuncional: capaz de adaptarse a diferentes aplicaciones con alteraciones físicas (cambios físicos).
- Alteración física: alteración del sistema mecánico (no incluye almacenamiento, ROM's).
- Ejes: dirección usada para especificar el movimiento del robot en modo lineal o en rotación.
- Fijo o móvil: el robot puede estar montado en un punto fijo o en un punto no fijo, p. ej. sobre raíles.

El manipulador incluye los accionadores.

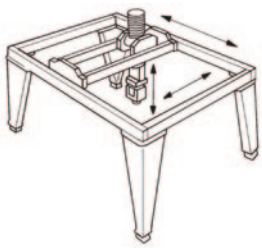
El sistema de control incluye la consola de programación y cualquier interfaz de comunicación (hardware y software).

Clasificación general de los robots según su estructura mecánica (ISO 8373:2012)

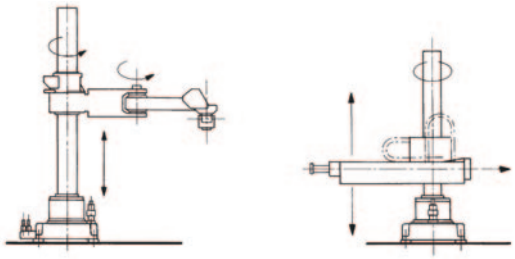
- Robot articulado: robot cuyo brazo tiene como mínimo tres ejes de rotación.



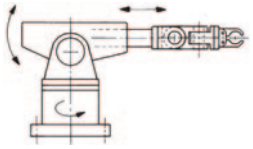
- Robot cartesiano: robot cuyo brazo tiene tres ejes prismáticos que se corresponden con un sistema de ejes cartesianos.



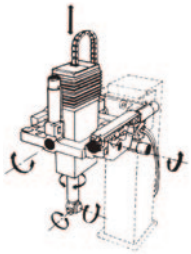
- Robot cilíndrico: robot cuyos ejes forman un sistema de cilindros coordinados.



- Robot polar: robot esférico cuyo brazo tiene dos articulaciones giratorias y una articulación prismática, y cuyos ejes forman un sistema de coordenadas polares.

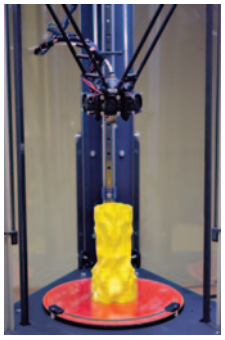


- Robot pendular: robot polar cuya estructura mecánica incluye un subconjunto giratorio de tipo transmisión cardán.



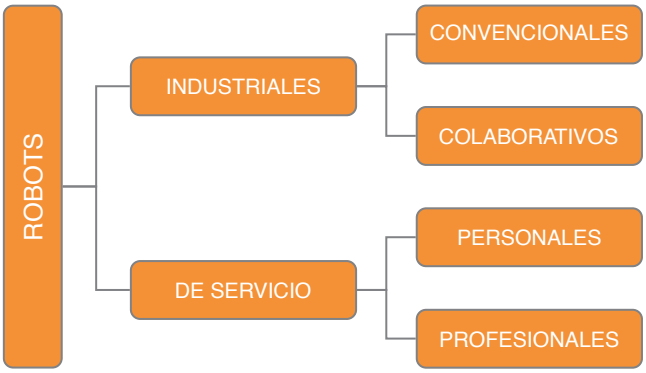
* Dibujos: Fuente: ISO 8373

- Robot Paralelo/Delta: robot cuyos brazos tienen a la vez ejes prismáticos o rotativos concurrentes.



- Robot SCARA: robot que tiene dos ejes paralelos rotatorios para proporcionar acceso en un plano.

Clasificación general de los robots según su función



- Robots industriales y colaborativos

  Los avances tecnológicos han llevado a la aparición de robots colaborativos, permitiendo la colaboración en el mismo espacio y tiempo entre un robot y una persona.

  El objetivo de los robots colaborativos es combinar la actuación repetitiva de los robots con las habilidades de las personas. Las personas tienen excelentes capacidades para resolver ejercicios imprecisos, los robots exhiben precisión, potencia y resistencia.

  Para conseguir la seguridad, las aplicaciones robóticas tradicionalmente excluían el acceso del operador a la zona de operaciones mientras el robot estaba activo. Por lo tanto, una variedad de operaciones requerían la intervención humana y, a menudo, no se podía automatizar utilizando sistemas de robots.

- Robots no industriales. Robots de servicio

  La definición según la ISO 8373: robot que ejecuta trabajos útiles para los humanos o instalaciones excluyendo las aplicaciones de automatización industrial.

  Las aplicaciones de automatización industrial incluyen, pero no se limitan a, fabricación, inspección, embalaje, y montaje.

  Mientras que los robots articulados utilizados en las líneas de producción son robots industriales, robots articulados similares que se utilizan para servir alimentos son robots de servicio.

  - Robots de servicio para uso personal: utilizados para una tarea no comercial, por personal no experto.

    Ejemplos: robot de servicio doméstico, silla de ruedas automatizada, robot de asistencia de movilidad personal y robot entrenador de animales.

  - Robots de servicio para uso profesional: robot de servicio utilizado para una tarea comercial, generalmente operado por un operador debidamente capacitado.

    Ejemplos: robot de limpieza para lugares públicos, robot de distribución en oficinas u hospitales, robot de extinción de incendios, robot de rehabilitación y robot de cirugía en hospitales.

  - Robot móvil: robot capaz de moverse por su cuenta bajo su propio control.

Nota: Un robot móvil puede ser una plataforma móvil con o sin manipuladores.

Norma UNE EN ISO 13482

Los robots no industriales están contemplados en la norma UNE EN ISO 13482. Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots no industriales. Robots de asistencia personal no médicos. Cuyo campo de aplicación es:

- Robots móviles de servicio. Autonomous Mobile Robots (AMR) y Vehículos autoguiados (AGV) UNE-EN ISO 3691-4:2020.

  · AMR es un robot autoguiado, equipado con un software de navegación y con sensores inteligentes que le permiten seleccionar la ruta más eficiente.

  · AGV es un robot móvil que sigue largas líneas marcadas o cables en el suelo, o utiliza ondas de radio, cámaras de visión, imanes o láseres para la navegación.

- Robots de asistencia física

- Robots para el transporte de personas UNE-EN 13814:2006. Maquinaria y estructuras para parques y ferias de atracciones. Seguridad.

Son robots que llevan a cabo habitualmente tareas para mejorar la calidad de vida de los usuarios.

Se deben diseñar los RAP (robots de asistencia personal) teniendo en cuenta un diseño intrínsecamente seguro, medidas de protección y la información para la utilización para todos los peligros identificados para su aplicación (principios de la ISO 12100).

La norma UNE EN ISO 13482 desglosa los requisitos del sistema de mando relacionado con la seguridad (funcionamiento, velocidad, parada, estabilidad, espacio de trabajo, detección de entorno, estabilidad, fuerza, singularidades, etc) ya que un gran número de riesgos surgen de las interacciones dinámicas con los obstáculos relacionados con la seguridad.

Recomienda métodos para la verificación y validación.

Expone cómo evitar, siguiendo los peligros relacionados con:

- la energía
- la forma
- las emisiones
- las interferencias electromagnéticas
- el estrés, la postura y el uso
- los movimientos
- la durabilidad
- las decisiones y acciones autónomas incorrectas
- los componentes en movimiento
- la falta de consciencia de los robots por los seres humanos
- las condiciones ambientales
- los errores de posicionamiento y navegación

Diferencias entre robots industriales y robots colaborativos (ventajas e inconvenientes)

	COLABORATIVOS	NO COLABORATIVOS
ESPACIO NECESARIO	NECESITAN MENOS	LA SEGURIDAD CONDICIONA
VELOCIDAD	POR SEGURIDAD MÁS LENTOS	SUPERIOR
CAPACIDAD DE CARGA	MENOR	PUEDEN CARGAR MÁS
ALCANCE	MÁS LIMITADO	MAYOR
PRODUCCION A ESCALAS MENORES	MEJOR	MENOR FLEXIBILIDAD A LOS CAMBIOS
ESPECIALIZACION	NO TAN ESPECIALIZADOS	MÁS ESPECIALIZADOS
VERSATILIDAD	MÁS VERSATILES	NO TAN VERSÁTILES
PROGRAMACION	MÁS FACIL E INTUITIVA	NECESITA EXPERTO
RESISTENCIA	SON MENOS RESISTENTES	SON MÁS RESISTENTES
INSTALACION	MÁS SENCILLA	MÁS COMPLEJA
COSTE	MENOR	MÁS ELEVADO

LEGISLACIÓN Y NORMAS APLICABLES

- Desde el punto de vista de fabricación y comercialización (RD 1644/2008)

  Afecta al fabricante, fase de fabricación y comercialización. Directiva de nuevo enfoque para el marcado CE. Para que como producto se pueda comercializar en toda la UE.

- Desde el punto de vista de utilización por parte de los trabajadores (RD 1215/1997)

  Afecta al empresario, la persona que pone el equipo de trabajo a disposición del trabajador. Proviene del desarrollo de la Directiva marco de la LPRL. Protección de los trabajadores. De la Directiva marco también se han desarrollado los Reales Decretos de lugares de trabajo, agentes biológicos, riesgo eléctrico, atmòsferas explosivas, señalización, etc.

RD 1644/2008

- RD 1644/2008. Como producto a comercializar y circular libremente por la UE está afectado por la directiva de máquinas, traspuesta a la legislación española mediante el RD 1644/2008. En la actualidad está a punto de aprobarse el Reglamento nuevo de maquinaria, que sustituirá a la Directiva actual, al ser un Reglamento su aplicación será directa y no será necesario que exista un Real Decreto.

- Definición. ROBOT (QUASI 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 a la que se aplique la Directiva de máquinas.

- El robot ha de cumplir:
  - Los requisitos esenciales de seguridad y salud, Anexo I del RD 1644/2008
  - Declaración de incorporación, documentación técnica e instrucciones de montaje.
  - No lleva marcado CE.

- El instalador, fabricante o representante autorizado del robot es quien redacta la declaración de conformidad CE y coloca el marcado CE en la máquina.

- En el expediente que ha de presentar debe de realizar una evaluación de riesgos de la máquina.

- Ha de aportar:
  - Declaración de conformidad
  - Manual de instrucciones original y traducción
  - Razón social y dirección completa del fabricante
  - Uso previsto y modos de no utilización
  - Mantenimiento y reglaje

RD 1215/1997

Como equipo de trabajo está afectado por el RD 1215/1997. Obliga al empresario a cumplir:

- Disposiciones legales que le sean de aplicación
- Condiciones del anexo I y anexo II
- Obligaciones en materia de formación e información (resaltar la asignación de un equipo de trabajo a un trabajador)

Se debe realizar una evaluación de riesgos por parte de un técnico en prevención:

- Cada vez que se produzca algún cambio o modificación.
- Modificaciones sustanciales. Es toda modificación que implique que la máquina realice funciones o aplicaciones que antes no hacía, después de dicha modificación. También se considera modificación sustancial aquélla que dé lugar a la aparición de nuevos riesgos en la máquina. Convierten al que las realiza en fabricante, traspasándole la responsabilidad.

EVALUACIONES DE RIESGO

¿Cuándo se deberá hacer una evaluación?

- Al comprar nuevos equipos o maquinaria, con un robot como parte del proceso.
- Al modificar la maquinaria existente para permitir que se integre un robot.
- Cuando el robot se reubica en una nueva ubicación.
- Cuando el robot recibe una nueva tarea u operación.
- Al revisar periódicamente la ER cuando es necesario reevaluar los controles que estén en vigor para garantizar que sigan siendo efectivos.

¿Cuándo se revisará la evaluación de riesgos?

- Después de cualquier cambio significativo dentro del lugar de trabajo o proceso en cuestión.
- Después de un accidente.
- Después de reportar un casi accidente.

Algunos aspectos a considerar en la evaluación de riesgos:

- Guardas de seguridad, incluido el tipo y las dimensiones relativas
- Inspecciones de enclavamiento
- Inspección del sistema de control de seguridad
- Riesgos térmicos
- Si el robot produce altos niveles de ruido por encima de los límites del umbral
- Cualquier peligro específico asociado con el robot

NORMAS UNE EN ISO y requisitos esenciales de seguridad y salud (RSS)

Las normas UNE EN a aplicar para cumplir los RSS, la denominada presunción de conformidad, con las que se asegura presuntamente el cumplimiento de los requisitos que exige la norma, son, entre otras:

- UNE-EN ISO 12100:2012
- UNE EN ISO 10218-1:2011
- UNE-EN ISO 10218-2:2011
- ISO/TS 15066:2016.

UNE-EN ISO 12100:2012. SEGURIDAD DE LAS MÁQUINAS. PRINCIPIOS GENERALES PARA EL DISEÑO. EVALUACIÓN DEL RIESGO Y REDUCCIÓN DEL RIESGO.

Norma Tipo A. Son normas básicas de seguridad que contienen conceptos básicos, principios generales para el diseño y aspectos generales aplicables a las máquinas.

Describe los peligros básicos y facilita al diseñador la identificación de peligros relevantes y significativos de las máquinas. Es la que se aplica a todo tipo de máquinas en general.

UNE EN ISO 10218-1:2012. ROBOTS Y DISPOSITIVOS ROBÓTICOS. REQUISITOS DE SEGURIDAD PARA ROBOTS INDUSTRIALES. PARTE 1: ROBOTS.

Norma Tipo C. Son normas para la seguridad de las máquinas que describen requisitos de seguridad detallados para una determinada máquina o un grupo de máquinas.

- Especifica los requisitos de seguridad para los robots industriales.
- No aplicable para la integración de robots o el diseño de sistemas de robot (células robotizadas), condición desarrollada en la parte 2 de la norma.

UNE-EN ISO 10218-2:2012 ROBOTS Y DISPOSITIVOS ROBÓTICOS. REQUISITOS DE SEGURIDAD PARA ROBOTS INDUSTRIALES. PARTE 2: SISTEMAS ROBOT E INTEGRACIÓN.

Norma Tipo C

- Especifica los requisitos de seguridad para sistemas robot e integraciones de robots que cumplen con la norma UNE EN ISO 10218-1.
- Se aplica a sistemas de robot como máquinas.
- La integración incluye el diseño, la construcción, instalación, operación, mantenimiento y puesta fuera de servicio.

ASPECTOS CLAVES EN LA IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS.UNE-EN ISO 10218-2:2011

Peligros relativos al robot, incluyendo:

- Características del robot (carga, velocidad, fuerza, impulso, torsión, potencia, geometría, superficie, forma y material).
- Condiciones de contacto cuasi estático en el robot.
- Localización del operador con referencia a las proximidades del robot (trabajando debajo del robot).

Peligros relativos al sistema del robot, incluyendo:

- Pinzas del robot y pieza trabajar, diseño ergonómico, bordes afilados, pérdida de la pieza de trabajo, protuberancias, trabajo con el cargador de herramientas,.
- Operaciones de movimiento y localización con respecto a la posición de las partes, orientación de estructuras (accesorios, soportes, paredes,) y localización de peligros en accesorios.
- Diseño de accesorios, agarraderas, etc.
- Una determinación de si el contacto es transitorio o cuasi-estático, y las partes del cuerpo del operador que pueden ser afectadas.
- El diseño y localización de cualquier control manual del sistema del robot (accesibilidad, ergonomía, posible mal uso, posible confusión del control a indicadores de estado).
- Influencia y efectos de los alrededores (cuando se quita una cubierta protectora de una máquina adyacente, cercanía a un cortador láser).

Peligros relativos a la aplicación, incluyendo:

- Riesgos específicos del proceso (temperatura, partes expulsadas, salpicaduras de soldaduras).

ASPECTOS CLAVES EN LA IDENTIFICACIÓN DE TRABAJOS. UNE-EN ISO 10218-2:2011

- Frecuencia y duración de la presencia del operario en el espacio colaborativo con el robot en movimiento.
- Frecuencia y duración del contacto entre un operador y un sistema de robots con la potencia de accionamiento o aplicaciones relativas a las fuentes de energía activas (guiado manual, interacción física con la herramienta o la pieza de trabajo).

- Transición entre la operación colaborativa y la operación no colaborativa.
- Inicio automático o manual del sistema después de que la operación colaborativa se haya completado.
- Trabajos con más de un operador.
- Cualquier trabajo adicional en el espacio colaborativo.

ISO/TS 15066:2016. ROBOTS Y DISPOSITIVOS ROBÓTICOS. ROBOTS COLABORATIVOS

Especifica los requisitos de seguridad adicionales para los sistemas de robots industriales de colaboración. Suplementa y soporta las UNE EN ISO 10218.

Es una especificación técnica, no una norma armonizada.

Nos facilita la obtención de unos valores límite que se especifican en el Anexo A: valores límite para contactos cuasi-estáticos y transitorios.

Otros documentos de interés

ISO/TR 20218-1 End Effectors (agosto 2018) Reporte técnico

End Effectors : dispositivo diseñado específicamente para la fijación al interfaz mecánica para habilitar el robot para realizar su tarea.

Ejemplos: pinza, pasador de tuercas, pistola de soldar, pistola pulverizadora,...

Este documento proporciona una guía para los efectores en los sistemas de robot, incluidos en las aplicaciones colaborativas en las que un sistema de robot y los operadores comparten el mismo espacio de trabajo. En tales aplicaciones colaborativas, el diseño del efector final es de gran importancia, particularmente características tales como formas, superficies y función de aplicación (por ejemplo, fuerzas de sujeción, generación de material residual, temperatura).

ISO/TR 20218-2 Manual load/unload stations (julio 2017). Reporte técnico

ISO / TR 20218-2: 2017 es aplicable a los sistemas de robot para aplicaciones de carga / descarga manual en las que se protege una zona de peligro, impidiendo el acceso a ella. Para este tipo de aplicación es importante considerar la necesidad tanto de restricciones de acceso a las zonas de peligro como de lugares de trabajo ergonómicamente adecuados.

Tipos de interacción de aplicaciones colaborativas

- **Coexistencia,** cuando el operario y el cobot trabajan al mismo tiempo en espacios diferentes.
- **Cooperación,** cuando el operario y el cobot trabajan en el mismo espacio, pero en tiempos diferentes.
- **Colaboración,** cuando el operario y el cobot trabajan al mismo tiempo en el mismo espacio.
- **Sin interacción,** cuando el cobot trabaja de forma autónoma e independiente.

Definiciones

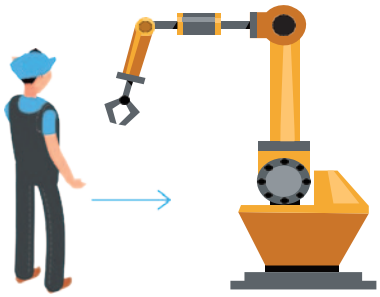
Operación colaborativa. Situación en la cual robots específicamente diseñados trabajan en cooperación directa con humanos en un espacio de trabajo definido.

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.

Las operaciones han de ser colaborativas para poderse realizar en estas condiciones. No es que el robot sea colaborativo, lo ha de ser la aplicación para la que está destinado. Es decir, una operación de corte con un cuchillo nunca podrá ser colaborativa, al no poderse evitar el riesgo de corte con el mismo.

Modos de funcionamiento colaborativo

Las operaciones colaborativas pueden incluir uno o más de los siguientes métodos:



- Paro controlado de seguridad. Parada segura monitorizada

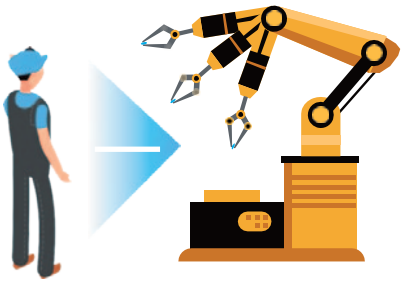
  Este método es utilizado para cesar el movimiento del robot en el espacio colaborativo antes de que el operario entre en el espacio colaborativo para interactuar con el sistema de robot y completar la tarea (colocar material en una pinza). Si no hay operarios en el espacio colaborativo, el robot puede trabajar en modo no colaborativo. Cuando el sistema de robot está en espacio colaborativo la parada supervisada con clasificación de seguridad está activada y el robot está parado permitiendo al operador entrar en el espacio colaborativo. El sistema de robot se activa automáticamente cuando el operador sale del espacio colaborativo.

  El robot debe detenerse y permanecer parado cuando una persona se encuentra en el espacio donde se mueve el robot.

- Guiado manual

  El operario utiliza un dispositivo operado a mano para transmitir los movimientos al sistema de robot. Las operaciones del robot sólo deben ser posibles accionando un mando de validación y con velocidad baja.

  El robot debe de tener funciones de limitación de ejes y velocidades.



- Supervisión de la velocidad y distancia de separación

  La reducción del riesgo se alcanza manteniendo la separación (distancia mínima) entre la persona (operador) y el robot, ya sea reduciendo la velocidad del robot o alterando su trayectoria.

  - Detección de personas.
  - Parada segura monitorizada.
  - Limitación de ejes y velocidades.
  - Una vez realizada, la parada debe monitorizarse continuamente.
  - Reinicio de tarea automático

El robot puede continuar u tarea automáticamente cuando la persona abandone el espacio colaborativo de trabajo.

- Limitación de potencia y fuerza por el diseño inherente o el control

  Los contactos entre el robot y las personas están permitidos pero sólo cuando no originen lesión alguna o daño. Esto ha de ser asegurado mediante el método siguiente:

  · Determinar las partes del cuerpo humano que puedan colisionar con el robot.

  · Limitar las fuerzas de contacto, presiones, etc.

  Requiere un robot diseñado para esta forma de trabajar.

  Para el diseño de estos sistemas se utiliza la especificación técnica ISO/TS15066. En ella aparecen las referencias de los límites de los contactos cuasi-estáticos y de los contactos transitorios.

Tipos de contacto

Se indican dos tipos de contactos posibles:

- Contacto cuasi-estático
- Contacto transitorio

Contacto cuasi-estático

Contacto entre un operador y una parte del sistema de robots, donde el cuerpo del operador puede ser sujetado entre una parte móvil y una parte fija de la célula robótica.

Incluye situaciones de aprisionamiento o aplastamiento en las cuales una parte del cuerpo de una persona es atrapada entre la parte móvil de un sistema de robot y otra fija o móvil de la célula de trabajo. En esta situación, el robot aplicaría una presión o fuerza al cuerpo atrapado por un tiempo hasta que la condición cambiase.

Contacto transitorio

Contacto entre un operador y una parte del sistema de robots, donde el cuerpo del operador no es sujetado y puede retroceder del movimiento del sistema de robot.

Referido como “impacto dinámico” y describe la situación en la cual el cuerpo de una persona es impactado por una parte móvil del robot y puede retroceder o retraer del robot sin aprisionamiento o aplastamiento. Depende de la combinación de inercias del robot y de la persona y de la parte del cuerpo de la persona y de la velocidad relativa de los dos.

ISO 15066:2016. Diseño de sistemas de robots colaborativos de uso industrial

Factores a considerar en el diseño:

- Establecimiento de límites (3 dimensiones) del espacio colaborativo.
- Espacio colaborativo, acceso y espacios libres:
  - Delimitación del espacio restringido y del espacio colaborativo.
  - Influencias en el espacio colaborativo (material almacenado, requerimientos de flujo de producción, obstáculos).
  - La necesidad de espacios libres alrededor de los obstáculos como artículos fijos, equipos y soportes del edificio.
  - Accesibilidad del operario.
  - El contacto razonablemente previsible entre partes del robot y el operador.
  - Rutas de acceso (rutas de los operadores, movimiento del material en el espacio colaborativo).
  - Peligros asociados con resbalones, tropiezos y caídas (bandejas de cableado, superficies desiguales, carritos, etc).
- Ergonomía y comunicación humana con el equipo
  - Claridad de los controles.
  - Posible estrés, fatiga, falta de concentración debido a las operaciones colaborativas.
  - Error o mal uso (intencionado o no) del operador.
  - Posible comportamiento reflejo del operador al funcionamiento del sistema de robot y el equipo relacionado.
  - Nivel de entreno y habilidades del operador.
  - Aceptables límites biomecánicos en funcionamiento previsto y uso indebido razonablemente previsible.
  - Potenciales consecuencias de un contacto o contactos repetitivos.
- Usar límites
  - Descripción de los trabajos incluyendo la preparación y habilidades del operador.
  - Identificación de las personas o grupos con acceso al sistema colaborativo.
  - Identificación de situaciones intencionadas y no intencionadas de contacto.
  - Restringir el acceso para los operadores autorizados.
- Transiciones
  - Principio y final de las operaciones colaborativas.
  - Transiciones de operaciones colaborativas a otro tipo de operaciones.

Medidas de reducción del riesgo pasivas y activas

- Las pasivas provienen del diseño mecánico del robot
- Las activas del diseño del sistema de control del robot

Medidas pasivas

- Incremento del área de contacto
  - Esquinas y cantos redondeados
  - Superficies suaves
  - Superficies compatibles

- Absorbiendo energía, aumentando el tiempo de transferir energía, o reduciendo las fuerzas de impacto

    - Acolchados
    - Componentes deformables
    - Juntas o enlaces compatibles

- Limitando el movimiento de masas

Medidas activas incluyen pero no se limitan a:

- Limitar fuerzas o pares
- Limitar velocidades de las partes móviles
- Limitar la inercia, fuerza mecánica o energía en función de las masas o velocidades
- Utilizar ejes blandos y limitar el espacio
- Utilizar la parada de emergencia
- Utilizar sensores para anticipar o detectar el contacto

Valoración de los contactos. Modelo del cuerpo. ISO 15066:2016

El modelo incluye 29 específicas partes del cuerpo categorizadas en 12 regiones.

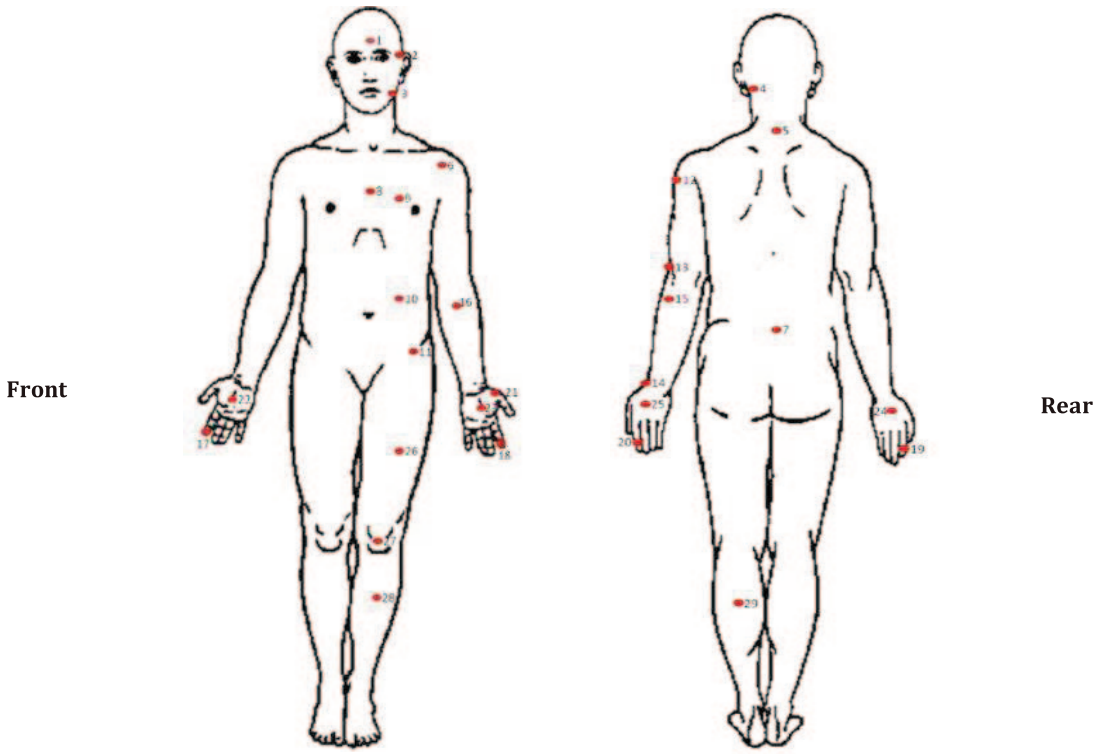


TABLA I. MODELO PARTES DEL CUERPO

Parte cuerpo			Frente/trasero
Cráneo y frente	1	Frente	Frente
	2	Sien	Frente
Cara	3	Mandíbula	Frente
Cuello	4	Cuello y vértebra	Trasero
	5	7ª vértebra del cuello	Trasero
Espalda y hombros	6		Frente
	7		Trasero
Pecho	8	Esternón	Frente
	9	Pectoral	Frente
Abdomen	10	Abdominal	Frente
Pelvis	11		Frente
Parte superior brazos y codos	12		Trasero
	13	Húmero	Trasero
Parte inferior de los brazos y muñecas	14	Radio	Trasero
	15		Trasero
	16		Frente
Manos y dedos	17		Frente
	18		Frente
	19		Trasero
	20		Trasero
	21	Base del pulgar	Frente
	22		Frente
	23		Frente
	24		Trasero
	25		Trasero
Muslos y rodillas	26	Muslo	Frente
	27	Rodilla	Frente
Piernas	28	Medio de la espinilla	Frente
	29	Pantorrilla	Trasero

TABLA 2. VALORES LÍMITE BIOMECÁNICOS

Nos proporciona una tabla de valores máximos de presión y fuerza admisibles en función del tipo de contacto.

El contacto con la cara, el cráneo y la frente no está permitido.

Parte cuerpo	Parte específica del cuerpo		Contacto cuasi estático		Contacte transitorio	
			Presión máxima admisible N/cm2	Fuerza máxima admisible N	Presión máxima admisible Factor multiplicador	Fuerza máxima admisible Factor multiplicador
Cráneo y frente	1	Frente	130	130	No admisible	No admisible
	2	Sien	110		No admisible	No admisible
Cara	3	Mandíbula	110	65	No admisible	No admisible
Cuello	4	Cuello y vértebra	140	150	2	2
	5	7ª vértebra del cuello	210		2	
Espalda y hombros	6	Articulación del hombro	160	210	2	2
	7	5ª vértebra lumbar	210		2	2
Pecho	8	Esternón	120	140	2	2
	9	Pectoral	170	110	2	
Abdomen	10	Abdominal	140	180	2	2
Pelvis	11	Pelvis	210		2	2
Parte superior brazos y codos	12	Deltoides	190	150	2	2
	13	Humero	220		2	
Parte inferior de	14	Radio	190	160	2	2
Manos y dedos	15	Músculo del antebrazo	180		2	
	16	Nervio del brazo	180		2	
	17	Índice	300	140	2	2
	18		270		2	
	19	Articulación del extremo del dedo	280		2	
	20		220		2	
	21	Base del pulgar	200		2	
	22	Palma	260		2	
	23		260		2	
	24	Trasera de la mano	200		2	
	25		190		2	
Muslos y rodillas	26	Muslo	250	220	2	2
	27	Rodilla	220		2	
Piernas	28	Medio de la espinilla	220	130	2	2
	29	Pantorrilla	210		2	

Estos límites pueden ser calculados basándose en la sensibilidad al dolor en el interface hombre máquina en situaciones donde el contacto ocurre. Estos valores límite se pueden usar para establecer los valores límite de presión y fuerza para varias zonas del cuerpo humano usando un modelo de cuerpo. Estos datos se pueden extrapolar para establecer límites de transferencia de energía en la interfaz hombre-máquina. Luego, se pueden prescribir límites de velocidad para un robot que se mueve a través de un espacio de trabajo colaborativo. Los valores de los límites de velocidad mantendrían los valores de fuerza y presión por debajo del umbral de sensibilidad al dolor si se produjera contacto entre un operador y un robot.

Estos valores límite se basan en estimaciones conservadoras (choque totalmente inelástico) y en investigaciones científicas sobre la sensación de dolor.

Al interpretar los valores hemos de tener en cuenta:

- Los valores biomecánicos del estudio Universidad Mainz se basan en un solo estudio. En un futuro se pueden modificar valores. 100 adultos saludables 29 áreas testeadas. 75,5 percentil.

- Los valores de la fuerza máxima permisible viene de un estudio llevado a cabo por una organización independiente referida a 188 fuentes. Estos valores se refieren a zonas del cuerpo, no a partes específicas. La máxima fuerza permisible se basa en la más baja transferencia de energía que pueda resultar en la menor lesión, equivalente a la severidad de 1 en la Escala de Abreviadas Lesiones (AIS) establecida por la Association for the Advancement of Automotive Medicine. El uso de estos límites evitará la aparición de penetraciones en piel o tejidos blandos que se acompañen de heridas sanguinolentas, fracturas u otros daños esqueléticos y que estén por debajo de AIS 1. Serán reemplazados en el futuro por valores de una investigación más específica para cobots.

- El valor multiplicador para los contactos transitorios se basa en estudios que demuestran que los valores transitorios pueden ser como mínimo dos veces más grandes que los cuasi-estáticos para fuerza y presión.

ASEPEYO