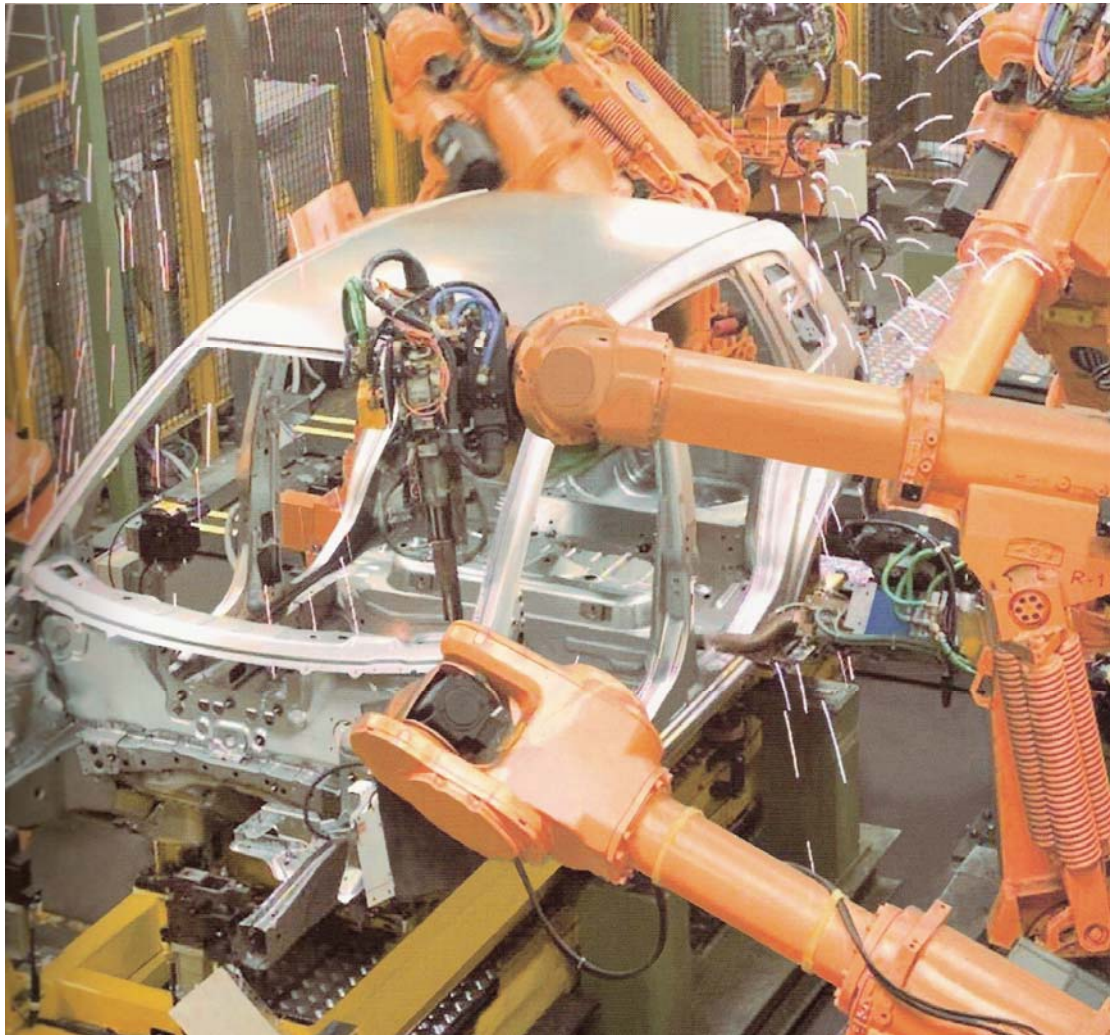


Guía técnica de seguridad en robotica



PROLOGO

Financiado por el Gobierno de Aragón.
Departamento de Economía, Hacienda y Empleo.
Dirección general de Trabajo e Inmigración

En la realización de este trabajo han intervenido los siguientes organismos y empresas.

La dirección y coordinación técnica la ha llevado a cabo el personal del Gabinete Técnico de Prevención y Seguridad Industrial en PYMES de la Confederación de la Pequeña y Mediana Empresa Aragonesa (CEPYME / ARAGÓN)

Con la colaboración de:



ÍNDICE

1. Introducción	7
1.1. La Robótica	11
1.1.1. Campos de aplicación de la robótica.	12
1.2. Robótica y automatización	14
1.2.1 Tipos de automatización industrial	14
1.3. Robótica Industrial	16
1.3.1. ¿Qué es el robot industrial?	16
1.3.2. Clasificación de los robots industriales	17
1.3.2.1 Robots de primera generación	18
1.3.2.2 Robots de segunda generación	18
1.3.3. Tipos de configuraciones para robots industriales	18
1.3.3.1 Configuración cartesiana	19
1.3.3.2. Configuración cilíndrica	20
1.3.3.3. Configuración polar	21
1.3.3.4. Configuración angular (o de brazo articulado)	22
1.3.3.5. Configuración SCARA	23
1.3.3.6. Configuración paralela	23
1.3.4 Volumen de trabajo	24
1.3.5 Sistemas de Impulsión de los robots industriales	26
1.3.5.1 Hidráulico.	26
1.3.5.2 Eléctrico.	26
1.3.5.3 Neumático.	26
1.3.6. Componentes de un robot industrial	27
1.3.6.1. Estructura mecánica	27
1.3.6.2. Sistema locomotor (actuadores)	28
1.3.6.3.Sistema sensorial (sensores)	28
1.3.6.4.Sistema de decisión y planificación	28
1.3.6.5.Dispositivos de entrada y salida de datos	28
1.3.6.6.Sistema de comunicación	29
1.3.7.Grados de libertad o ejes	30
1.3.8. Aplicaciones más comunes en industria	31
1.4 Análisis de la necesidad de un robot	32

2. Las estrategias de automatización avanzada y su impacto sobre la seguridad y la salud	36
3. Evolución de los factores estresores en un contexto de fuerte automatización	38
4. Riesgos de los robots	46
4.1 Riesgos tradicionales	46
4.1.1 Factores físicos	46
4.1.2 Factores químicos	47
4.1.3 Factores biológicos	47
4.1.4 Factores fisiológicos	47
4.1.5 Factores psicológicos	47
4.2 Riesgos específicos	47
4.2.1 Riesgo de colisión entre hombre-maquina	48
4.2.2 Riesgo de proyección	48
4.2.3 Riesgo de atrapamiento	48
4.2.4 Riesgos tradicionales	48
5. Posibles fuentes de riesgos de robots industriales	49
5.1 Errores de control y mando	49
5.1.1 Fallos producidos por averías en el material que componen los circuitos integrados	49
5.1.1.1 Fallos del lógica	49
5.1.1.2 Perturbaciones	49
5.1.1.3 Problemas de control	52
5.2 Acceso no autorizado	53
5.3 Errores humanos	53
5.4 Elementos mecánicos	53
6. Normativa legal de seguridad de robots	54
6.1 Normativa internacional ISO 10218 :1992.	54
6.2 Normativa americana ANSI/RIA R15.06-1992.	55
6.3 Normativa europea EN 775 y española UNE-EN 775	55
7. Medidas de seguridad	56
7.1 Medidas de seguridad a tomar en la fase de diseño del robot.	57
7.2 Medidas de seguridad a tomar en la fase de diseño de la célula robotizada.	58

7.3 Medidas de seguridad a tomar en la fase de instalación y explotación del sistema.	60
7.4 Medidas de seguridad proporcionadas por los fabricantes.	61
8. Sistemas de seguridad	65
8.1 Barreras materiales	67
8.1.1 Dimensionamiento de resguardos para impedir el alcance hacia arriba o por encima de una estructura de protección	69
8.1.2 Dimensionamiento de resguardos para impedir el alcance alrededor de un obstáculo	72
8.1.3 Dimensionamiento de resguardos para impedir el alcance a través de aberturas en la protección	73
8.1.4 Dimensionamiento de resguardos para impedir el alcance por debajo de las estructuras de protección	76
8.2. Accesos a zona perimetral	77
8.2.1 Interruptor de seguridad con dispositivo de bloqueo	77
8.2.2 Interruptor de seguridad sin dispositivo de bloqueo	79
8.2.3 Interruptor de seguridad sin contacto	80
8.3. Sistemas optoelectrónicos de seguridad – barreras inmateriales	81
8.3.1 Cortinas fotoeléctricas	83
8.3.2 Scanner láser	87
8.3.3 Alfombras sensibles	88
8.4. Sistemas de supervisión de elementos distribuidos de seguridad	90
8.4.1 Módulos de seguridad.	90
8.4.2 Módulos programables de seguridad.	90
8.4.3 Automatas de seguridad	91
9. Normas de seguridad para trabajar con robots	94
10. Requisitos de seguridad de una célula robotizada	96
11. Bibliografía	100

1. Introducción

A modo de introducción, debemos hacer referencia al origen de la palabra Robot, si bien desde la antigüedad se conocen ingenios mecánicos con formas más o menos humanas cuyo propósito fue proveer diversión en las cortes o llamar la atención de la gente, estos ingenios carecen de importancia desde el punto de vista tecnológico, precisamente por su destino.

El término Robot fue acuñado por el escritor checoslovaco Karel Kapek, fallecido en 1938, que adquirió fama mundial con su obra R.U.R en la que presenta al obrero moderno como un esclavo mecánico, es allí donde justamente emplea la palabra Robot, tomada del eslavo Robota, que significa trabajo. Es este aspecto que sí nos interesa y sobre el cual haremos algunas consideraciones.

Norber Winer, matemático norteamericano, que introdujo el término cibernética y su teoría, refiriéndose al mismo tema, expresó:

"Es una degradación para un ser humano encadenarlo a un remo y usarlo como fuente de energía; pero es casi igual degradación asignarle tareas puramente repetitivas en una fábrica, que exigen menos de una millonésima de su poder cerebral".

Es más sencillo organizar una fábrica que utiliza individualidades humanas aprovechando sólo una fracción trivial de su valía, que preparar un mundo en el que estos puedan alcanzar su plena dimensión. La aplicación del Taylorismo ha traído como consecuencia no sólo condiciones particulares de consumo y cultura, sino también resulta ser el responsable de la creación de condiciones de trabajo repetitivas, monótonas, alienantes y degradantes para quien las efectúa.

No son pocos los intentos que se efectúan con el ánimo de modificar las condiciones de trabajo comentadas, estos intentos que describiremos rápidamente y que reciben denominaciones tan atractivas como: "Rotación del

trabajo" (Job-rotation) o "Ensanchamiento del trabajo" (Job-enlargement) consisten por ejemplo en que los trabajadores José, Pedro y Juan cumplan alternativamente los trabajos repetitivos X, Y y Z. Como podemos comprender se trata de una solución falsa, en la que operarios cumplen una serie de operaciones repetitivas, al final de las cuales deberán comenzar nuevamente. El "Trabajo enriquecido" (job-enrichement) agrega a la rotación ya descrita la ejecución de tareas no repetitivas, como por ejemplo el mantenimiento. Un ejemplo de este sistema en el que se han puesto grandes esperanzas, lo constituyeron las islas de montaje en la industria automotriz Sueca.

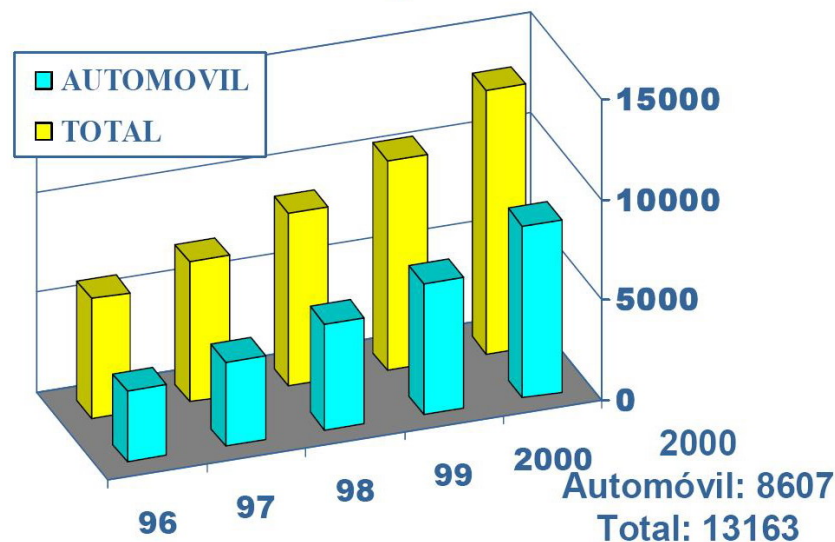
Los resultados obtenidos hasta el presente no justifican las expectativas iniciales. Hasta el momento sólo la Robotización del trabajo o Robótica aparece como el medio capaz de superar al Taylorismo mediante una revalorización de su filosofía, cuya racionalidad consiste en haber parcializado el trabajo, pero su irracionalidad se manifiesta en el último eslabón del proceso, constituido por el empleo de un ser "inteligente" en una operación estúpida.

La aplicación de los robots se enfoca prácticamente a cualquier tarea que el ser humano pueda realizar, abriéndose así el campo de investigación para la robótica. Las principales restricciones para la investigación de cómo realizar cierta tarea son el costo en dinero y tiempo y esto precisamente es lo que ha definido las áreas de investigación en la robótica. Debido a estas restricciones, las principales aplicaciones que se tienen actualmente son en manufactura y cuyo aumento esperado en productividad justifica la inversión.

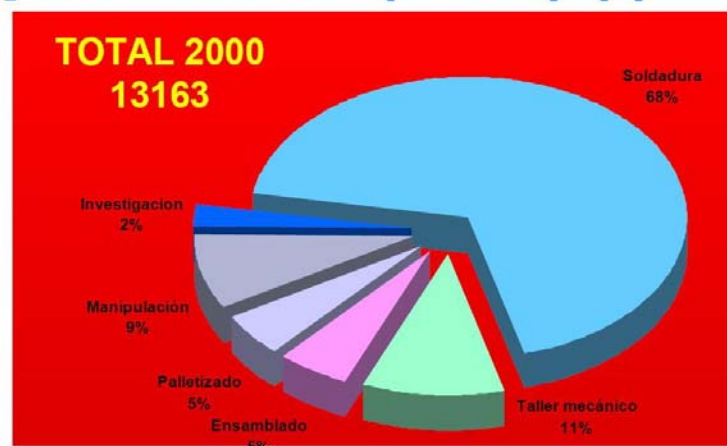
En los últimos cinco años, las ventas de robots en España han superado todas las previsiones, alcanzando tasas de crecimiento superiores al 15% anual. En 1998 las ventas se incrementaron un 51 % respecto a las ventas realizadas en 1997, hasta alcanzar las 1810 unidades vendidas. En 1999 se alcanzó un nuevo record de ventas, instalándose 2112 unidades. El parque operativo de robots en España alcanzó en 1999 la cifra total de 10.437 robots, frente a los 8.633 robots operativos en el año anterior.

Paralelamente a la expansión de la robótica industrial, estamos asistiendo a la incipiente incorporación de robots de servicios en diversas áreas de actividad: en 1999, el parque operativo de robots de servicios en todo el mundo alcanzó las 6.600 unidades. La Federación Internacional de Robot prevé que entre los años 2001 y 2003, el parque de robots de servicios aumente rápidamente, alcanzado las 319.400 unidades (incluyendo los robots de uso doméstico, y los robots de limpieza/aspiradores) (IFR, 2000). Es obvio que la expansión simultánea de los robots industriales y de servicios en los próximos años influirá sobre la evolución del empleo, las condiciones de trabajo, y la organización empresarial y doméstica.

Robots en España



Robots en España por aplicaciones (2000) (I)



ROBOTS EN ESPAÑA POR FABRICANTE (2000)

MARCA	Robots en 2000	MARCA	Robots en 2000
ABB	5610	REIS	152
KUKA	2439	STAUBLI	152
FANUC	1451	ADEPT	108
OTROS	801	COMAU	105
SEPRO	627	MITSUBISHI	65
WITTMAN	454	CLOOS	60
MOTOMAN	437	ESHED	46
KAWASAKI	251	CRS	37
YAMAHA	186	BOSCH	25
PANASONIC	152	DEA	5

El cumplimiento de las normas cada vez más estrictas de seguridad en el trabajo ha llevado en los últimos años al desarrollo e implantación de robots que realizan tareas consideradas peligrosas para la salud humana, o que se realizan en contextos hostiles para el ser humano. La descripción de los avances en seguridad derivados de la implantación de robots debe tomar en consideración los nuevos prototipos de robots industriales y de servicios que automatizarán tareas peligrosas en los próximos años. Y debe presentar los nuevos riesgos que se derivan del uso de esta tecnología, que nos sitúan ante un contexto diferente en el ámbito de la prevención, el trabajo y la salud. En este artículo, analizaremos los principales factores que influyen en la evolución del mercado de robots industriales, los impactos sobre la reducción de accidentes laborales, la automatización de tareas consideradas peligrosas para la salud de los trabajadores en los próximos años, y las previsiones de los expertos españoles en relación con la evolución y tipificación de los impactos de la robotización relativos a las condiciones de trabajo y la salud de los trabajadores, haciendo especial hincapié en el análisis de los factores estresores en un contexto laboral caracterizado por una creciente automatización.

1.1. La Robótica

La robótica es una área interdisciplinaria formada por la ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica y sistemas computacionales. La mecánica comprende tres aspectos: diseño mecánico de la máquina, análisis estático y análisis dinámico. La microelectrónica le permite al robot transmitir la información que se le entrega, coordinando impulsos eléctricos que hacen que el robot realice los movimientos requeridos por la tarea. La informática provee de los programas necesarios para lograr la coordinación mecánica requerida en los movimientos del robot, dar un cierto grado de inteligencia a la máquina, es decir adaptabilidad, autonomía y capacidad interpretativa y correctiva.

El término de robótica inteligente combina cierta destreza física de locomoción y manipulación, que caracteriza a lo que conocemos como robot, con habilidades de percepción y de razonamiento residentes en una computadora. La locomoción y manipulación están directamente relacionadas con los componentes mecánicos de un robot. La percepción está directamente relacionada con dispositivos que proporcionan información del medio ambiente (sensores); estos dispositivos pueden ser de tipo ultrasonido (radares), cámaras de visión, láseres, infrarrojos, por mencionar algunos. Los procesos de razonamiento seleccionan las acciones que se deben tomar para realizar cierta tarea encomendada. La habilidad de razonamiento permite el acoplamiento natural entre las habilidades de percepción y acción.

La robótica en la actualidad tiene dos ramas: una que trata con ambientes preparados (industriales) y la otra que trata con ambientes no estructurados y no predecibles (submarinos, catástrofes y el espacio). En algún tiempo se pensó erróneamente que se necesitaría de un gran desarrollo en sensado, percepción y razonamiento aún para robots industriales.

Actualmente, la robótica industrial se está extendiendo en muchos países, especialmente en Japón, debido exactamente a que se tiene disponibles el tiempo y el ambiente para preparar al robot en su tarea a realizar para practicarla y perfeccionarla, de tal forma que se pueda repetir muchas veces. El sensado se utiliza raramente para cubrir cosas ligeramente impredecibles. Sin embargo, lo del proceso anterior es suficiente dado que la planeación y preparación son las palabras claves en manufactura.

Los investigadores en robótica han tenido que enfocarse en ambientes no estructurados para poder justificar mucha de la investigación en sensado y habilidad de manejo que se ha hecho en la última década. Obviamente, el hombre puede hacer muchas más cosas que un robot, pero la pregunta continúa: si la robótica lo reemplazará o no.

1.1.1. Campos de aplicación de la robótica.

Teóricamente el uso de sistemas robóticos podría extenderse a casi todas las áreas imaginables en donde se necesite de la ejecución de tareas mecánicas, tareas hoy ejecutadas por el hombre o imposibles de ejecutar por él (por ej. una exploración sobre el terreno de la superficie marciana). Se entiende, en este contexto, que tarea mecánica es toda actividad que involucra presencia física y movimiento por parte de su ejecutor.

Pero al situarnos en el contexto real, en la práctica, nos damos cuenta de que existen factores que limitan el vuelo de nuestra imaginación, los que mencionaremos en el siguiente punto.

Algunos de los campos de aplicación actuales de la robótica son:

Investigación - Exploración.

En donde los robots presentan la ventaja de resistir mejor los medioambientes hostiles para el ser humano.

Entretenimiento.

Esta industria se favorece del uso de robots para recrear situaciones ficticias o posibles, haciendo uso de los llamados "efectos especiales".

Construcción.

Industria en que ya se registran proyectos que incluyen el uso de robots como ejecutores de tareas de dimensionamiento, transporte, montaje, entre otras.

Automatización Industrial.

Es el más relevante y de interés para nosotros. Corresponde al uso de robots en la industria a fin de mejorar, agilizar y aumentar la producción en los diferentes procesos.

1.2.2 Factores que limitan el desarrollo e implementación de sistemas robóticos.

Como mencionamos anteriormente, las aplicaciones de los sistemas robóticos podrían ser innumerables. Pero existen dos factores, fuertes y decisivos, que inhiben el crecimiento y desarrollo de esta tecnología. Estos a considerar son:

Limitaciones económicas.

Dado que la robótica es una disciplina de avanzada y en desarrollo, los costos asociados a ella son altísimos, puesto que se necesitan recursos no sólo para su construcción. Hay muchas áreas de investigación relacionadas que también son fuentes de costo, y hacen que en la actualidad un sistema robótico sea un producto carísimo y no masificado.

Limitaciones tecnológicas.

Un campo de investigación como la robótica está orientado a tratar de llevar a la práctica ideas que pueden haber sido concebidas hace ya mucho tiempo. Además del factor recursos, la concreción de dichas ideas dependerá de que se hayan encontrado o desarrollado los medios tecnológicos que la permitan.

1.2. Robótica y automatización

Son disciplinas surgidas en diferentes épocas. La robótica nace en décadas recientes para complementarse con la automatización, aportándole como elemento innovador cierto grado de inteligencia.

En el contexto industrial, la automatización es como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos, electrónicos y basados en la informática en la operación y control de la producción. Este concepto, para ser actualizado, debe incluir el uso de robots.

El robot industrial forma parte del progresivo desarrollo de la automatización industrial, favorecido notablemente por el avance de las técnicas de control por computadora, y contribuye de manera decisiva a la automatización en los procesos de fabricación de series de mediana y pequeña escala.

1.2.1 Tipos de automatización industrial

Automatización fija.

Se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto, y por lo tanto es adecuada para diseñar equipos especializados para procesar productos o componentes de éstos con alto rendimiento y elevadas tasas de producción.

Automatización Programable.

Se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de productos a obtener. En este caso, el equipo de producción está diseñado para ser adaptable a variaciones en la configuración del producto. Esta característica de adaptabilidad se logra haciendo funcionar el equipo bajo el control de un programa de instrucciones para el producto dado. La producción se obtiene por lotes.

Automatización Flexible.

Es una categoría situada entre las dos anteriores. Se ha comprobado que es más adecuada para el rango medio de producción. Con este tipo de automatización pueden obtenerse simultáneamente varios tipos de producto, en el mismo sistema de fabricación.

1.3. Robótica Industrial

1.3.1. ¿Qué es el robot industrial?

Se entiende por Robot Industrial a un dispositivo de maniobra destinado a ser utilizado en la industria y dotado de uno o varios brazos, fácilmente programable para cumplir operaciones diversas con varios grados de libertad y destinado a sustituir la actividad física del hombre en las tareas repetitivas, monótonas, desagradables o peligrosas.

El RIA Robot Institute of America define al Robot como "Un manipulador multifuncional reprogramable, diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos variables programados para la performance de una variedad de labores"

Estas definiciones indudablemente no abarcan todas las posibilidades de aplicación presente y futuras de los Robots y en opinión de quienes escriben, el Robot es para la producción, lo que el computador es para el procesamiento de datos. Es decir, una nueva y revolucionaria concepción del sistema productivo cuyos alcances recién comienzan a percibirse en los países altamente industrializados.

Realmente, los Robots no incorporan nada nuevo a la tecnología en general, la novedad radica en la particularidad de su arquitectura y en los objetivos que se procura con los mismos. El trabajo del Robot se limita generalmente a pocos movimientos repetitivos de sus ejes, estos son casi siempre 3 para el cuerpo y 3 para la mano o puño, su radio de acción queda determinado por un sector circular en el espacio donde este alcanza a actuar. Cuando las partes o piezas a manipular son idénticas entre sí y se presentan en la misma posición, los

movimientos destinados a reubicar o montar partes se efectúan mediante dispositivos articulados que a menudo finalizan con pinzas.

La sucesión de los movimientos se ordena en función del fin que se persigue, siendo fundamental la memorización de las secuencias correspondientes a los diversos movimientos. Puede presentarse el caso en el que las piezas o partes a ser manipuladas no se presenten en posiciones prefijadas, en este caso el robot deberá poder reconocer la posición de la pieza y actuar u orientarse para operar sobre ella en forma correcta, es decir se lo deberá proveer de un sistema de control adaptativo.

Si bien no existen reglas acerca de la forma que debe tener un robot industrial, la tecnología incorporada a él está perfectamente establecida y en algunos casos esta procede de las aplicadas a las máquinas-herramientas. Los desplazamientos rectilíneos y giratorios son neumáticos, hidráulicos o eléctricos. Como es sabido, los sistemas neumáticos no proveen movimientos precisos debido a la compresibilidad del aire y en ellos deben emplearse topes positivos para el posicionamiento, lo que implica la utilización de dispositivos de desaceleración. Los Robots Neumáticos poseen una alta velocidad de operación manipulando elementos de reducido peso.

Los accionamientos hidráulicos proporcionan elevadas fuerzas, excelente control de la velocidad y posicionamiento exacto. En cuanto a los sistemas eléctricos se utilizan motores de corriente continua o motores paso a paso. Estos dos tipos de Robots quedan reservados a la manipulación de elementos más pesados o los procesos de trayectorias complejas como las tareas de soldadura por punto o continua.

1.3.2. Clasificación de los robots industriales

Una clasificación del grado de complejidad del Robot puede establecerse de la siguiente forma:

1.3.2.1 Robots de primera generación

Dispositivos que actúan como "esclavo" mecánico de un hombre, quien provee mediante su intervención directa el control de los órganos de movimiento. Esta transmisión tiene lugar mediante servomecanismos actuados por las extremidades superiores del hombre, caso típico manipulación de materiales radiactivos, obtención de muestras submarinas, etc.

1.3.2.2 Robots de segunda generación

El dispositivo actúa automáticamente sin intervención humana frente a posiciones fijas en las que el trabajo ha sido preparado y ubicado de modo adecuado ejecutando movimientos repetitivos en el tiempo, que obedecen a lógicas combinatorias, secuenciales, programadores paso a paso, neumáticos o Controladores Lógicos Programables. Un aspecto muy importante está constituido por la facilidad de rápida reprogramación que convierte a estos Robots en unidades "versátiles" cuyo campo de aplicación no sólo se encuentra en la manipulación de materiales sino en todo los procesos de manufactura, como por ejemplo: en el estampado en frío y en caliente asistiendo a las máquinas-herramientas para la carga y descarga de piezas. En la inyección de termoplásticos y metales no ferrosos, en los procesos de soldadura a punto y continúa en tareas de pintado y reemplazando con ventaja algunas operaciones de máquinas convencionales.

1.3.2.3. Robots de tercera generación

Son dispositivos que habiendo sido construidos para alcanzar determinados objetivos serán capaces de elegir la mejor forma de hacerlo teniendo en cuenta el ambiente que los circunda. Para obtener estos resultados es necesario que el robot posea algunas condiciones que posibiliten su interacción con el ambiente y los objetos. Las mínimas aptitudes requeridas son: capacidad de reconocer

un elemento determinado en el espacio y la capacidad de adoptar propias trayectorias para conseguir el objetivo deseado. Los métodos de identificación empleados hacen referencia a la imagen óptica por ser esta el lenguaje humano en la observación de los objetos, sin embargo no puede asegurarse que la que es natural para el hombre, constituye la mejor solución para el robot.

1.3.3. Tipos de configuraciones para robots industriales

Cuando se habla de la configuración de un robot, se habla de la forma física que se le ha dado al brazo del robot.

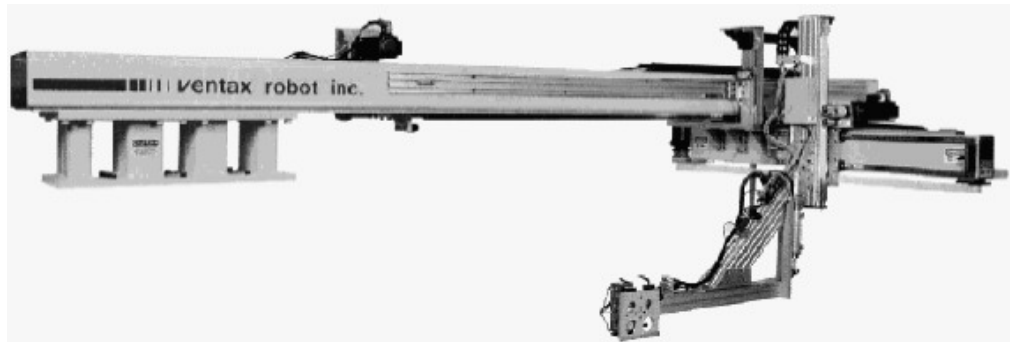
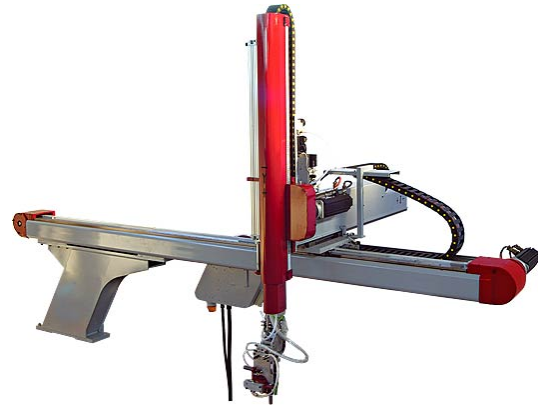
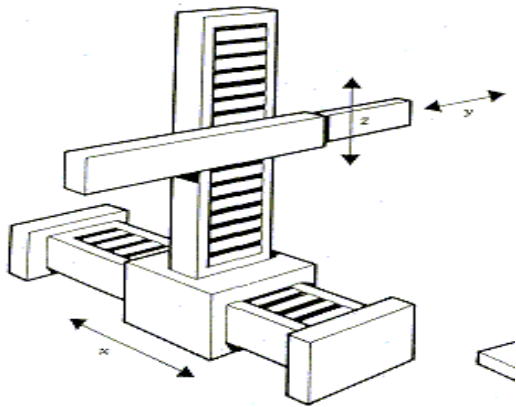
El brazo del manipulador puede presentar cuatro configuraciones clásicas: la cartesiana, la cilíndrica, la polar y la angular.

1.3.3.1 Configuración cartesiana

Posee tres movimientos lineales, es decir, tiene tres grados de libertad, los cuales corresponden a los movimientos localizados en los ejes X, Y y Z.

Los movimientos que realiza este robot entre un punto y otro son con base en interpolaciones lineales. Interpolación, en este caso, significa el tipo de trayectoria que realiza el manipulador cuando se desplaza entre un punto y otro.

A la trayectoria realizada en línea recta se le conoce como interpolación lineal y a la trayectoria hecha de acuerdo con el tipo de movimientos que tienen sus articulaciones se le llama interpolación por articulación.

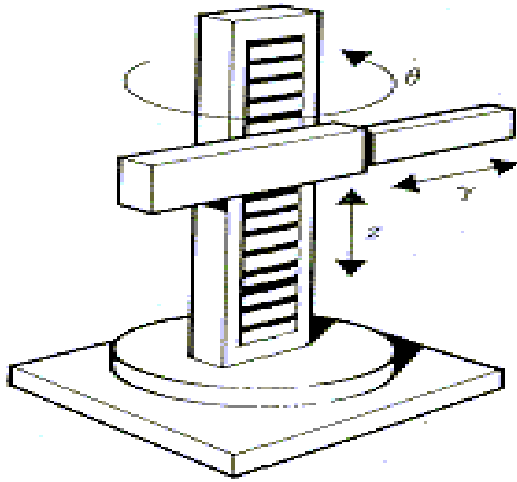


1.3.3.2. Configuración cilíndrica

Puede realizar dos movimientos lineales y uno rotacional, o sea, que presenta tres grados de libertad.

El robot de configuración cilíndrica está diseñado para ejecutar los movimientos conocidos como interpolación lineal e interpolación por articulación.

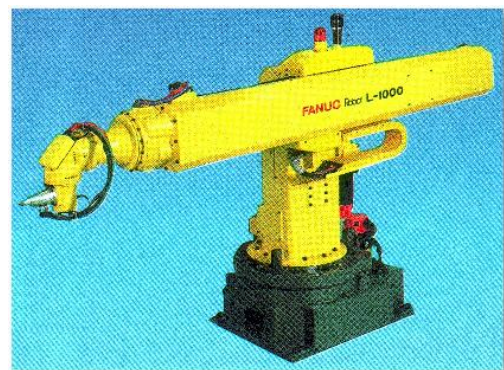
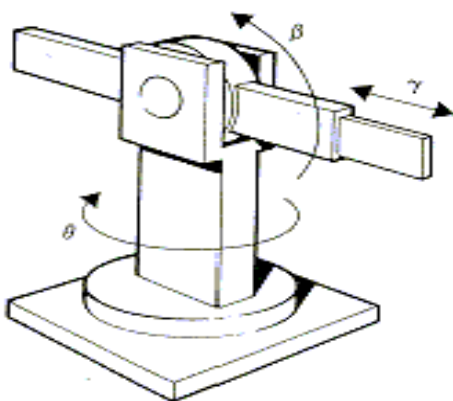
La interpolación por articulación se lleva a cabo por medio de la primera articulación, ya que ésta puede realizar un movimiento rotacional.



1.3.3.3. Configuración polar

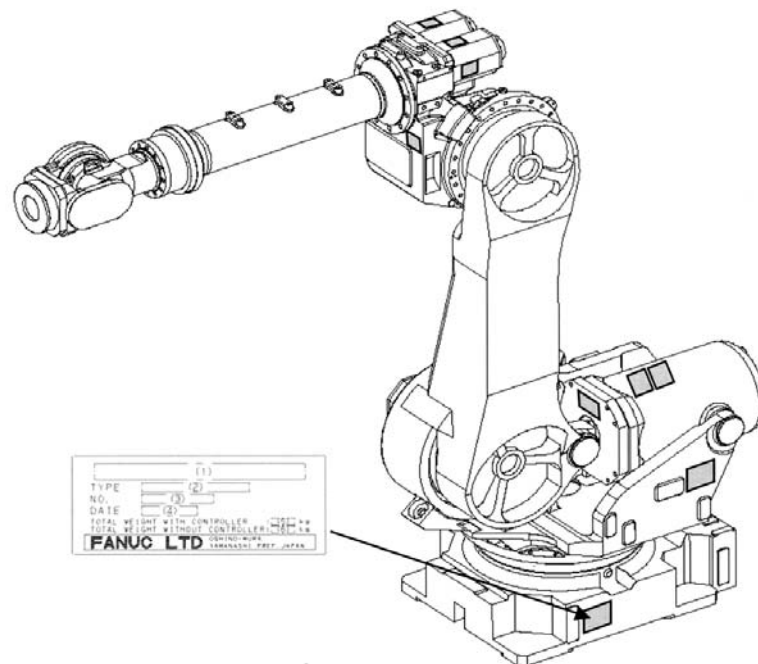
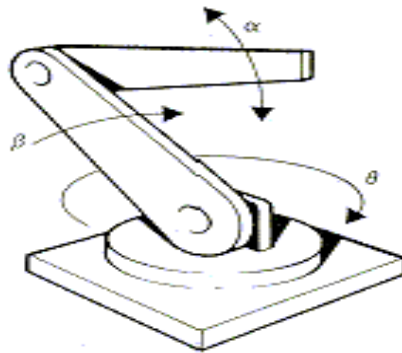
Tiene varias articulaciones. Cada una de ellas puede realizar un movimiento distinto: rotacional, angular y lineal.

Este robot utiliza la interpolación por articulación para moverse en sus dos primeras articulaciones y la interpolación lineal para la extensión y retracción.

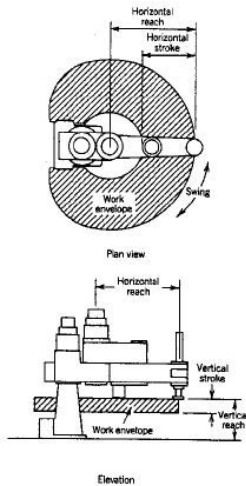


1.3.3.4. Configuración angular (o de brazo articulado)

Presenta una articulación con movimiento rotacional y dos angulares. Aunque el brazo articulado puede realizar el movimiento llamado interpolación lineal (para lo cual requiere mover simultáneamente dos o tres de sus articulaciones), el movimiento natural es el de interpolación por articulación, tanto rotacional como angular. Además de las cuatro configuraciones clásicas mencionadas, existen otras configuraciones llamadas no clásicas.



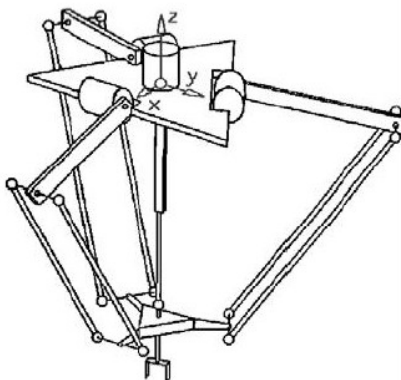
1.3.3.5. Configuración SCARA



El ejemplo más común de una configuración no clásica lo representa el robot tipo SCARA, cuyas siglas significan: Selective appliance arm robot for assembly. Este brazo puede realizar movimientos horizontales de mayor alcance debido a sus dos articulaciones rotacionales. El robot de configuración SCARA también puede hacer un movimiento lineal (mediante su tercera articulación).



1.3.3.6. Configuración paralela



El elemento Terminal se encuentra conectado a la base por, al menos, dos cadenas cinemáticas independientes.

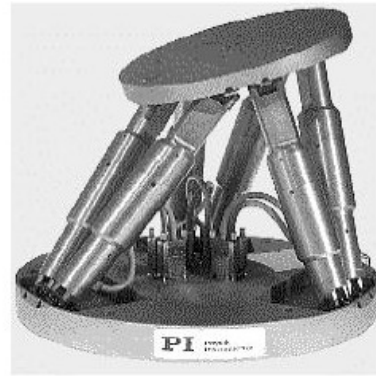
La carga se reparte entre los eslabones.

La rigidez de los eslabones asegura mayor precisión de posicionamiento.

Inicialmente se utilizaban en simuladores de vuelo.



FANUC F100



POLYTEC Hexapod

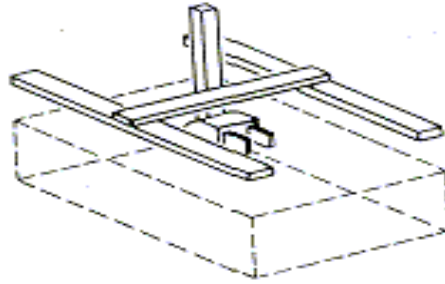
1.3.4 Volumen de trabajo

Para acercarnos más al conocimiento de los robots industriales, es preciso tocar el tema que se refiere al volumen de trabajo y la precisión de movimiento.

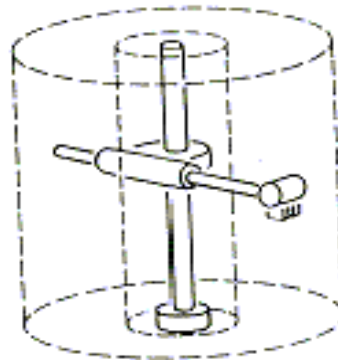
Entre las características que identifican a un robot se encuentran su volumen de trabajo y ciertos parámetros como el control de resolución, la exactitud y la repetibilidad.

El volumen de trabajo de un robot se refiere únicamente al espacio dentro del cual puede desplazarse el extremo de su muñeca. Para determinar el volumen de trabajo no se toma en cuenta el efecto final. La razón de ello es que a la muñeca del robot se le pueden adaptar grippers de distintos tamaños.

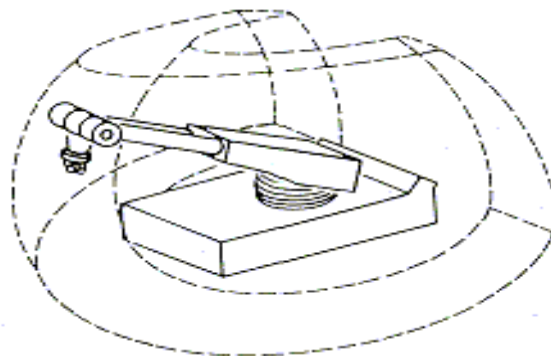
Para ilustrar lo que se conoce como volumen de trabajo regular y volumen de trabajo irregular, tomaremos como modelos varios robots.



El robot cartesiano y el robot cilíndrico presentan volúmenes de trabajo regulares. El robot cartesiano genera una figura cúbica.



El robot de configuración cilíndrica presenta un volumen de trabajo parecido a un cilindro (normalmente este robot no tiene una rotación de 360°)



Por su parte, los robots que poseen una configuración polar, los de brazo articulado y los modelos SCARA presentan un volumen de trabajo irregular.

1.3.5 Sistemas de Impulsión de los robots industriales

Los más comunes son tres: impulsión hidráulica, impulsión eléctrica e impulsión neumática.

1.3.5.1 Hidráulico.

El sistema de impulsión hidráulica es en la que se utiliza un fluido, generalmente un tipo de aceite, para que el robot pueda movilizar sus mecanismos. La impulsión hidráulica se utiliza para robots grandes, los cuales presentan mayor velocidad y mayor resistencia mecánica.

1.3.5.2 Eléctrico.

Se le da el nombre de impulsión eléctrica cuando se usa la energía eléctrica para que el robot ejecute sus movimientos. La impulsión eléctrica se utiliza para robots de tamaño mediano, pues éstos no requieren de tanta velocidad ni potencia como los robots diseñados para funcionar con impulsión hidráulica. Los robots que usan la energía eléctrica se caracterizan por una mayor exactitud y repetibilidad.

1.3.5.3 Neumático.

Sólo resta hablar de aquellos robots que se valen de la impulsión neumática para realizar sus funciones. En la impulsión neumática se comprime el aire abastecido por un compresor, el cual viaja a través de mangueras.

Los robots pequeños están diseñados para funcionar por medio de la impulsión neumática.

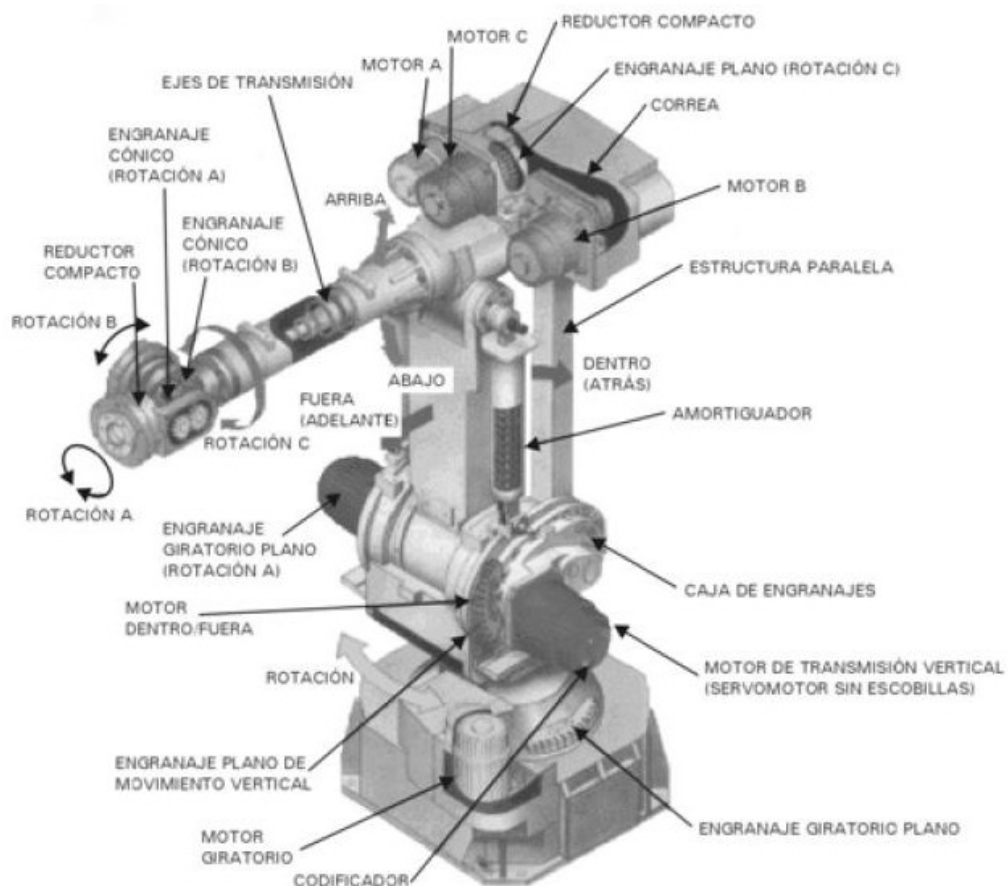
Los robots que funcionan con impulsión neumática están limitados a operaciones como la de tomar y situar ciertos elementos.

Es importante señalar que no todos los elementos que forman el robot pueden tener el mismo tipo de impulsión.

1.3.6. Componentes de un robot industrial

1.3.6.1. Estructura mecánica

- ✦ Esta compuesto de varias articulaciones y sus elementos de transmisión y reductoras.
- ✦ Las partes que conforman el manipulador reciben los nombres de: cuerpo, brazo, muñeca y elemento Terminal.



COMPONENTES DE UN ROBOT INDUSTRIAL ANTROPOMÓRFICO O DE CONFIGURACIÓN ANGULAR

1.3.6.2. Sistema locomotor (actuadores)

- ↳ Sirven para actuar sobre la estructura mecánica modificando su configuración, y por tanto, la posición del órgano Terminal.

1.3.6.3. Sistema sensorial (sensores)

- ↳ Es necesario para conocer el estado del robot y de su entorno.

1.3.6.3 Sistema de control de bajo nivel

- ↳ Gobierna los accionadores del robot a partir de la definición de movimientos a ejecutar, de acuerdo con el sistema de decisión y la información proporcionada por el sistema sensorial.
- ↳ Es el que controla cada uno de los movimientos del manipulador y guarda sus posiciones.
- ↳ El controlador recibe y envía señales a otros elementos de la celda de trabajo (por medio de señales entrada/salida) y almacena programas.

1.3.6.4. Sistema de decisión y planificación

- ↳ Elabora el movimiento del robot a partir de la definición de la tarea a ejecutar transmitida por el operador con ayuda del sistema de comunicación

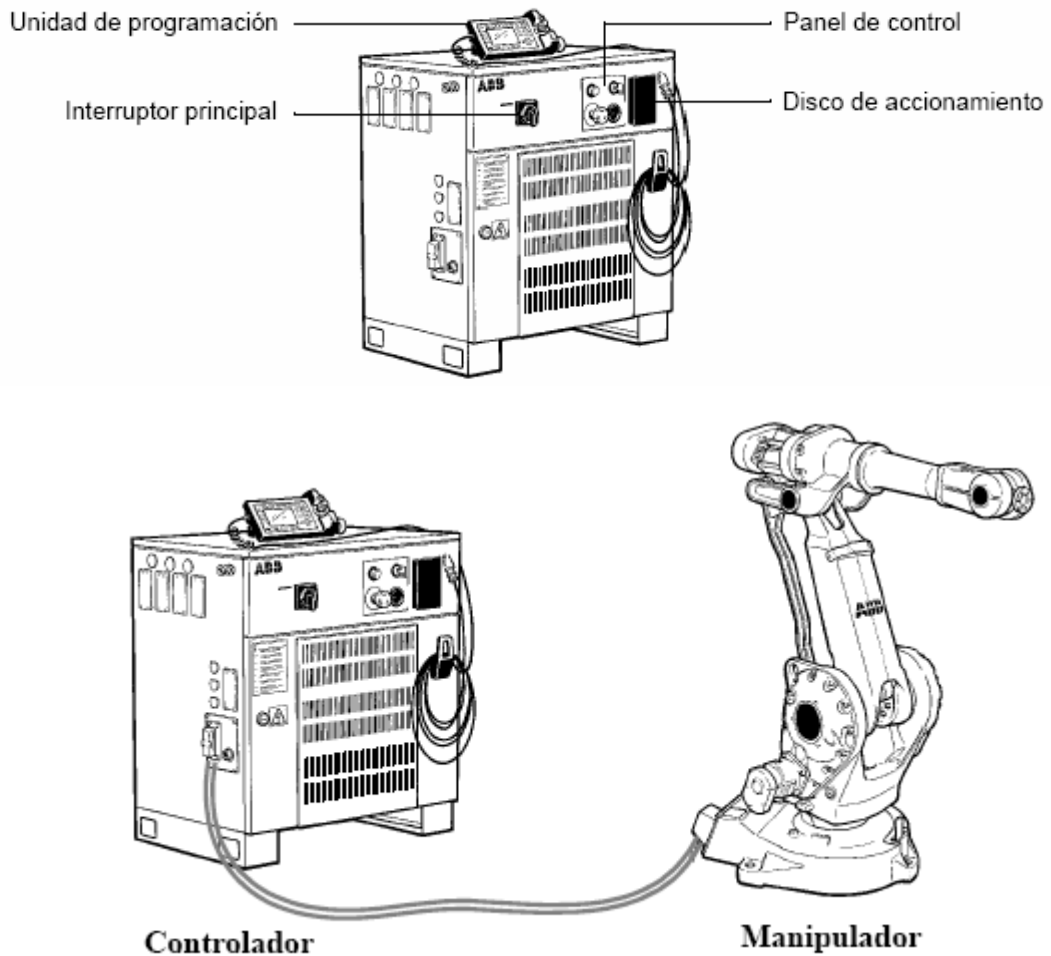
1.3.6.5. Dispositivos de entrada y salida de datos

- ↳ Los mecanismos de entrada y salida, más comunes son: teclado, monitor y caja de comandos.



1.3.6.6. Sistema de comunicación

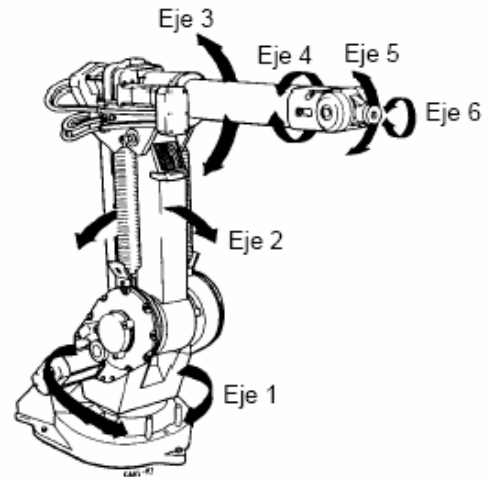
- Comunica los programas de actuación al robot.



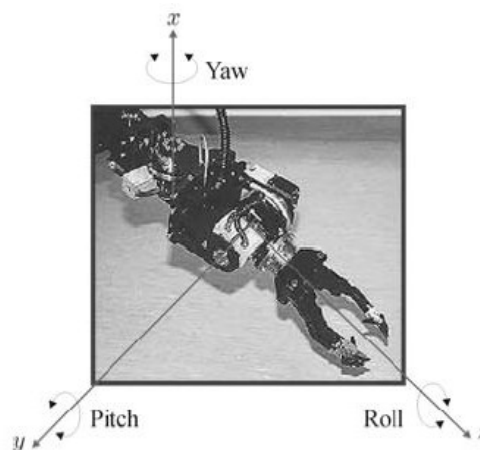
1.3.7. Grados de libertad o ejes

Cada uno de los movimientos independientes que una articulación permite efectuar le confiere un grado de libertad a la estructura del manipulador.

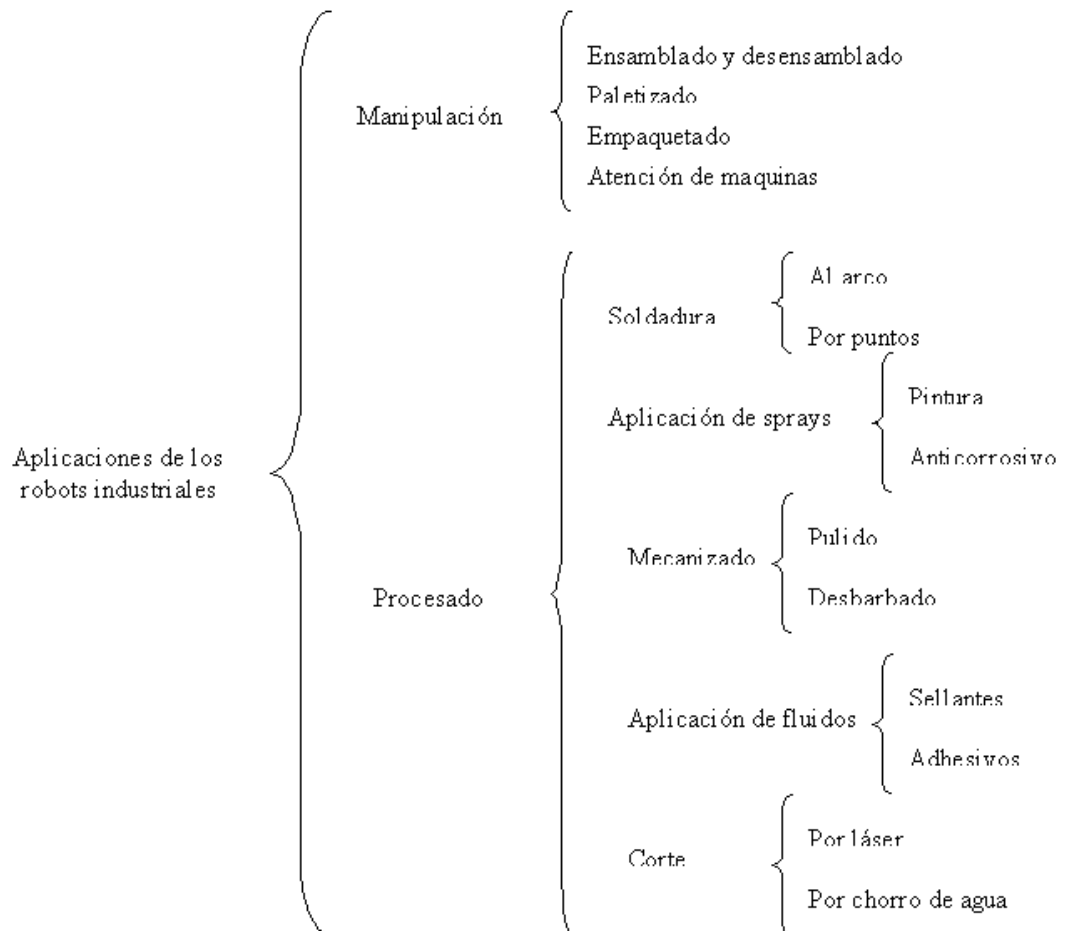
El número de grados de libertad de la estructura viene determinado por la suma de los grados de libertad de cada una de las articulaciones.



El número de grados de libertad requerido puede completarse con la muñeca: articulación o conjunto de articulaciones que enlazan el elemento Terminal con el elemento de trabajo.



1.3.8. Aplicaciones más comunes en industria



1.4 Análisis de la necesidad de un robot

A continuación se hará un análisis de la necesidad de instalación de un robot y los aspectos a considerar en su factibilidad.

Cuando la longitud total de la línea de un proceso es lo más corta posible y los puntos de almacenamiento son los menos posible, el propósito de instalación de un Robot es la manipulación de piezas no muy disímiles entre sí.

Para considerar la factibilidad de su instalación debe responderse a una serie de preguntas, a saber:

1. ¿Cuál es la producción anual de la pieza en particular o piezas?
2. ¿Pueden estas piezas almacenarse?
3. ¿Cuál es el tiempo disponible para el manipuleo?
4. ¿Puede un nuevo Layout de máquinas dar alojamiento al Robot?
5. ¿Hay lugar disponible en la máquina o máquinas que intervienen en el proceso para alojar la mano del Robot y la pieza?
6. ¿Qué dotación de personal de operación y supervisión será necesaria?
7. ¿Es la inversión posible?

Producción Anual.

Cuando se deben producir piezas variadas, estas deben ser de características similares y la producción de cada lote como mínimo debe ocupar un período de tiempo razonable.

Almacenamiento

Para la obtención de un flujo automático de material se deben almacenar piezas antes y después del grupo de máquinas que serán servidas por el

Robot. Las piezas pueden almacenarse en transportadores paso a paso, o en cajas de nivel regulable. Las plataformas inclinadas, alimentación y salida por gravedad, suelen emplearse en casos sencillos. El tamaño del almacén depende de la tasa de producción. El operador que inspecciona las piezas puede llenar y vaciar las cajas de almacenamiento.

Tiempo de Manipuleo

El tiempo de maniobra requerido es determinado por la longitud total del camino y la máxima velocidad del Robot. La mayoría de los Robots neumáticos, hidráulicos y eléctricos tienen velocidades máximas aproximadas a los 0,7 metros por segundo y desplazamientos angulares de 90° por segundo. Sin embargo cuando se trata de un Robot neumático debe tenerse presente que la variación de velocidad con la carga es muy grande; y esto es particularmente importante cuando un Robot de este tipo está equipado con dos manos, ya que en

el momento en que estas estén ocupadas la carga será el doble. El tiempo anual de manipuleo puede ser calculado, cuando se compara el Robot con la labor total en igual período, pero no es posible hacerlo mediante la comparación con el tiempo de manipulación de una sola pieza.

Layout de Máquinas

Básicamente el layout puede ser circular o lineal. En una disposición circular un Robot sirve a varias máquinas sin que las piezas se acumulen entre ellas. En un layout lineal cada Robot sirve a una máquina en la línea y las piezas van siendo reunidas en transportadores entre máquinas. Un transportador de almacenamiento debe ser capaz de tomar el total de la producción de una máquina durante el cambio de herramienta. En esta disposición la producción es mayor que en el sistema circular. Muchos layouts requieren versiones

especiales de Robots con grados de libertad adicionales demandadas por el proceso.

Accesibilidad

La mano del Robot está diseñada generalmente para un movimiento de entrada lateral, para lo cual es necesario disponer de espacios entre la herramienta y el punto de trabajo.

El brazo del Robot debe tener espacio para ingresar a la máquina en forma horizontal o vertical.

Dotación de Operación y Supervisión

La inspección visual de las piezas es manual en la mayoría de los casos. Las cajas de almacenamiento deben ser llenadas y vaciadas. 4 o 5 Robots que demanden estas tareas adicionales pueden ser supervisados por un solo hombre. La implementación de un Robot en un proceso productivo, tiene como objetivo fundamental disminuir los costos de producción mediante un mejor aprovechamiento de la capacidad productiva ya instalada.

Costo de Implementación

El costo de esta Implementación está compuesto por los siguientes ítems:

- ↳ El Robot.
- ↳ Las herramientas de la mano.
- ↳ Posible modificación de la máquina o máquina-herramienta y herramientas.
- ↳ Posible alteración del layout existente.
- ↳ Equipos periféricos, transportadores, cajas de almacenamiento.
- ↳ Dispositivos de fijación y señalización.
- ↳ Costo del trabajo de instalación.

- ↳ Entrenamiento del personal para operación y mantenimiento.
- ↳ Puesta en marcha y puesta a punto.

Beneficios

Los beneficios que se obtienen al implementar un robot de este tipo son:

- ↳ Reducción de la labor.
- ↳ Incremento de utilización de las máquinas.
- ↳ Flexibilidad productiva.
- ↳ Mejoramiento de la calidad.
- ↳ Disminución de pasos en el proceso de producción.
- ↳ Mejoramiento de las condiciones de trabajo, reducción de riesgos personales.
- ↳ Mayor productividad.
- ↳ Ahorro de materia prima y energía.
- ↳ Flexibilidad total.
- ↳ Calidad de trabajo humano:
- ↳ **Seguridad: trabajos peligrosos e insalubres.**
- ↳ **Comodidad: trabajos repetitivos, monótonos y en posiciones forzadas.**

2. Las estrategias de automatización avanzada y su impacto sobre la seguridad y la salud

Una de las aportaciones fundamentales de los robots en el ámbito de la producción industrial es la realización de trabajos en condiciones y ambientes hostiles y peligrosos. El cumplimiento de las normativas de seguridad en el trabajo, y la disminución de los riesgos inherentes a determinadas tareas (como la soldadura o pintura en el área de automoción), son dos de los objetivos principales para invertir en robots industriales. Por ejemplo, la pintura con pistola pulverizadora mediante robots permite evitar que los trabajadores se contaminen, la superficie pintada resulta más uniforme, se pierde menos pintura, son necesarios menos retoques, y hay menos desechos. Diversas investigaciones señalan cómo disminuyen el número de accidentes laborales, pero aumenta el riesgo de sufrir accidentes laborales más graves, derivados de las características de los sistemas tecnológicos instalados, y de las condiciones de trabajo en ese contexto. En las cadenas de montaje, "cuando se incorpora un robot o una máquina de producción automática a una cadena con operadores humanos, hay que darse cuenta de que el trabajador a quien el robot pasa el trabajo sigue el ritmo de la máquina. Esto puede resultar muy difícil (...) es obvio que el diseñador y el instalador tienen que conocer los principios ergonómicos para que la fatiga y la tensión puedan mantenerse a un mínimo" (Knight, 1989: 2146). Los estudios realizados en la década de los años 80, muestran como "los sistemas automáticos tienen un excelente record de seguridad en comparación con los sistemas de trabajo intensivo a los que sustituyen" (Knight, 1989: 2146).

En estudios recientes sobre la utilización de robots en el área del vidrio, cerámica y materiales afines, se ha podido comprobar cómo "el uso de automatismos para eliminar el movimiento manual del material desempeña un papel importante en la prevención de las lesiones ergonómicas. Los automatismos han reducido los esfuerzos ergonómicos y las graves lesiones

con desgarro que históricamente se han asociado a la manipulación del material (por ejemplo, vidrio plano) por el personal de producción" (Hellerstein, Bender, Hadley y Omán, 1999: 843). Sin embargo, las características tecnológicas de los robots introducen nuevos riesgos: "la mayor utilización de robots y la automatización de procesos introduce los riesgos propios de la maquinaria móvil y la energía eléctrica, lo cual transforma los tipos de peligros o los desplaza a otros operarios" (Hellerstein, Bender, Hadley y Omán, 1999: 843).

La rápida evolución tecnológica y la creciente implantación de robots industriales (y de servicios), hace necesario considerar, junto con las experiencias empíricas disponibles sobre los impactos de la Robótica en la seguridad y la salud, las previsiones de los expertos sobre las nuevas áreas de actividad que van a ser automatizadas en los próximos años, para poder establecer estrategias adecuadas que, sobre la base de los impactos que ya conocemos, y de los impactos previsibles en los próximos años, permitan mejorar las condiciones de seguridad en el trabajo. Por ello, hemos desarrollado una investigación prospectiva (Tezanos, Díaz, Sánchez Morales y López, 1997; López Peláez, 2000), en la que nos hemos dirigido a expertos en innovación tecnológica y diseño de robots, a expertos en desarrollo de sistemas robotizados aplicados a la producción industrial y los servicios; a expertos en la gestión de dichos sistemas, en su implantación y mejora; a expertos en la formación del personal que trabaja con sistemas automáticos y robotizados; a cuadros sindicales conocedores de esta cuestión; así como a especialistas españoles en el análisis de las características y consecuencias de los sistemas automáticos en la industria. El grupo de expertos consultados en ambos estudios Delphi puede considerarse que está altamente capacitado para analizar los impactos reales de los sistemas robotizados y su difusión, más allá de las cualificaciones en la investigación tecnológica punta en robots cuya viabilidad en el mercado depende justamente de los aspectos que aparecen planteados a lo largo de esta investigación. Los impactos de la Robótica sobre la seguridad y la salud en el trabajo disminuyen los riesgos físicos, pero generan nuevas condiciones de trabajo en las que aparecen nuevos factores

estresores. Si no se evalúan y se establecen estrategias adecuadas, estos factores pueden generar nuevas enfermedades profesionales.

3. Evolución de los factores estresores en un contexto de fuerte automatización

La Robótica disminuye los riesgos físicos que se derivan de trabajar en contextos hostiles, de difícil acceso, con materiales tóxicos que implican graves riesgos para la salud y seguridad del trabajador. Los nuevos robots industriales y de servicios se orientan a automatizar este tipo de tareas, tanto en la construcción, como en el ámbito de la investigación submarina, espacial, el área de la energía nuclear, y las áreas de actividad de sectores tradicionalmente consumidores de robots, como el sector automovilístico, que utilizan materiales tóxicos y en los que se trabaja en condiciones peligrosas para la salud. Ahora bien, la evolución del mercado de robots muestra un crecimiento muy elevado, que se prevé continúe en los próximos años. Ante la mayor presencia de robots industriales y de servicios en diversas áreas de actividad, es necesario tomar en cuenta las previsiones de los expertos, para establecer estrategias que aumenten la seguridad y la salud en un contexto caracterizado por la presencia masiva de sistemas robotizados. Los nuevos riesgos, como hemos podido observar, van unidos a las estrategias de aplicación de los sistemas automáticos y robotizados: nos encontramos con una disminución de los riesgos físicos derivados de la manipulación de objetos y sustancias peligrosas, y con un aumento derivado de las nuevas condiciones de trabajo. Son los siguientes:

Características de los puestos de trabajo
<ul style="list-style-type: none"> ↳ Aumentará el número de tareas y funciones que asumen los trabajadores que operan con sistemas automáticos y robotizados. ↳ Aumentará la movilidad funcional en las empresas con altos niveles de automatización. ↳ Aumentará el nivel de saturación experimentado por los trabajadores en las empresas con altos nivel, de robotización y automatización. ↳ Aumentará el ritmo de trabajo de los trabajadores que operan con sistemas automáticos y robotizados. ↳ Aumentará el enriquecimiento de los puestos de trabajo en las empresas con altos niveles de auto matización y robotización.
Nuevos riesgos derivados de la implantación de sistemas automáticos y robotizados
<ul style="list-style-type: none"> ↳ Mayor nivel de stress derivado de la mayor intensidad y del aumento de la carga de trabajo. ↳ Mayor presión psíquica derivada del requerimiento del ritmo de trabajo del robot, las tareas añadidas y, el aumento de las responsabilidades en la toma de decisiones. ↳ Riesgo de accidentes más graves, derivados de las características de las nuevas tecnologías de automatización: riesgos derivados de la maquinaria móvil y del uso de energía eléctrica. ↳ En áreas de actividad no industriales, como la construcción, la limpieza y mantenimiento de edificios, o la ayuda hospitalaria, riesgos derivados del mal uso o error del robot, relativos a su capacidad móvil, su potencia en el movimiento de objetos, y sus requerimientos energéticos
Mejoras de la salud y la seguridad derivadas de la implantación de sistemas automáticos y robotizados
<ul style="list-style-type: none"> ↳ Disminuirán el número de accidentes laborales en las empresas con altos niveles de robotización. ↳ Desde el punta de vista físico, la robotización mejora y optimiza las condiciones de trabajo, eliminando riesgos laborales derivados del trabajo en contextos hostiles o con sustancias tóxicas. ↳ Supresión de trabajos rutinarios y fatigosos.

Fuente de tablas: López Pelaéz, A. (2000): Impactos de la Robótica y la Automatización Avanzada en el trabajo. Estudio delphi, Madrid, Sistema.

Los estudios empíricos sobre los impactos de las nuevas tecnologías, y específicamente de la Robótica y Automatización avanzada, sobre la seguridad y la salud de los trabajadores, muestran el aumento de los niveles de estrés en aquellos trabajadores que desarrollan su actividad en contextos fuertemente automatizados (López Peláez, 2000). Los factores estresores pueden agruparse en tres grandes ámbitos (Peiró, 1999): el ambiente físico y las características de los puestos de trabajo; el desempeño del rol laboral, las relaciones sociales en el trabajo, y el desarrollo de la carrera profesional en la organización; y, finalmente, las estructuras organizativas y el clima laboral en el que se desarrolla la actividad. Las previsiones de los expertos señalan, como hemos podido analizar anteriormente, cómo la automatización y la robotización afectará a cada uno de estos tres grupos de factores estresores, estableciendo un contexto diferente que debe ser tenido en cuenta para establecer estrategias que disminuyan los riesgos laborales asociados al estrés. En este punto, los expertos prevén un mayor enriquecimiento de los puestos de trabajo en los próximos años, y una disminución de la conflictividad laboral, dos factores que en principio pueden reducir los factores estresores (tabla nº 1). Ahora bien, como vemos en la tabla nº 2, otros impactos derivados de la expansión de la Robótica y la Automatización avanzada nos sitúan ante un contexto en el que aumentarán los niveles de estrés, derivados de los factores estresores que conlleva la automatización.

TABLA 1

Impactos positivos de la Robótica sobre los factores estresores en los próximos diez años (2001-2010): previsiones de los expertos españoles

Factores estresores relacionados con el ambiente físico y el puesto, de trabajo
<ul style="list-style-type: none"> ↳ Mejora de las condiciones físicas de trabajo: eliminación de riesgos laborales asociados a actividades peligrosas o nocivas para la salud humana. ↳ Supresión de trabajos rutinarios o fatigosos. ↳ Disminución del número de accidentes laborales.
Factores estresores relacionados con el desempeño del rol laboral, las relaciones sociales en el trabajo y el desarrollo de la carrera profesional
<ul style="list-style-type: none"> ↳ Enriquecimiento de los puestos de trabajo. ↳ Aumento de las responsabilidades a todos los niveles. ↳ Aumento de la polivalencia de los trabajadores.
Factores estresores relacionados con las estructuras organizativas y el clima laboral
<ul style="list-style-type: none"> ↳ Reforzamiento de los equipos directivos, de los departamentos de I+D, servicios de mantenimiento, servicios comerciales, y sistemas de formación y gestión. ↳ Incremento de los controles de calidad y productividad.

Fuente de tabla: López Pelaéz, A. (2000): *Impactos de la Robótica y la Automatización Avanzada en el trabajo. Estudio delphi*, Madrid, Sistema.

TABLA 2

Impactos negativos de la Robótica sobre los factores estresores en los próximos diez años (2001-2010): previsiones de los expertos españoles

Factores estresores relacionados con el ambiente físico y el puesto, de trabajo
<ul style="list-style-type: none"> ↳ Aumentará la saturación en el puesto de trabajo. ↳ Aumentará el ritmo de trabajo.
Factores estresores relacionados con el desempeño del rol laboral, las relaciones sociales en el trabajo y el desarrollo de la carrera profesional
<ul style="list-style-type: none"> ↳ Aumentará el número de tareas y funciones que asumen los trabajadores. ↳ Aumentará la movilidad funcional. ↳ Aumentará la individualización de las relaciones laborales. ↳ Disminuirán las posibilidades de carrera profesional.
Factores estresores relacionados con las estructuras organizativas y el clima laboral
<ul style="list-style-type: none"> ↳ Los salarios se mantendrán igual que en la actualidad. ↳ Aumentará la inestabilidad en el empleo en el sector industrial y en el sector servicios. ↳ Disminución del empleo en términos absolutos: pérdida de puestos de trabajo ↳ Disminuirán los puestos de mando intermedios, y las organizaciones tenderán a adoptar estructuras más "planas", con menos niveles jerárquicos. ↳ Disminuirá la conflictividad laboral.

Fuente de tabla: López Pelaéz, A. (2000): *Impactos de la Robótica y la Automatización Avanzada en el trabajo. Estudio delphi*, Madrid, Sistema.

Frente a las nuevas posibilidades y riesgos derivados de la aplicación de la Robótica y la Automatización avanzada, y teniendo en cuenta las previsiones de expansión de los robots industriales y de servicios en los próximos años, y la experiencia de los últimos 30 años en la implantación y uso de robots industriales, una estrategia dirigida a mejorar las condiciones de seguridad y salud en el trabajo debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones (cuadro nº 1). Se trata de aumentar la polivalencia y los niveles de formación de los trabajadores, y a la vez de regular el mercado de trabajo para que los posibles impactos negativos derivados de la Robótica y la Automatización avanzada no supongan un incremento de los riesgos relativos a la seguridad y la salud de los trabajadores. Específicamente, los expertos señalaban dos niveles en los que deben tomarse medidas para reducir los impactos negativos de la Robótica: en el ámbito de las empresas que instalan estos sistemas, y en el ámbito global de una sociedad tecnológica avanzada en la que cada vez se alcanzan mayores niveles de automatización.

En el ámbito de los puestos de trabajo y de las empresas que instalan robots y sistemas automáticos de trabajo, será necesario aumentar los niveles de capacitación, responsabilidad y nivel técnico de los trabajadores, a la vez que deben establecerse programas de formación continua y reciclaje. Aumentarán las exigencias formativas, y debe establecerse un proceso de adaptación constante al sistema y a las nuevas condiciones de trabajo. La finalidad de este proceso es llegar a una transformación progresiva que desemboque en un compromiso con la automatización. Según los expertos, en este proceso pueden

distinguirse tres fases: en un primer momento, aumentará la conflictividad hasta que se consiga la adaptación; en un segundo momento, se conseguirá la acomodación-negociación de aspectos técnicos y sociales para permitir el ajuste persona/puesto/entorno; en un tercer momento, se logrará la participación-aceptación activa (con propuestas consensuadas de nuevas

directrices y mejoras de los sistemas implantados, que desembocarán en un mayor compromiso del trabajador y de la empresa con la automatización).

En el ámbito de la sociedad globalmente considerada, hay que tener en cuenta que los impactos previsibles de la Robótica y la Automatización avanzada provocarán un aumento de la productividad global del sistema económico, y una mejora de la calidad y del precio de la oferta de bienes y servicios, facilitando el tránsito hacia una sociedad del ocio. Pero, junto a estos impactos positivos, la automatización de un número cada vez mayor de tareas en cada vez más áreas de actividad, llevará a una variación importante en una parte significativa de la población activa, un aumento del paro en las áreas en las que se implantan los robots y los sistemas automáticos de trabajo, y establecerá nuevas exigencias de formación que aumentarán las dificultades de los colectivos con bajos niveles formativos para encontrar puestos de trabajo. Por ello, los expertos señalaban que, junto a las estrategias organizativas dirigidas a mejorar las condiciones de los puestos de trabajo en las empresas con altos niveles de automatización, deben tomarse decisiones políticas para reducir los impactos negativos de la robotización: pensiones para

grupos excluidos, incremento de los recursos del Estado del Bienestar para proporcionar ingresos a las personas que pierden su puesto de trabajo, y para financiar programas de formación y capacitación técnica que aumenten las posibilidades de los sectores de trabajadores afectados para encontrar otro puesto de trabajo.

CUADRO 1

Estrategias para mejorar las condiciones de seguridad y salud en el trabajo en un contexto caracterizado por la expansión de la automatización avanzada en el sector industrial y en el sector servicios

- ↳ Aumento del nivel formación de los trabajadores, específicamente en el área de automática y robótica.
- ↳ Formación continua dirigida no sólo al conocimiento de nuevas tecnologías, sino a la capacitación de los trabajadores para poder desarrollar más tareas y funciones, asumiendo el nuevo contexto de trabajo. La formación en este campo debe estar dirigida a aumentar la capacidad del trabajador para dominar las nuevas exigencias de los sistemas de trabajo, gestionando mejor el nivel de estrés.
- ↳ Regulación de la jornada de trabajo y de los períodos de actividad, teniendo en cuenta la mayor intensidad del mismo y el aumento de la carga de trabajo y la saturación del trabajador derivados del uso de robots y sistemas de trabajo automáticos: establecimiento de períodos de descanso que sustituyan las estrategias informales de descanso (ya que estas desaparecen en contextos de trabajo muy automatizados, donde el operario debe seguir el ritmo de la máquina automática).
- ↳ Establecimiento de normativas que regulen el uso de robots en nuevas áreas de actividad (limpieza y mantenimiento de edificios, seguridad, hostelería, construcción, agricultura, salvamento, y tareas domésticas), a través de la creación de productos estandarizados que minimicen los posibles riesgos derivados de su uso: accidentes derivados de la capacidad móvil del robot y su fuente de alimentación energética.
- ↳ Promoción de programas de formación y capacitación del usuario en aquellas áreas de actividad en las que se están implantando robots, más allá de los sectores tradicionalmente usuarios de robots industriales.

Fuente de cuadro: López Pelaéz, A. (2000): Impactos de la Robótica y la Automatización Avanzada en el trabajo. Estudio delphi, Madrid, Sistema.

4. Riesgos de los robots

Los robots, por sus especiales características de trabajo, no necesitan de la presencia humana para su funcionamiento. Este alejamiento conlleva un menor riesgo de accidente, ya que el operario está alejado de la fuente de riesgo (robot). Pero este riesgo no es eliminado del todo, ya que no es garantizable, que el operario esté alejado siempre y en todo momento del entorno de trabajo del robot. La forma de garantizar la no presencia del hombre, es instalar unos elementos que impidan el acceso del trabajador a la zona de peligro, o en su defecto, medios destinados a detener al robot en su movimiento, cuando el operario entre en esta.

Entre los riesgos de los robots podemos destacar dos tipos:

4.1 Riesgos tradicionales

4.1.1 Factores físicos

- ↳ Polvo
- ↳ Temperatura (en materiales y equipos)
- ↳ Temperatura ambiente
- ↳ Ruidos
- ↳ Vibraciones
- ↳ Humedad
- ↳ Radiaciones
- ↳ Electrocuación
- ↳ Electricidad estática
- ↳ Campos electromagnéticos
- ↳ etc.

4.1.2 Factores químicos

Según su acción sobre el organismo se pueden clasificar en:

- ↳ Productos cáusticos y corrosivos
- ↳ Productos tóxicos
- ↳ Productos irritantes
- ↳ Productos sensibilizantes
- ↳ Productos cancerígenos
- ↳ Productos mutantes

4.1.3 Factores biológicos

Su acción sobre el organismo puede dar lugar a enfermedades profesionales.

4.1.4 Factores fisiológicos

- ↳ Sobrecarga estática (actitud, postura)
- ↳ Sobrecarga dinámica (esfuerzos)

4.1.5 Factores psicológicos

En ciertas condiciones de trabajo dan como resultado sobrecargas neuropsíquicas.

4.2 Riesgos específicos

Como consecuencia de la instalación de los Robots Industriales hay que añadir a los anteriormente enumerados los riesgos inherentes a los robots.

Los robots industriales debido a su automatización dan lugar a accidentes de especiales características, dado que pueden en un momento determinado ser

impredicibles en sus acciones, además de que debido a la rapidez de movimiento de sus órganos móviles y a su imprevisibilidad de acción, pueden ocupar un área de trabajo mayor que las maquinas pero con un tratamiento de prevención particular.

Los riesgos mas frecuentes en el manejo de robots industriales son:

4.2.1 Riesgo de colisión entre hombre-maquina

Son riesgos provocados por golpes debidos al movimiento del robot, bien sea producido por el propio brazo del robot, una pieza que este maneja o el útil que va unido al brazo.

4.2.2 Riesgo de proyección

Los operarios pueden ser alcanzados por piezas que el robot deje caer o proyecte, así como producirse quemaduras por gotas de material fundido o cáustico vertidos por una mala operación realizada por el.

4.2.3 Riesgo de atrapamiento

El robot al moverse puede atrapar a un trabajador, entre el brazo y obstáculos que se encuentren a su alrededor, ya sean estos obstáculos fijos o móviles.

4.2.4 Riesgos tradicionales

Son los anteriormente descritos, pero producidos como consecuencia de la sustitución del robot por un operario, por avería de aquel. En este caso el operario sustituyente del robot, se ve mas expuesto a los riesgos por la falta de práctica y perdida del método de trabajo.

5. Posibles fuentes de riesgos de robots industriales

5.1 Errores de control y mando

5.1.1 Fallos producidos por averías en el material que componen los circuitos integrados

5.1.1.1 Fallos del lógica

- a) Como consecuencia de un fallo material se produce un defecto en la memoria RAM.
- b) Fallos producidos por el creador del programa y que no han sido detectados durante los periodos de ensayo y experimentación del R.I.
- c) Fallos por intervención de los usuarios en el programa, creando secuencias peligrosas.

5.1.1.2 Perturbaciones

Estas pueden ser:

Físicas

Producidas por choques, vibraciones, temperatura, etc.

El peligro en las vibraciones radica en la posibilidad de que el robot entre en resonancia con una de las frecuencias naturales, en este caso

Los desplazamientos dinámicos son de tal envergadura que hacen el R.I. incontrolable al menos durante un intervalo de tiempo. También es posible que las vibraciones afecten a las cabezas lectoras del computador, dando lugar a disfunciones.

Químicas

Producidas por ácidos, gases, etc.

Eléctricas

Estas son las más frecuentes y se pueden dividir en:

- ↳ Variaciones lentas de la tensión de la red: La tensión de la red puede variar en un 10% en la distribución exterior a la fábrica sin embargo en el interior pueden existir variaciones más importantes que las anteriormente reseñadas, con la consiguiente disfunción del R.I.
- ↳ Variación de la frecuencia de la red: Con variaciones hasta de 1 Hz.
- ↳ Caída de tensión: Estas caídas de tensión tienen una duración comprendida entre 60 y 2000 ms, si bien las más frecuentes se hallan entre 100 y 500 ms.
- ↳ Tensiones impulsivas: Pueden ser producidas por las conmutaciones normales de carga y en casos llegar hasta 1.200 v. con tiempos de duración de algunos nanosegundos. El simple accionamiento de un interruptor mecánico, crea un paquete de tensiones impulsivas, de duraciones comprendidas entre los 100 μ s y algunos milisegundos.
- ↳ Sobretensiones de origen atmosférico: Como consecuencia de rayos produciendo sobretensiones de hasta 6 Kv.

- ↳ Señales de telemando centralizado: Son señales adicionales inyectadas sobre la red, de frecuencias generalmente de 110, 175, 183, 217, 317 y 600 Hz. con tensiones inferiores a la nominal en un 5%.
- ↳ Señales de altas frecuencias: Ciertos aparatos como la calefacción por inducción, interfono, axial como un gran número de equipos electrónicos pueden introducir en la red, cantidades elevadas de parásitos en niveles de frecuencia estrecha. Estas interferencias pueden ser conducidas al robot a través del cable de unión, por acoplamientos capacitivos o inductivos con la fuente, o por diferencia de potencial entre las masas de los diferentes equipos, etc: estas interferencias pueden ser engendradas por descargas electrostáticas entre operadores y carcasas o bien por campos electromagnéticos irradiados por Walkies-Talkies, estaciones de radar, prensas de alta frecuencia, etc. Estas perturbaciones pueden ser de dos tipos:

⇒ Perturbaciones no destructivas:

Son alteraciones que no producen destrucción o averías de los componentes y son:

- Alteraciones de la memoria; se producen fundamentalmente sobre las memorias vivas (RAM) de datos de programa, produciendo un cambio de:

- a) El valor de un bit de una palabra de memoria.
- b) El valor de una o varias palabras de memoria.

Las alteraciones de la memoria se concretizan en:

1. Cambios en la secuencia del programa
2. Ejecución de un programa no deseado
3. Paradas en la ejecución del programa, sin posibilidad de recuperación.

- Alteraciones del valor de las salidas: que dan como consecuencia el mal funcionamiento del R.I., produciendo por ejemplo el arranque intempestivo de un motor, pudiendo producir un accidente.
- Alteraciones de los temporizadores: estas temporizaciones son realizadas en numérico o en analógico, sea cual sean las alteraciones se traducen en:
 - a) Que el valor inicial de la temporización cambia tomando un valor cualquiera.
 - b) Que la temporización se relanza intempestivamente.
- Alteraciones del contador del programa.
Cuando el programa esta perturbando el R.I. ejecuta un programa no deseado.

⇒ Perturbaciones destructivas:

Son producidas por parásitos cuando destruyen los componentes del autómatas, como fusibles, resistencias, condensadores, circuitos integrados, etc. La consecuencia es la parada de ejecución del programa con salidas a cero o al ultimo estado de funcionamiento.

5.1.1.3 Problemas de control

Pueden derivarse también por el sistema hidráulico o neumático que forman el entorno del robot, produciéndose defectos en este control o de sus elementos de transmisión.

Ejemplo: Defectos en las válvulas, en el suministro de aire, fallos en las conducciones etc., así como una liberación de la energía almacenada en los sistemas de acumuladores.

5.2 Acceso no autorizado

Son riesgos procedentes de, los abusos en sistemas de permisos de trabajo, o normas de acceso dentro de los cerramientos que contienen al robot y sus elementos auxiliares.

5.3 Errores humanos

Son los riesgos mas importantes y peligrosos, se producen como consecuencia del acceso del operario a lugares que normalmente no son permitidos, salvo para operaciones de programación o trabajos de mantenimiento cerca del robot, así como operaciones de carga y descarga.

Estos errores pueden provenir de dos causas principales:

- 1° Como falta de conocimientos del manejo y áreas de trabajo del robot.
- 2° Demasiada familiaridad con el robot (exceso de confianza).

5.4 Elementos mecánicos

Son riesgos derivados de piezas o herramientas manipulados o transportados por el robot, como piezas con aristas vivas, cargas pesadas, electrodos, etc.

Un fallo mecánico puede ser el resultado de una sobrecarga del robot, pudiéndose producir el accidente al soltar la pieza, que el RI este manipulado.

También los fallos mecánicos pueden provenir como consecuencia de la fatiga y de la realización de trabajos en ambientes corrosivos.

6. Normativa legal de seguridad de robots

En cuanto a la normativa legal relativa a la instalación y empleo de robots, ésta ha sido hasta principios de los años noventa, escasa. Los motivos que han llevado al retraso a la hora de proponer una normalización son varios, y en general podrían citarse:

- ✦ La tendencia existente a enfrentarse con los problemas técnicos y de mercado (ventas) antes que con ningún otro.
- ✦ La necesidad de suficiente experiencia en la materia de accidentes ocasionados por robots como para establecer una casuística suficientemente válida.
- ✦ La dificultad en unificar criterios y niveles de seguridad entre los diferentes usuarios y países.
- ✦ La dificultad y tiempo necesario para preparar la documentación referente a la normativa, así como a los procedimientos de evaluación.

En la actualidad, la normativa más relevante existente al respecto a nivel mundial es la siguiente

6.1 Normativa internacional ISO 10218 :1992.

Se trata de una normativa realizada por el organismo internacional de estandarización [ISO-92]. Es relativamente reciente, pues data del año 1992. A grandes rasgos contiene la siguiente información: una sección sobre el análisis de la seguridad, la definición de riesgos y la identificación de posibles fuentes de peligros o accidentes. Contiene además una sección sobre diseño y fabricación, que dedica un breve análisis al diseño de sistemas robotizados, teniendo en cuenta aspectos mecánicos, ergonómicos y de control.

La mayoría de las indicaciones que se proporcionan son de carácter general. Hay que mencionar que dado el corto espacio de tiempo que lleva vigente, no se conocen datos fiables sobre los resultados derivados de su utilización.

6.2 Normativa americana ANSI/RIA R15.06-1992.

Se trata de una normativa realizada por el Instituto Nacional de Normalización de Estados Unidos (ANSI) [ANSI-92]. También data del año 1992, siendo una revisión de la normativa publicada en 1986.

Es relativamente breve. Pero presenta algunas características que merecen destacarse. Por ejemplo, la inclusión, en el apartado sobre la definición de riesgos, de algunos epígrafes que versan sobre la probabilidad de la aparición de un accidente y la severidad del posible daño físico a una persona, dependientes del nivel de experiencia del operador y la frecuencia en la que éste se encuentra en zona de peligro.

6.3 Normativa europea EN 775 y española UNE-EN 775

El Comité Europeo de Normalización (CEN) aprobó en el año 1992 la normativa EN 775, adaptación de la norma intencional ISO 10218 :1992. A su vez la Asociación Española de Normalización (AENOR) adoptó en marzo de 1996 esta normativa (traducida al español) denominándose UNE-EN 775 y que lleva por título: "Robots manipuladores industriales. Seguridad" [UNE-96].



7. Medidas de seguridad

Es preciso determinar las medidas de seguridad que disminuyan el riesgo y la gravedad.

Es importante considerar que según estudios realizados por el Instituto de Investigaciones de Seguridad en el Trabajo de Tokio, el 90% de los accidentes en líneas robotizadas ocurren durante las operaciones de mantenimiento, ajuste, programación, etc., mientras que sólo el 10% ocurre durante el funcionamiento normal de la línea.

Este dato es de gran relevancia y pone de manifiesto la gran importancia que tiene, para lograr un nivel de seguridad adecuado, el impedir el acceso de operarios al campo de acción del robot mientras éste está en funcionamiento. La seguridad en sistemas robotizadas presenta, por tanto, dos vertientes: aquella que se refiere a la seguridad intrínseca al robot y que es responsabilidad del fabricante; y aquella que tiene que ver con el diseño e implantación del sistema y su posterior utilización, programación y mantenimiento, responsabilidad del usuario.

En este sentido, se ha desarrollado la normativa europea EN 775, adoptada en España como norma UNE-EN 775 de título "Robot manipuladores. Seguridad", que además de proporcionar a diseñadores y fabricantes un marco de trabajo que les ayude a producir máquinas seguras en su utilización, presenta una estrategia de trabajo para el desarrollo y selección de medidas de seguridad. Esta estrategia comprende las siguientes consideraciones:

- ❖ Determinación de los límites del sistema: intención de uso, espacio y tiempos de trabajo, etc.

- ❖ Identificación y descripción de todos aquellos peligros que pueda generar la máquina durante las fases de trabajo. Se deben incluir los riesgos derivados de un trabajo conjunto entre la máquina y el ordenador y los riesgos derivados de un mal uso de la máquina.
- ❖ Definición del riesgo de que se produzca el accidente. Se definirá probabilísticamente en función del daño físico que pueda producir.
- ❖ Comprobar que las medidas de seguridad son adecuadas.



7.1 Medidas de seguridad a tomar en la fase de diseño del robot.

En el diseño del robot y de su sistema de control debe considerarse siempre el posible accidente, tomándose las acciones oportunas para evitarlo en la medida de lo posible. Así, el propio robot debe contar con una serie de medidas internas encaminadas a evitar posibles accidentes:

- Supervisión del sistema de control: El sistema de control debe realizar una continua supervisión del correcto funcionamiento de todos los subsistemas (bucles de realimentación, accionamientos, etc.) y de incluso él mismo (match-dog).

- Paradas de emergencia: Deben disponerse paradas de emergencia que desenergicen completamente al robot.
- Velocidad máxima limitada: El sistema de control asegurará que la velocidad máxima de los movimientos cuando una persona se encuentra en las proximidades del robot (fase de propagación por ejemplo) sea inferior a la nominal (como referencia debe ser inferior a 0,3 m/s).
- Detectores de sobreesfuerzo: Se incluirán detectores de sobreesfuerzo en los accionamientos que los desactiven cuando se sobrepase un valor excesivo (caso de colisión o de atrapar a una persona contra una parte fija).
- Códigos de acceso: El acceso a la unidad de control y el arranque, parada y modificación del programa, estarán limitadas mediante el empleo de llaves, códigos de seguridad, etc.
- Frenos mecánicos adicionales: Si el robot maneja grandes cargas, se deberán de incluir frenos mecánicos que entren en funcionamiento cuando se corte la alimentación de los accionadores. Asimismo, se dispondrán medios para desactivar estos frenos de forma manual.
- Comprobación de señales de autodiagnóstico en la unidad de control previamente al primer funcionamiento (niveles de tensión de las fuentes de alimentación, leds indicadores, mensajes de error, etc.).

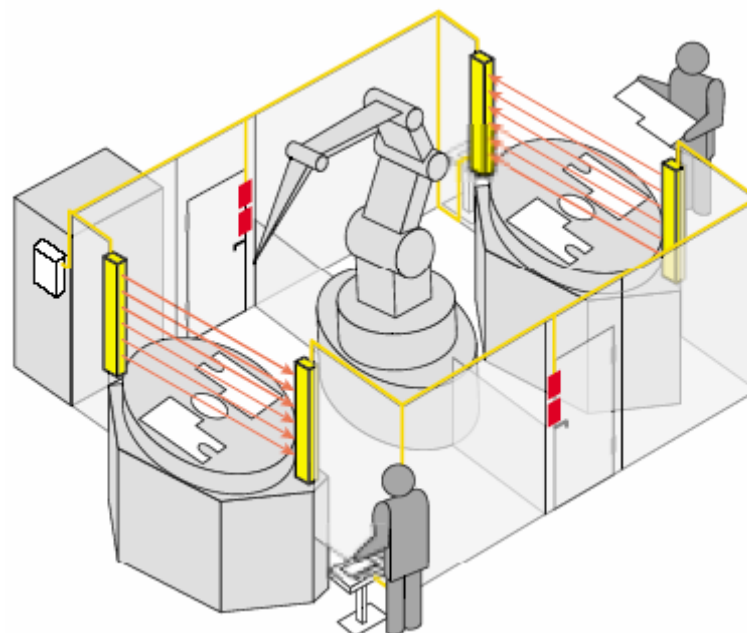
7.2 Medidas de seguridad a tomar en la fase de diseño de la célula robotizada.

En el establecimiento del lay-out de la célula se ha de considerar la utilización de barreras de acceso y protección en general que intenten minimizar el riesgo de aparición de un accidente. De forma general se pueden citar las siguientes:

- Barreras de acceso a la célula: Se dispondrán barreras en torno a la célula, que impidan el acceso a personas (parada inmediata al entrar en la zona de trabajo).



- Dispositivos de intercambio de piezas: En caso de que el operador deba poner/recoger piezas situadas dentro del área de trabajo del robot, se utilizarán dispositivos que permitan realizar estas acciones a distancia, utilizando, por ejemplo, mesas giratorias.



- Movimientos condicionados: En el caso de que durante el funcionamiento de la célula el operario deba entrar en determinados momentos dentro del campo de acción del robot (para alimentar de nuevas piezas al robot por ejemplo), se programará a éste de manera que no efectúe movimiento alguno durante estos instantes.
- Zonas de reparación: Se preverá la existencia de zonas de reparación y mantenimiento. Estas zonas, dentro del campo de acción del robot, estarán fuera de su zona de trabajo. En ellas se asegurará mediante diferentes dispositivos que el robot no realizará movimientos de manera automática.
- Condiciones adecuadas en la instalación auxiliar: Sistema eléctrico con protecciones, aislamientos, etc., sistemas neumáticos o hidráulicos correctos.

7.3 Medidas de seguridad a tomar en la fase de instalación y explotación del sistema.

Por otra parte, durante la utilización del sistema y en especial durante las fases y puesta en marcha, deben respetarse rigurosamente determinadas normas que reducirán el riesgo de accidente. Además, es importante que exista información en la propia planta de la posibilidad de esos riesgos, así como que los operarios tengan la formación adecuada. Estas consideraciones se pueden resumir de forma breve en los siguientes puntos:

- Abstenerse de entrar en la zona de trabajo: Durante la programación e implantación de la aplicación, se procurará permanecer, dentro de lo posible, fuera del campo de acción del robot. Éste trabajará a velocidades lentas. En cualquier caso, se deberá salir fuera del área de trabajo cuando el robot vaya a trabajar de manera automática, aun siendo en fase de pruebas. Es también aconsejable que, siempre que sea posible, la fase de programación se realice con dos operarios,

observando uno de ellos la marcha del proceso, estando dispuesto a accionar el paro de emergencia en caso de necesidad.

- Señalización adecuada: La célula estará dotada de una adecuada señalización del estado del robot o línea robotizada mediante señales luminosas y acústicas. Así, será aconsejable que antes de comenzar el ciclo de trabajo tras una parada se avise mediante una sirena e indicación luminosa. Del mismo modo, señales luminosas llamarán la atención sobre el hecho de que el robot está funcionando y su riesgo potencial de accidente.



- Prueba progresiva del programador del robot: El desarrollo y ejecución del programa del robot, y de toda la célula en sí, deberá hacerse con sumo cuidado. El programa deberá ejecutarse primeramente a velocidad lenta y paso a paso. A continuación se podrá ejecutar de manera continua, pudiéndose aumentar progresivamente la velocidad.
- Formación adecuada del personal que manejará la planta.

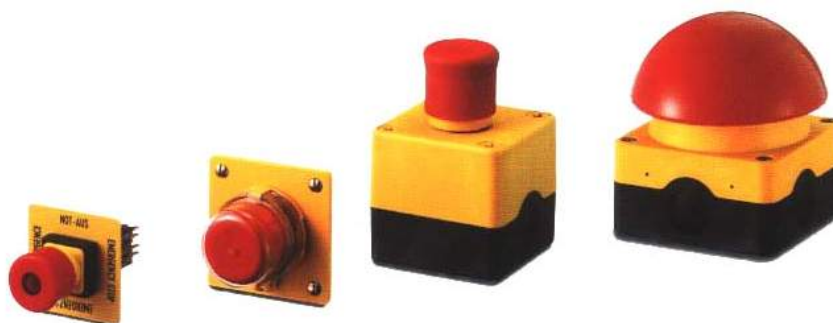
7.4 Medidas de seguridad proporcionadas por los fabricantes.

Existen una serie de consideraciones generales relativas a seguridad, proporcionadas por los fabricantes, como:

- No permitir que el personal no formado trabaje con los robots.
- Instalar un mecanismo de acceso a la célula con código para impedir la entrada de personal no autorizado, así como barreras de seguridad fotoeléctricas industriales, sensores de presencia o proximidad y sistemas de visión para reforzar la seguridad.



- Identificar claramente la zona máxima en que se produce el movimiento del robot con marcas en el suelo, señales y barreras especiales y colocar todos los controles de los equipos fuera de esa zona. Los operarios deben conocer perfectamente el área de la célula de trabajo completa (robot y su área de trabajo), más el área ocupada por los mecanismos externos y otros equipos con los que interactúa.
- No confiar el software como elemento principal de seguridad.
- Instalar un número adecuado de botones o interruptores de “parada de emergencia” para el operador y en puntos críticos dentro y alrededor de la célula de trabajo. Los operarios deben conocer dónde están colocados dichos botones.



- Instalar luces destellantes y/o mecanismos audibles (alarmas) que se activen cuando el robot esté funcionando.
- Revisar los mecanismos de seguridad periódicamente.
- Proporcionar suficiente espacio dentro de la célula de trabajo para que el personal pueda guiar el robot y realizar operaciones de mantenimiento de forma segura. Eliminar los puntos de peligro de quedar atrapado entre el robot móvil y el equipo.
- Antes del teaching u operación manual del robot, verificar que no hay condiciones potenciales de peligro con el robot y en su entorno y probar que la maleta de programación (teach pendant) opera correctamente antes de entrar en el área de trabajo.
- El área cercana al robot debe estar limpia y sin aceite, agua o residuos.
- Conocer el camino para salir de la célula en caso de movimiento anómalo del robot y cerciorarse de que no está nunca bloqueado.
- Aislar el robot de cualquier señal de control remoto que pueda causar movimiento mientras se está dentro de su alcance.
- Asegurarse de que todo el personal está fuera del área de trabajo antes de comenzar con la producción, y por supuesto, no entrar nunca en el área de trabajo si el robot están en operación.
- El personal que opera con el robot durante la producción debe comprender bien la tarea completa para la que está programado el robot antes de empezar la operación de producción y saber la localización y estado de todos los interruptores, sensores y señales de control que podrían causar el movimiento del robot.
- Nunca suponer que un programa ha acabado porque el robot no se está moviendo, ya que éste podría estar esperando alguna señal de entrada que le permita continuar con su actividad. Si el robot está ejecutando un diseño, no asumir que continuará con dicho diseño.
- Nunca intentar para el movimiento del robot con el cuerpo.

- Durante la inspección de la célula es necesario apagar el controlador y los posibles suministros de aire a presión, y en caso de que se necesite encender para revisar los circuitos eléctricos o de movimiento del robot, el operario debe estar preparado para apretar el botón de parada de emergencia en caso de necesidad.
- Durante en mantenimiento, si es necesario entrar en el área de trabajo del robot mientras está encendido, el operario debe apretar primero el botón de parada de emergencia y llevar siempre la maleta de programación en la mano. Cuando se reemplazan o instalan componentes, asegurarse de que no entra suciedad o residuos al sistema.

8. Sistemas de seguridad

Una definición del robot es: "máquinas automáticas móviles programables a voluntad y capaces de funcionar con una interface humana reducida o nula". Estos tipos de máquinas se utilizan actualmente en muchas aplicaciones industriales y médicas, incluida la formación. Los robots industriales se utilizan cada vez más para funciones fundamentales como nuevas estrategias de fabricación (CIM, JIT, producción ajustada sin piezas sobrantes, etc.) en instalaciones complejas. Su número y ámbito de aplicación y la complejidad de los equipos e instalaciones dan lugar a peligros como los siguientes:

- Movimientos y secuencias de movimientos que son casi imposibles de seguir, ya que los movimientos a alta velocidad de los robots dentro de su radio de acción se solapan a menudo con los de otras máquinas y equipos.
- Liberación de energía en forma de partículas proyectadas o haces de energía como los emitidos por láseres o chorros de agua.
- Libertad de programación en términos de dirección y velocidad.
- Susceptibilidad a errores inducidos del exterior (por ejemplo, compatibilidad electromagnética).
- Factores humanos.

Según investigaciones realizadas en Japón, más del 50 % de los accidentes de trabajo con robots pueden atribuirse a fallos de los circuitos electrónicos de los sistemas de control. Según las mismas investigaciones, los errores humanos son responsables de menos del 20 % de los accidentes. La conclusión lógica de esto es que los peligros debidos a fallos del sistema no se pueden evitar con medidas relativas al comportamiento del personal. Por tanto, diseñadores y operadores tienen que aportar y aplicar medidas técnicas de seguridad (observar la siguiente figura)

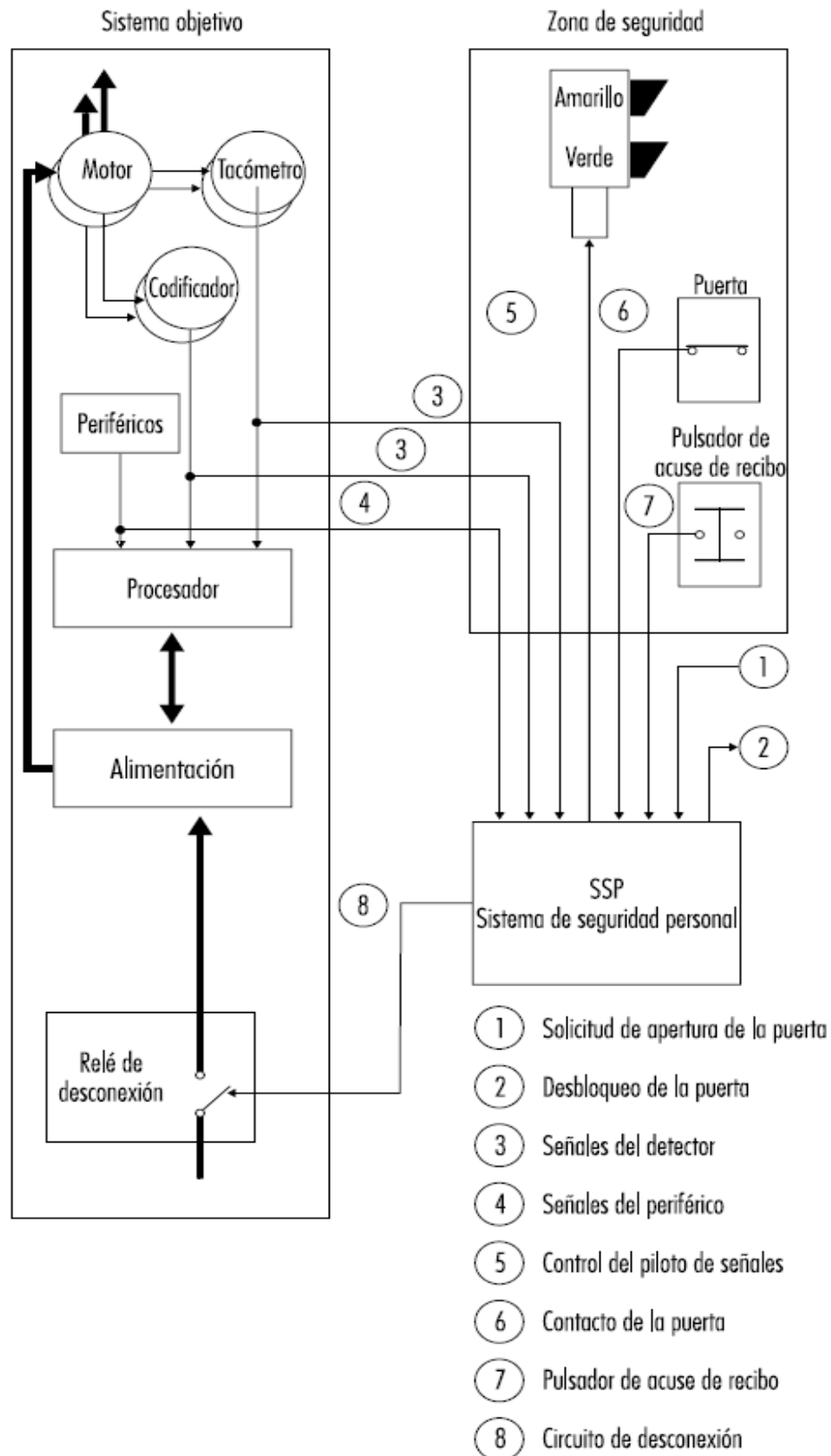


Diagrama de bloques de un sistema de seguridad personal.

El objetivo primordial de la seguridad es tratar de evitar los riesgos que puedan producir en un momento determinado y en unas circunstancias concretas un accidente de trabajo.

La seguridad en un robot debe tenerse en cuenta desde la fase de diseño y ante la imposibilidad de actuar en esta fase, tenemos que exigir unos elementos de seguridad en la fase de adquisición, exigiendo a los fabricantes una serie de requisitos.

Las medidas técnicas de prevención estarán fundamentadas en dos principios:

1. La ausencia de personas en el espacio controlado durante el funcionamiento automático.
2. La eliminación de los peligros o al menos su reducción de los riesgos durante las intervenciones de reglaje, verificación de programa, etc..., en el espacio controlado.

Para poder conseguir una célula robotizada segura utilizaremos los siguientes sistemas de seguridad:

8.1 Barreras materiales

Estos elementos de seguridad estarían dentro de lo que se podría llamar seguridad positiva y consiste, en un diseño por el cual se trata de proteger al trabajador de los riesgos, ocasionados por una disfunción del sistema de control del robot, y tratando de impedir que el trabajador acceda a la zona de peligro del robot. En el caso de que el sistema sea violado, se desencadenaría la acción de otros dispositivos de seguridad, que provocaría la parada de la instalación.



Esto se consigue con un cerramiento mediante vallas o guardas, de dimensiones concordantes al tipo de riesgo existente y al robot instalado. El sistema de protección se basa en, la combinación de altura y distancia, con el propósito de no acceder al punto peligroso.

En cualquier caso deberemos tener en cuenta las distancias de seguridad establecidas en las normas:

- UNE EN 292 - 1 y 2
Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos. Principios generales para el diseño
- UNE EN 294
Seguridad de las máquinas. Distancias de seguridad para impedir se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores.
- UNE EN 811
Seguridad de las máquinas. Distancias de seguridad para impedir se alcancen zonas peligrosas con los miembros inferiores.
- UNE EN 953
Seguridad de las máquinas. Resguardos. Requisitos generales diseño y construcción de resguardos fijos y móviles.

Para garantizar la inaccesibilidad a las partes peligrosas de la máquina, los resguardos deben dimensionarse correctamente, es decir, deben asegurar que no se puede acceder al órgano agresivo por encima, por debajo, alrededor, por detrás o a través del mismo cuando permanece correctamente ubicado.

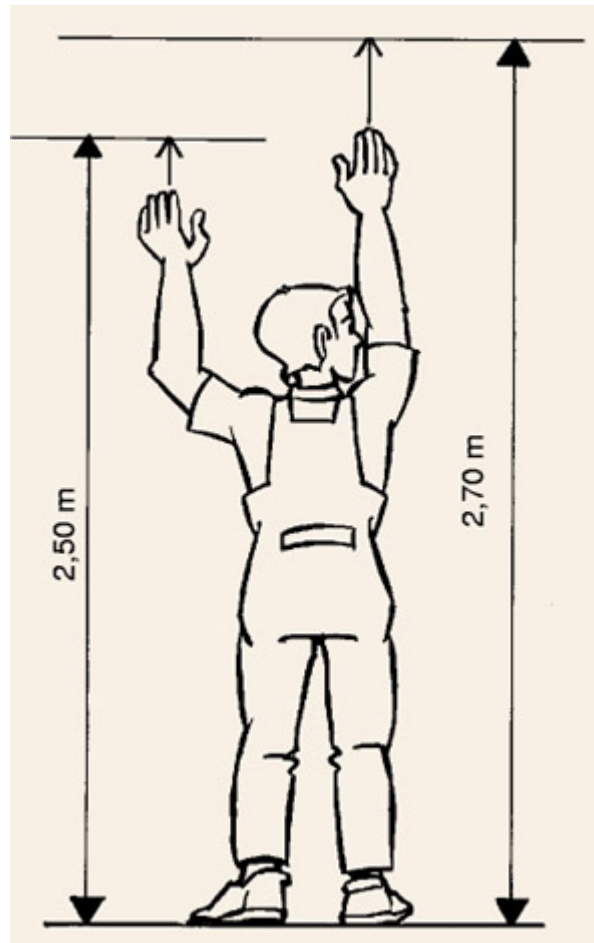
El dimensionamiento de los resguardos exige valorar conjunta e integradamente su abertura o posicionamiento y la distancia a la zona de peligro.

8.1.1 Dimensionamiento de resguardos para impedir el alcance hacia arriba o por encima de una estructura de protección

Se deben determinar las distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores.

Las normas armonizadas elaboradas por el CEN establecen que, cuando el riesgo en la zona peligrosa es bajo (las posibles lesiones son de carácter leve, en general lesiones reversibles), se considera protegida por ubicación (distanciamiento) toda zona peligrosa situada por encima de 2,50 m; mientras que si el riesgo en la zona peligrosa es alto (en general lesiones o daños irreversibles), se considera protegida por ubicación (alejamiento) toda zona peligrosa situada por encima de 2,70 m (figura 1).

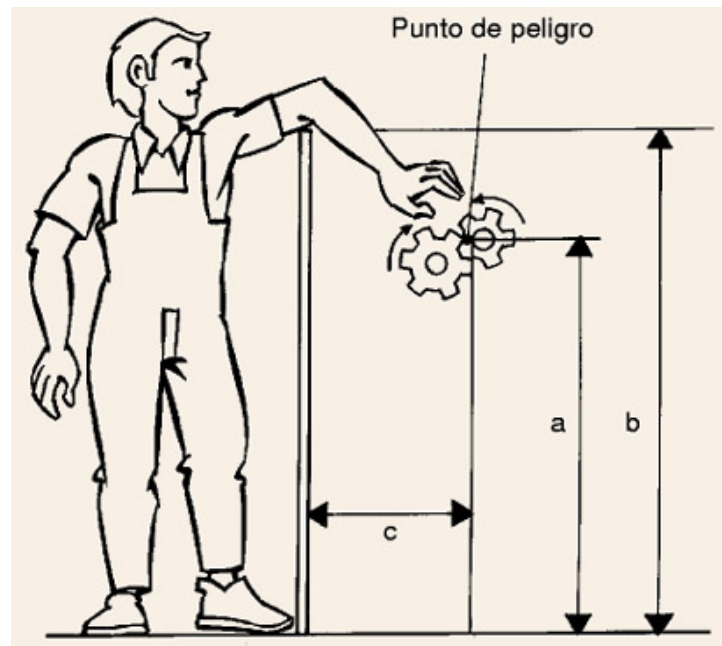
Figura 1



Para dimensionar la protección cuando el elemento peligroso está a una determinada altura, inferior a 2,50 - 2,70 m, con respecto al plano de referencia del trabajador (nivel en el que la persona se sitúa normalmente), se valoran conjuntamente tres parámetros que influyen en el alcance por encima de una estructura de protección (figura 2):

- a. distancia de un punto de peligro al suelo.
- b. altura del borde del resguardo.
- c. distancia horizontal desde el punto de peligro al resguardo.

Figura 2.



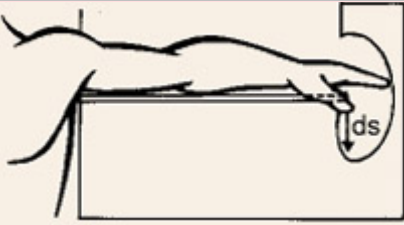
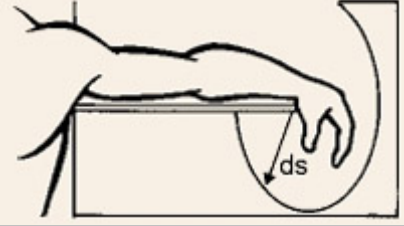
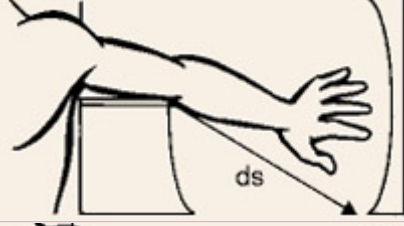
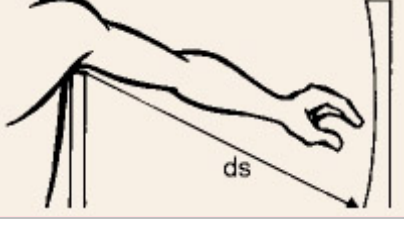
En la Tabla 2 se representan, cuando el riesgo en la zona peligrosa es bajo, los valores mínimos que deben tener esos parámetros a fin de garantizar la inaccesibilidad al elemento peligroso, fijando como criterio de aplicación que no se deben hacer interpolaciones a partir de los valores de la tabla. Así pues, cuando los valores de a, b o c estén situados entre dos valores de la tabla, se elegirá el valor que entrañe el mayor nivel de seguridad.

DISTANCIAS DE UN PUNTO DE PELIGRO DESDE EL SUELO a mm	ALTURA DEL BORDE DE LA BARRERA b mm							
	2400	2200	2000	1800	1600	1400	1200	1000
DISTANCIA HORIZONTAL DESDE EL PUNTO DE PELIGRO c mm								
2400	100	100	100	100	100	100	100	100
2200	-	250	350	400	500	500	600	600
2000	-	-	350	500	600	700	900	1100
1800	-	-	-	600	900	900	1000	1100
1600	-	-	-	500	900	900	1000	1300
1400	-	-	-	100	800	900	1000	1300
1200	-	-	-	-	500	900	1000	1400
1000	-	-	-	-	300	900	1000	1400
800	-	-	-	-	-	600	900	1300
600	-	-	-	-	-	-	500	1200
400	-	-	-	-	-	-	300	1200
200	-	-	-	-	-	-	200	1100
0	-	-	-	-	-	-	200	1100

8.1.2 Dimensionamiento de resguardos para impedir el alcance alrededor de un obstáculo

La Figura 3 permite determinar las distancias de seguridad (d_s) que se deben aplicar para impedir que personas a partir de 14 años alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores a través de una abertura de hasta 120 mm y los efectos que sobre la limitación de movimientos producen medidas supletorias en el diseño de los resguardos cuando en los mismos se deban practicar aberturas

Figura 3

Parte del brazo	Distancia de seguridad (mm)	
Mano desde la raíz de los dedos a la punta	> 130	
Mano desde la muñeca hasta la punta de los dedos	> 230	
Brazo desde el codo hasta la punta de los dedos	> 550	
Brazo desde la axila a la punta de los dedos	> 850	

8.1.3 Dimensionamiento de resguardos para impedir el alcance a través de aberturas en la protección

La figura 4 permite determinar las distancias de seguridad (ds) que se deben aplicar para impedir que personas a partir de 14 años alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores a través de aberturas regulares; correspondiendo las medidas de las aberturas (a) al lado de una abertura cuadrada, al diámetro de una abertura circular o a la menor medida de una abertura en forma de ranura.

Figura 4.

		RENDIJAS		
		Paralelas	Cuadradas	Circulares
Tamaño de la abertura (mm)				
DISTANCIA DE SEGURIDAD ds (mm)				
Parte del cuerpo	PUNTA DEL DEDO (1ª falange) $4 < a \leq 6$			
	DEDO HASTA LA RAIZ $12 < a \leq 20$			
	MANO HASTA EL PULPEJO $20 < a \leq 30$			
	BRAZO HASTA LA AXILA $40 < a \leq 120$			

*Si la anchura de la ranura es < 65 mm, la ds puede reducirse a 200 mm ya que el pulgar actúa como tope

En el caso de aberturas irregulares, se deben determinar el diámetro de la abertura circular más pequeña y el lado de la abertura cuadrada más pequeña y la anchura de la ranura más estrecha en las que la abertura irregular pueda ser inscrita completamente y determinar en la figura 4 las tres distancias de seguridad correspondientes. La distancia de seguridad es la más pequeña de las tres dimensiones.

Análogamente en la figura 5 se determinan las distancias de seguridad (d_s) que se deben aplicar para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros inferiores a través de aberturas regulares; correspondiendo las medidas de las aberturas (a) al lado de una abertura cuadrada, al diámetro de una abertura circular o a la menor medida de una abertura en forma de ranura.

En el caso de aberturas irregulares se opera de modo análogo al indicado para miembros superiores.

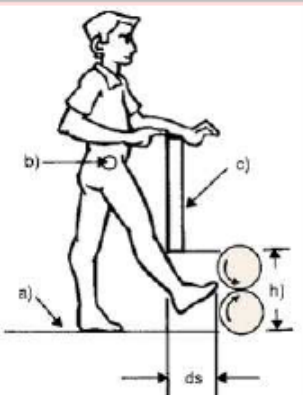
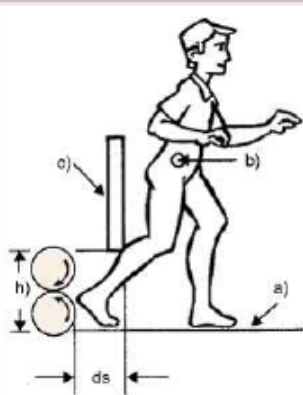
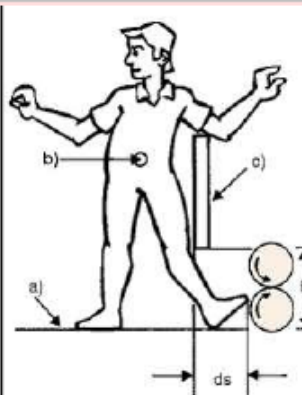
Figura 5

		RENDIJAS		
		Paralelas	Cuadradas	Circulares
	Tamaño de la abertura (mm)			
DISTANCIA DE SEGURIDAD ds (mm)				
Parte del cuerpo	DEDO $15 < a \leq 35$			
		≥ 80	≥ 25	≥ 25
	PIE $35 < a \leq 60$			
		≥ 180	≥ 80	≥ 80
PIERNA HASTA RODILA $80 < a \leq 95$				
	$\geq 1100^*$	≥ 650	≥ 650	
TODA LA PIERNA $180 < a \leq 240$				
	Inadmisible	≥ 1100	≥ 1100	

*El valor correspondiente a pierna hasta la entrepierna

8.1.4 Dimensionamiento de resguardos para impedir el alcance por debajo de las estructuras de protección

Figura 6.
Distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros inferiores con la persona de pie

LIMITACIÓN DEL ACCESO POR DEBAJO DE LAS ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN			
a) Suelo de apoyo del operario.			
b) Articulación de la cadera			
c) Resguardo			
h) Distancia entre el reborde inferior del resguardo y el suelo			
	DISTANCIA DE SEGURIDAD d_s (m)		
DISTANCIA ENTRE EL REBORDE INFERIOR DEL RESGUARDO Y EL SUELO	CASO 1	CASO 2	CASO 3
$h \leq 200$	> 340	> 665	> 290
$200 < h \leq 400$	> 550	> 765	> 615
$400 < h \leq 600$	> 850	> 950	> 800
$600 < h \leq 800$	> 950	> 950	> 900
$800 < h \leq 1.000$	> 1.125	> 1.195	> 1.015

8.2. Accesos a zona perimetral

En las puertas de acceso se implementarán interruptores de seguridad, preferiblemente con enclavamiento electromagnético. Deberán ir conexiados al circuito de seguridad de cerramientos general de tal forma que si se abre una de estas puertas se debería producir la parada de todos los equipos que forman la célula robotizada.

Existen los siguientes tipos de interruptores de seguridad:

1. Interruptor de seguridad con dispositivo de bloqueo
2. Interruptor de seguridad sin dispositivo de bloqueo
3. Interruptor de seguridad sin contacto

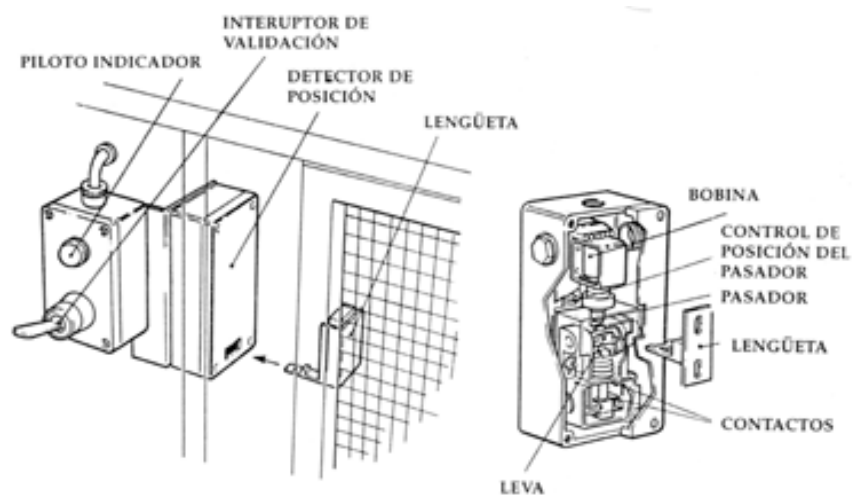
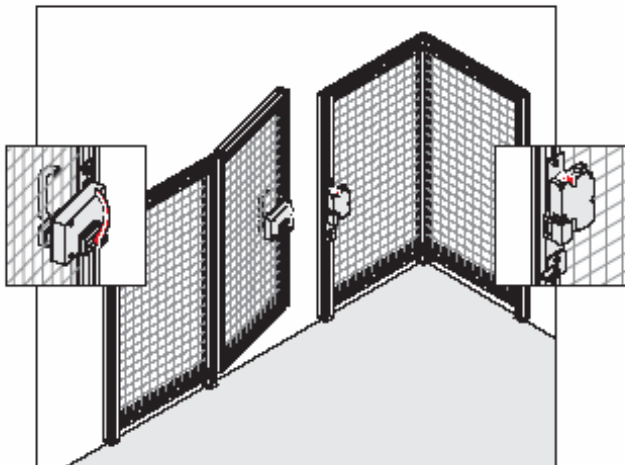
8.2.1 Interruptor de seguridad con dispositivo de bloqueo

Los interruptores de seguridad con dispositivo de bloqueo son con enclavamiento electromagnético; disponen de un electroimán que bloquea el pestillo una vez que esta en posición de seguridad y sería necesaria una fuerza de 200 a 250 daN para extraerlo. Se utilizan para proteger zonas con un alto riesgo y en las que no se puede certificar una parada del sistema cinemático para evitar el accidente.

En células robotizadas es recomendable instalar este tipo de interruptores de seguridad debido al alto riesgo que conlleva acceder a la zona de trabajo.

Hay que tener especial cuidado al colocar este tipo de interruptores ya que cabe la posibilidad de dejar atrapada a la persona dentro de la zona protegida sin posibilidad de salida. Siempre que se instale un sistema de este tipo y exista esta posibilidad, como por ejemplo en una célula robotizada, se deberá colocar un dispositivo mecánico y/o eléctrico (seta de emergencia) para poder realizar apertura desde el interior.

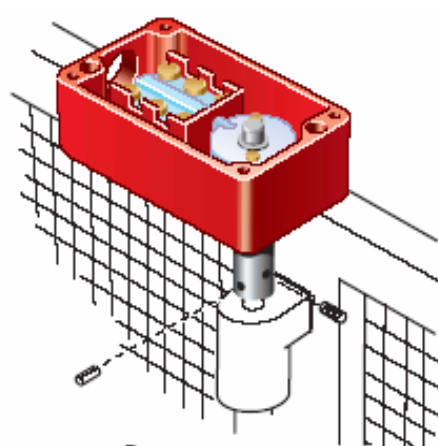
Si se decide implementar interruptores de seguridad con enclavamiento electromagnético, se deberán habilitar en cada una de las puertas una petición de acceso, de tal forma, que cuando un operario decida acceder a la zona protegida deberá solicitar acceso mediante un selector o un pulsador, una vez haya realizado esto se producirá la apertura de la misma cuando se hayan parado todos los equipos y se rearmara los sistemas de seguridad solo desde ese acceso.



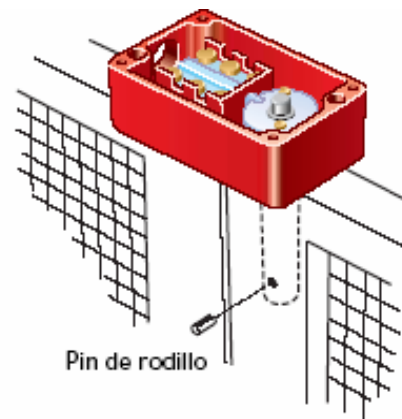
8.2.2 Interruptor de seguridad sin dispositivo de bloqueo

Los interruptores de seguridad sin dispositivo de bloqueo colocados en una protección móvil certifican la existencia de esta en la posición de trabajo cuando comienza la producción de la máquina, ya que si no se ha colocado es imposible comenzar el ciclo de trabajo. Si durante ciclo de trabajo se produjera una apertura la máquina se pararía. Hay que tener en cuenta cuando se instale este tipo de interruptores, que la apertura durante el funcionamiento del equipo de trabajo no debe conllevar riesgos para el trabajador, es decir, su instalación se debe realizar de tal manera que una vez que se produzca la apertura de la protección, la parada de los elementos móviles sea lo suficientemente rápida como para que el trabajador no llegue a la zona de peligro con estos elementos en movimiento.

Existen diversos tipos de interruptores de seguridad, el más común es del pestillo pero también existen de palanca o de bisagra. Se utilizan en puertas, tapas o carters giratorios. Garantizan la seguridad del operario, deteniendo inmediatamente los movimientos peligrosos cuando la palanca o el eje rotativo alcanza un ángulo de 5°

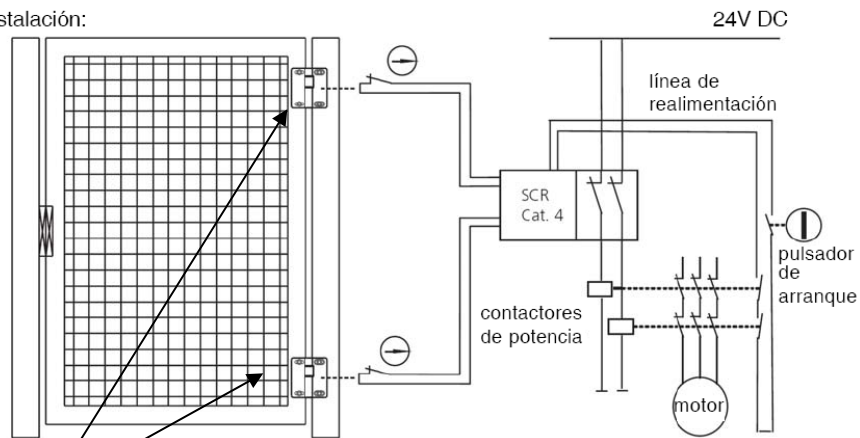


Pretaladrado
El eje del accionador está pretaladrado, lo cual permite que el perno de bisagra existente se utilice como punto de flexión.



Eje sólido
El eje sólido del accionador puede usarse como perno de bisagra en ciertas guardas.

Ejemplo de instalación:

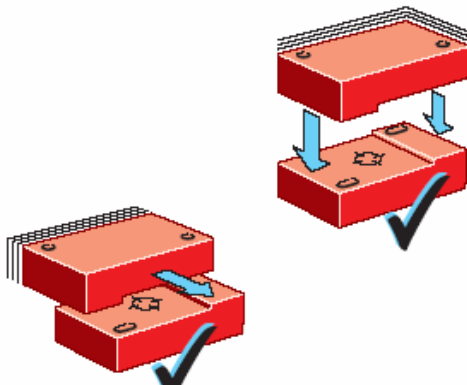


Ejemplo de instalación con doble interruptor de seguridad bisagra en categoría 4 de seguridad según UNE EN 954

- Verdadera redundancia eléctrica
- Verdadera redundancia de seguridad mecánica
- Elimina los fallos mecánicos comunes

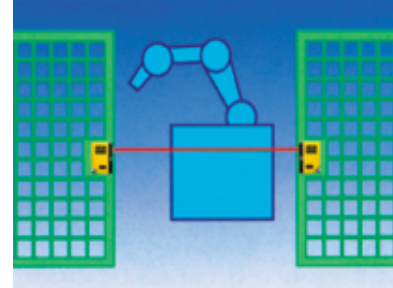
8.2.3 Interruptor de seguridad sin contacto

Están Formados por dos elementos que se reconocen entre ellos sin necesidad de contacto. Se pueden codificar y tienen una gran dificultad de burlado. Son muy útiles para cualquier tipo de resguardos ya que su instalación es muy sencilla y tienen una gran tolerancia de alineación.



8.3. Sistemas optoelectrónicos de seguridad – barreras inmateriales

No es recomendable implementar sistemas optoelectrónicos como protección perimetral, ya que el robot en muchos casos se está utilizando para manipulación y podría fallar la garra de sujeción de pieza por un frenado brusco debido a una emergencia o por un fallo de

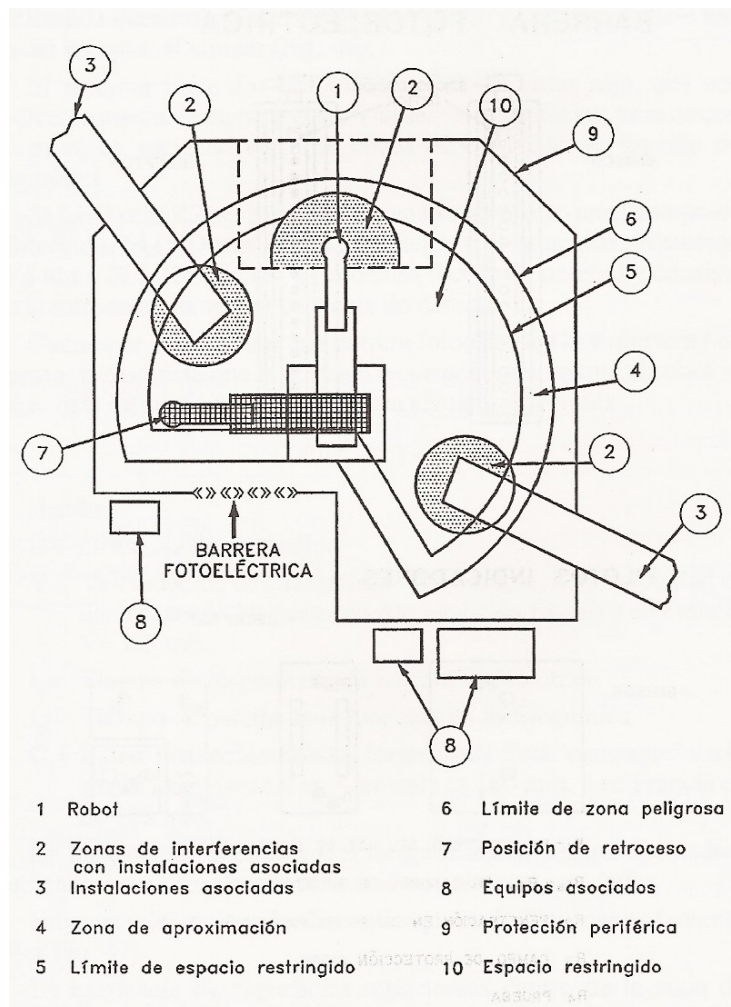


sistema; y porque la longitud perimetral puede ser considerable lo que puede originar paradas accidentales de producción. Se pueden instalar en las localizaciones específicas de acceso.

Cuando utilicemos un sistema optoelectrónico de seguridad en una célula robotizada, este deberá ser siempre homologado categoría de seguridad 4 según UNE EN 954 y se deberán tener en cuenta las siguientes indicaciones:

- El dispositivo sensible debe estar instalado y dispuesto de manera que no pueda entrar ninguna persona y alcanzar una zona peligrosa sin haber activado el dispositivo o que no pueda alcanzar el espacio restringido antes de que hayan cesado las condiciones peligrosas.
- Cuando sea posible permanecer entre los haces fotoeléctricos y la zona de riesgo, se deben instalar medios adicionales.
- Solo será posible el acceso a la zona peligrosa a través de la zona de detección del sistema optoelectrónico. Otras protecciones adicionales deben impedir el acceso a la zona peligrosa desde cualquier otra dirección.
- Se debe disponer de un sistema de rearme por cada sistema optoelectrónico empleado.
- Si se utilizan espejos reflectores para cubrir toda la zona se debe asegurar que no queda ningún ángulo o zona muerta de acceso.

- Cuando un dispositivo sensible ha sido activado, puede ser posible volver a poner la célula en marcha a partir de la posición de parada, a condición de que esto no provoque otros peligros.
- Dependiendo de la utilización de robot no se podrán emplear sistemas optoelectrónicos, sobre todo cuando hay riesgos de proyecciones, radiaciones, etc....; a no ser que se combinen con protecciones físicas que anulen estos riesgos.



Célula robotizada con barrera de protección fotoeléctrica.

8.3.1 Cortinas fotoeléctricas

Son dispositivos cuya función de detección se realiza mediante elementos optoelectrónicos emisores y receptores de tal manera dispuestos que forman una cortina de radiaciones ópticas y que detectan la interrupción de estas dentro del dispositivo realizada por un objeto opaco presente en la zona de detección especificada. Dependiendo del objeto que se quiera detectar deberá tener una resolución específica, por ejemplo si se quiere detectar un dedo la resolución o distancia entre los haces que forman la cortina de protección debe ser igual o menor que 14 mm. y 40 mm. para una mano o un brazo.

La actuación se efectuará, por la interrupción de un solo rayo de luz infrarroja, que acciona una alarma y bloquea un relé situado a la salida de la señal.

Para asegurar la fiabilidad, el sistema autochequea el circuito electrónico, la alineación y da aviso de la suciedad de las lentes, las cuales parpadean tan pronto la señal de percepción es inferior al doble del umbral de respuesta.

En el proceso de interrupción del haz luminoso, el rearme solo debe ser posible desde la unidad de control. La barrera consta de dos cuerpos, uno el emisor que emite luz (infrarroja, ultravioleta, etc.), y un receptor que capta estos rayos de luz.

Cuando se va a instalar una barrera fotoeléctrica hay que tener en cuenta, la distancia que la persona recorrerá antes de que el robot se pare. Esta distancia viene dada por la siguiente fórmula.

$$D \geq V \cdot (t_1 + t_2) + C_3$$

siendo:

D = Distancia de protección.

V = Velocidad de desplazamiento del hombre o operario. Esta velocidad es distinta según los países en Alemania $V = 1,6$ m/s y en Francia $V = 2,5$ m/s.

t_1 = Tiempo de respuesta de la barrera fotoeléctrica.

t_2 = Tiempo de parada de la maquina en milisegundos.

C_3 = Es una distancia adicional (seguridad). Esta "constante" varia según los países así en Alemania es 180 mm. Y en Francia es de 125 mm.

En las barreras el emisor y el receptor deben están enfrentados, debiendo existir una buena alineación en altura y en ángulo.

Hay una tolerancia en la alineación que es de dos grados (2°) aproximadamente.

La existencia de superficies reflectantes dentro de la zona de detección, puede provocar deflexiones y por consiguiente inducir a error a la barrera, no detectando obstáculos. Según sea la separación del receptor y emisor, hay una distancia mínima entre el punto de coincidencia de la anchura del haz y la anchura de captación. Esta distancia mínima variará según los países; así según la reglamentación Alemana:

$$D = 0,035 \cdot L + 5\text{mm.}$$

siendo L la distancia entre el receptor y el emisor.

Cuando las alturas a proteger, sean superiores a la altura de la barrera fotoeléctrica, se pueden instalar dos o más barreras, una a continuación de otra. Para evitar interferencias entre equipos que estén próximos éstos tienen que actuar con emisión inversa.

Es posible utilizar dispositivos inteligentes opto-electrónicos para proteger puntos y áreas peligrosas y controlar los accesos, tanto vertical como horizontalmente. Estos dispositivos sin contacto se auto testean, pueden ser comprobados y cumplen las normas de seguridad vigentes en todo el mundo.



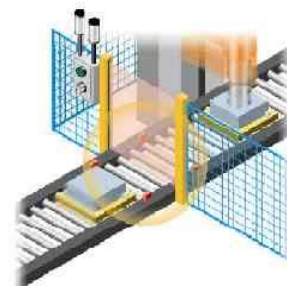
También se pueden utilizar dispositivos de un solo haz para controlar accesos a zonas de riesgo. Estos elementos también poseen la misma homologación de seguridad que una cortina pero se deben poner más alejados de la zona de riesgo. Se suelen combinar con espejos para conseguir un doble haz y de esta forma impedir un "burlado" fácil del sistema de seguridad.

Es muy interesante utilizar sistemas "muting" en islas robotizadas de paletizado. Estos sistemas disgregan el paso de una pieza o un hombre y permiten puentear con seguridad un sistema optoelectronico para permitir la entrada o salida de pieza.

Veamos a continuación como funcionan un sistema de estas características:

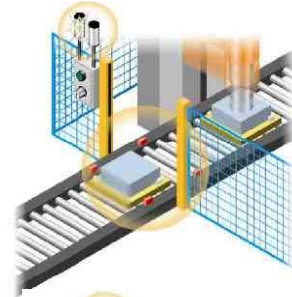
Muting – Fase 1

- Material delante de la zona de peligro
- Barrera fotoeléctrica activa
- Lámpara muting apagada



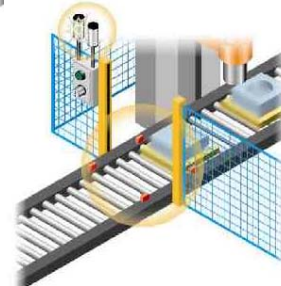
Muting – Fase 2

- Sensores muting 1 + 2 accionados
- Barrera fotoeléctrica puenteada
- Lámpara muting activada



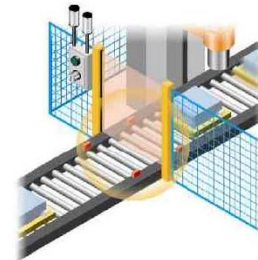
Muting – Fase 3

- Sensores muting 3 + 4 accionados
- Barrera fotoeléctrica puenteada
- Lámpara muting activada



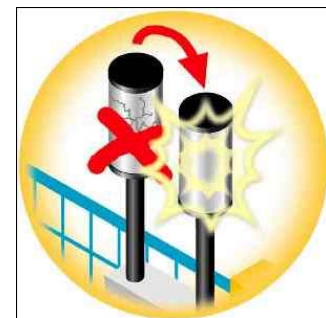
Muting – Fase 4

- Proceso de muting finalizado
- Barrera fotoeléctrica de nuevo activa
- Lámpara muting apagada



Según la norma UNE EN 61496-1 A.7 'Muting' es el puenteado automático, seguro y transitorio de una barrera inmaterial de seguridad.

Según la norma UNE EN 61496-1 A.7, las lámparas de muting blancas tienen que iluminarse con una luminosidad definida durante el muting y tienen que ser supervisadas. Mediante la supervisión de la lámpara de muting tiene lugar una conmutación automática en caso de error.



Según la posición de los sensores que determina la inhibición de la barrera se distinguen dos tipos.

1. Muting paralelo

- El punto de cruce queda detrás de la barrera fotoeléctrica
- Posible con exploradores de punto luminoso
- Posible con barreras fotoeléctricas



2. Muting serie en conexión con

- Interruptores de posición
- Interruptores de aproximación
- Exploradores de punto luminoso
- Barreras fotoeléctricas

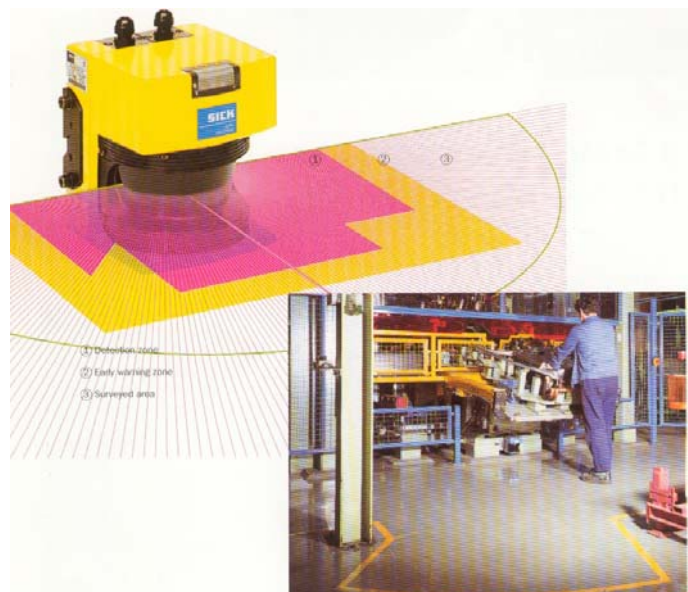


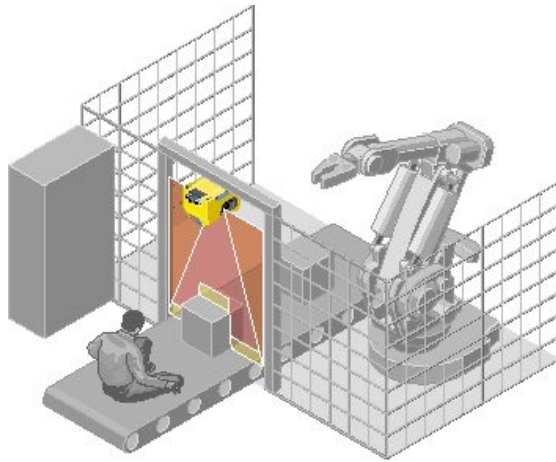
8.3.2 Scanner láser

Es un sistema de seguridad que explora su entorno sin contacto por medio de un haz láser infrarrojo, sin necesidad de utilizar reflector o receptor separado. La zona de detección puede adaptarse perfectamente a la zona de protección estableciendo una zona de preaviso.

Es muy interesante para detección de personas en áreas de alto riesgo o para incorporar en sistemas de transporte sin conductor.

Se puede alcanzar una categoría de seguridad 3 según norma UNE EN 954.





Debido a que no están homologados para una categoría máxima de seguridad, cuando trabajemos con robots no deberíamos utilizarlos como un sistema primario de seguridad. Pueden ser muy útiles para detectar personas en áreas de riesgo dentro de las células robotizadas e impedir de esta forma el arranque de la instalación con operarios dentro de ellas. También pueden ser utilizados para permitir el paso de un tipo de pieza como se observa en la figura, pero si queremos conseguir un categoría de seguridad 4 según norma UNE EN 954 deberemos complementarlo con otro sistema homologado en esta categoría.

El ángulo de barrido es normalmente de 180°, aunque se comercializan sistemas que tienen un ángulo de trabajo mucho mayor.

Para su uso vertical deben estar homologados específicamente.

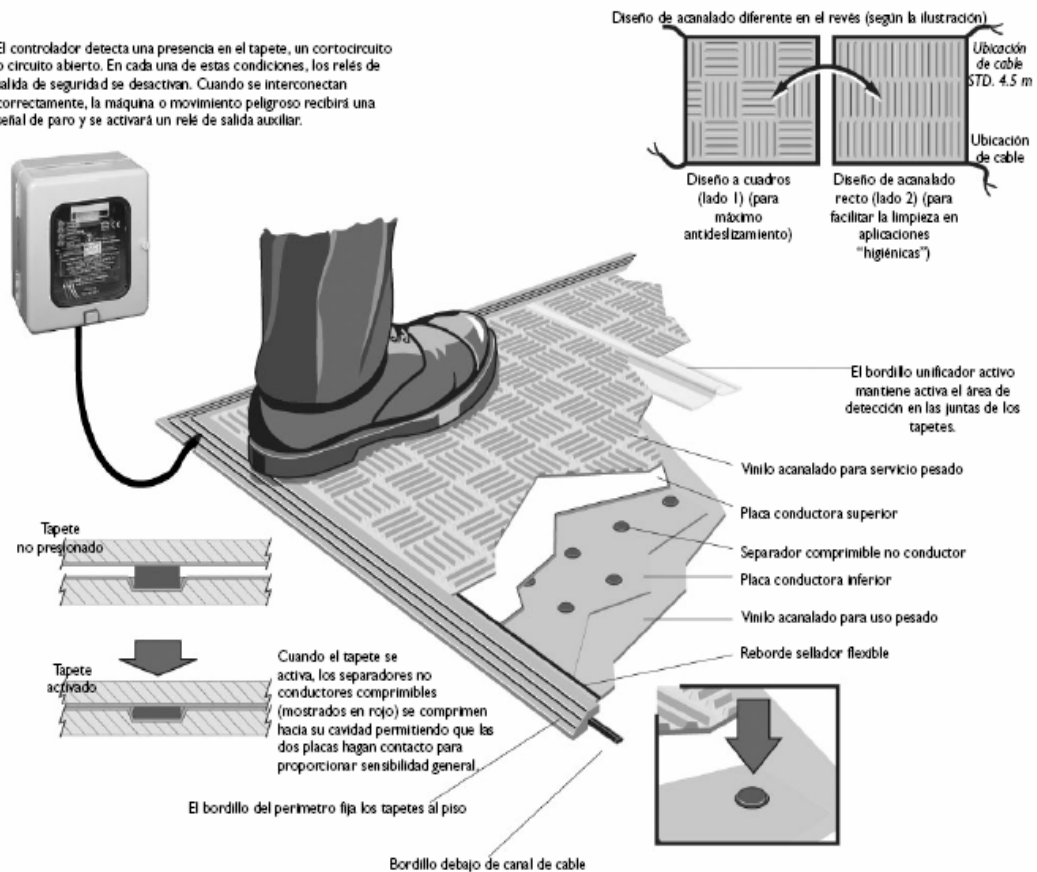
8.3.3 Alfombras sensibles

Las alfombras sensibles son interruptores eléctricos de área sensibles a la presión. Mediante estos dispositivos se pueden detectar la presencia de personal no autorizado en áreas de trabajo peligrosas. Hay que tener en cuenta que la máxima categoría de seguridad que se puede conseguir es 3 según la norma **UNE EN 954**. Es muy importante a la hora de diseñar la implementación de una alfombra sensible para proteger el acceso a una zona que consideramos peligrosa, considerar las distancias de seguridad establecidas en la norma **UNE EN 999**, para evitar que las personas que accedan a la zona peligrosa por la alfombra puedan llegar antes de la parada total del movimiento peligroso.

Suelen ser diseñadas para trabajar bajo condiciones severas, tanto mecánicas, como químicas o térmicas.

Anatomía de un sistema de tapete

El controlador detecta una presencia en el tapete, un cortocircuito o circuito abierto. En cada una de estas condiciones, los relés de salida de seguridad se desactivan. Cuando se interconectan correctamente, la máquina o movimiento peligroso recibirá una señal de paro y se activará un relé de salida auxiliar.



Debido a que no están homologados para una categoría máxima de seguridad (al igual que los scanners), cuando trabajemos con robots no deberíamos utilizarlos como un sistema primario de seguridad. Pueden ser muy útiles para detectar personas en áreas de riesgo dentro de las células robotizadas e impedir de esta forma el arranque de la instalación con operarios dentro de ellas.

8.4. Sistemas de supervisión de elementos distribuidos de seguridad

Los circuitos de seguridad de las células robotizadas deben tener una categoría de seguridad alta (4 según norma UNE EN 954). Esto solo lo podremos conseguir supervisando el funcionamiento de los elementos distribuidos a través de unos sistemas homologados.

8.4.1 Módulos de seguridad.

Es el sistema más sencillo que existe en el mercado. Con estos módulos podremos supervisar distintos elementos distribuidos de seguridad, desde un interruptor de seguridad, una parada de emergencia o un sistema de doble mando.

Para poder conseguir un categoría de seguridad optima deberemos supervisar cada elemento distribuido con un módulo de seguridad, por lo que será adecuado para instalaciones muy pequeñas.

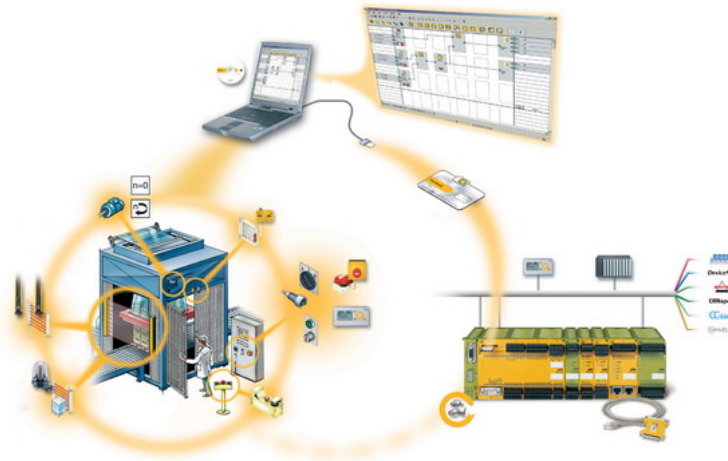
Es muy importante para conseguir el nivel de seguridad para el que esta homologado el aparato seguir los circuitos de seguridad determinados por el fabricante.



8.4.2 Módulos programables de seguridad.

A camino entre los módulos de control y los autómatas programables existen los módulos programables que se utilizan para supervisar instalaciones de tamaño medio que poseen varios elementos de seguridad distribuidos pero que no son lo suficiente complejas como para que resulte económico implementar un autómata de seguridad.

Utilizan un sistema de programación muy visual y los elementos se deben cablear uno a uno al sistema de supervisión.



8.4.3 Autómatas de seguridad

Si se utiliza un equipo electrónico programable para desempeñar funciones de seguridad, en situaciones en las que se puede producir un accidente importante (lesiones graves, muy graves o incluso la muerte), se deben cumplir requisitos muy especiales (utilización de sistemas redundantes, utilización de diversidad, autocontrol, etc...). Para ciertas aplicaciones de riesgo elevado como, por ejemplo, para mando de prensas, instalaciones robotizadas, quemadores, etc., normalmente este tipo de equipos se someten a ensayos en Laboratorios u Organismos reconocidos para tal fin, que emiten el correspondiente certificado. Además se deben respetar los requisitos específicos de montaje, instalación, programación, etc., que solo puede ser realizados por personal cualificado.

Es muy importante determinar que no se puede gestionar la seguridad de una instalación con un autómata que no este homologado. Los elementos distribuidos de seguridad deberán estar gestionados por módulos de seguridad, módulos de seguridad programables o autómatas de seguridad.

El PLC se ha estabilizado desde hace muchos años en la técnica de automatización y ha desplazado en casi todos los sectores al cableado

convencional. Las ventajas son flexibilidad, múltiples posibilidades de diagnóstico y poco coste de cableado.

Estas ventajas sólo pueden aprovecharse para la parte del control de una instalación, de la cual no se espera ningún peligro. Las funciones de control para la parte de la instalación relevante a la seguridad deben cubrirse igualmente con un hardware adicional y un cableado costoso.

Con la aparición de los PLC's de seguridad conseguimos controlar la instalación completa de un proceso, gracias a sus características especiales, resultan las siguientes ventajas para el usuario:

1.- Proyección:

- Múltiples módulos de software para soluciones estándar
 - 📌 Parada de Emergencia
 - 📌 Rejas Protección
 - 📌 Doble Mando
- Programas de programación confortables
- Ahorro de espacio hasta un 80%
- Alta categoría de seguridad según UNE EN 954-1 con un coste mínimo de cableado

2 – Puesta en Marcha

- Coste mínimo de montaje y cableado
- Tiempos de puesta en marcha muy cortos
- Flexible modificación de función

3 – Funcionamiento

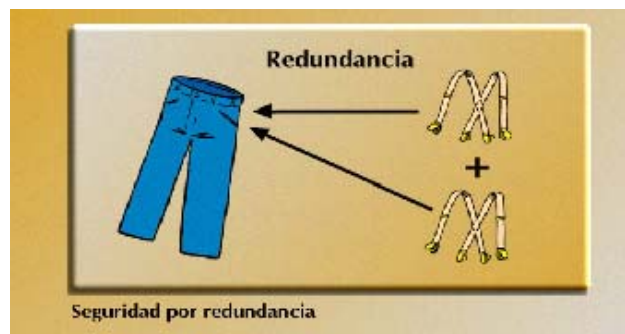
- Gran fiabilidad y larga vida gracias a un desgaste mínimo
- Tiempos de parada reducidos
- No hay coste de mantenimiento
- Posibilidad de ampliación por programación

Los PLC's de seguridad están basados en sistemas redundantes. Quiere esto decir que se está desarrollando la misma función por parte de varios sistemas.

Tipos de redundancia

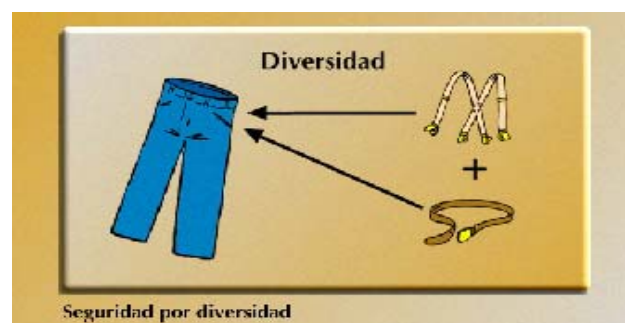
- Redundancia Homogénea

Con referencia a la técnica de control significa que dos o más sistemas idénticos controlan la instalación al 100%. Por ejemplo el sistema Siemens S7-300F



- Redundancia por Diversidad

En una redundancia diversitaria se realiza la redundancia por medios desiguales. Por ejemplo el sistema PILZ PSS 3000.



9. Normas de seguridad para trabajar con robots

- Se debe de prohibir el acceso al recinto con el robot en funcionamiento.
- Las personas que por motivos insalvables, tengan que permanecer dentro de la zona de trabajo del robot, estando éste en movimiento o bajo tensión, deberán tener un permiso especial escrito para el acceso.
- Los permisos deben especificar claramente los siguientes puntos:
 - a) Trabajo a realizar.
 - b) Persona o personas que van a realizar el trabajo.
 - c) Persona encargada de supervisar el trabajo.
 - d) Especificar las medidas de seguridad que se van a adoptar y los pasos a seguir.
 - e) Especificación de los elementos de seguridad que se han suprimido y la comprobación de su restablecimiento.
- Se deberán separar al robot de su alimentación. Se deberá prestar especial atención en esta operación, ya que el corte de energía puede provocar la caída del brazo, si no ha dispuesto de un dispositivo específica de protección.
- En este caso se deberá condenar el botón o dispositivo de parada.
- Al abrir la puerta de acceso al recinto, asegurarse de que ésta permanezca abierta (si no podrá restablecer la alimentación). En el caso de que se utilice un sistema de interrenclavamiento por llaves, se deberá guardar la llave para que no pueda restablecerse la energía al robot.
- En el caso de que tenga que trabajar con el robot con alimentación, se deberá seleccionar el modo de aprendizaje a velocidad reducida.
- Si el robot lo permite, la programación deberá realizarse fuera de la zona de trabajo.
- Durante la programación sólo se permitirán velocidades bajas.
- La programación deberá ser realizada sólo por personal preparado y autorizado.

- En la fase de programación, no deberá permanecer nadie entre el robot y partes fijas, con el fin de evitar atropamientos.
- Es aconsejable no estar más de una hora seguida programando.
- Se deberá formar adecuadamente a todo operario relacionado con el robot. Esta formación será tanto en el área de formación técnica, así como de seguridad.



10. Requisitos de seguridad de una célula robotizada

1. Los movimientos no programados no deben ser permitidos. Introduciendo en el programa de recorrido de movimientos del robot, unas instrucciones destinadas a delimitar el arco de movimiento, permitiendo que solamente se desplace, 2 o 3 grados más allá de su movimiento necesario. Si el robot sobrepasa esta limitación de programa, este incluirá una orden de parada.
2. Como la seguridad por programa, hoy todavía, no esta totalmente conseguida, el robot deberá llevar en su interior 2 microinterruptores desplazables, con el fin de controlar el ángulo, delimitando el movimiento de la corona. Estos microinterruptores, enviaran una señal de parada cuando el robot entra en contacto con ellos (movimiento horizontal).
3. Para evitar el desplazamiento vertical (menos peligroso), se podrían instalar en la parte trasera del robot unos topes de altura, que delimitaran a su vez el movimiento vertical (este tope puede estar formado por un microinterruptor), de forma que cuando el robot tocase en el mandaría este una señal de parada.
4. Deberá poder descargarse la energía almacenada en los circuitos (hidráulico y neumático), o en el caso de eléctrico, desconectarse sin perder el programa.
5. En los casos de parada de emergencia, en los que la pinza o garra sujete alguna pieza, esta deberá permanecer sujeta ante una parada de emergencia.
6. El rearmado del robot ante una parada de emergencia, deberá ser manual. No debiendo permitir una puesta en la marcha del robot o sus equipos asociados, si no es a través del accionamiento de la puesta en marcha, o rearme desde el puesto de control principal.
7. Ante una parada de emergencia, deberá ser necesario volver al punto cero, no iniciándose el movimiento del robot ante un rearme en el punto que se abandonó, sino que deberá iniciarse en el principio de ciclo.

8. La botonera portátil, deberá estar equipada con mandos de movimiento tipo "hombre muerto", de forma que la acción de pulsar tiene que ser mantenida, en el momento de que esta acción es abandonada, el robot se para.
9. El robot deberá ir provisto, de unos dispositivos que desencadenan una parada, cuando el brazo del robot encuentre un obstáculo que le ofrezca resistencia.
10. Deberá disponer de un sistema de velocidad reducida, en el modo de aprendizaje o programación, debiendo entrar automáticamente en funcionamiento al seleccionar este modo, o al utilizar el dispositivo portátil de programación (botonera, etc.).
11. El robot no podrá ser rearmado desde la botonera, ante una parada de emergencia.
12. Los mandos de movimiento del robot de la botonera y pupitre, serán selectivos de manera de que uno elimine al otro y no se puedan utilizar al mismo tiempo.
13. El regulador de velocidad del robot, deberá estar protegido de forma y manera, de que no pueda ser accionado inintencionadamente.
14. Los dispositivos de corte y desconexión, deberán estar protegidos contra acciones involuntarias.
15. Las partes móviles, deberán ser de colores vivos y de fácil visualización.
16. Deberá disponer de un dispositivo (luminoso o acústico), que nos indique que el robot esta o va a ponerse en funcionamiento.
17. Los dispositivos de seguridad, deben entrar en funcionamiento automáticamente, al iniciarse las operaciones de puesta en marcha del robot.
18. Se utilizarán topes mecánicos de limitación de recorrido (además de los otros ya instalados).

- 19 El robot deberá disponer de frenos eficaces, que reduzcan al máximo los momentos de inercia y nos sujeten el brazo o lo hagan descender muy lentamente, ante una parada de emergencia. Estos frenos deberán accionarse cuando el robot esté desconectado. Para su desactivación deberá procederse manualmente.
20. Los cables y mangueras deben estar protegidos contra los agentes agresivos de ambiente de trabajo, axial como contra corrientes inducidas, parasitarias, etc. Deberán estar situados de manera que no pueden ser enganchados o pellizcados, por los órganos móviles del robot, axial como bien sujetos.
21. El robot dispondrá de limitadores de carga, que nos manden una parada, si se sobrepasa el peso marcado por las características de trabajo del robot.
22. Deberá cuidarse la estabilidad y el anclaje siguiendo las instrucciones del fabricante.
23. La zona de trabajo del robot, deberá estar protegida fundamentalmente por barreras materiales, debiendo ser las inmateriales complementarias.
24. El panel o pupitre de control, deberá ser ubicado fuera de la zona protegida del robot, pudiéndose actuar sobre él, sin estar en la zona protegida o pasar por ella, no debiendo existir huecos o pasillos fácilmente violables.
25. Desde el pupitre de mando, deberán poder observarse los movimientos del robot.
26. Deberá disponerse (líneas robotizadas) de zonas de mantenimiento especialmente diseñadas a tal efecto.
27. La zona de trabajo del robot deberá disponer de los elementos necesarios (ventiladores, climatización, aspiración, etc.), para que en su caso los agentes tanto físicos como químicos, no afecten al software como al hardware del robot.
28. La zona de trabajo deberá estar convenientemente iluminada, sobre todo en la fase de programación y aprendizaje.

29. Las áreas de trabajo del robot, así como las zonas peligrosas, deberán estar señalizadas.
30. Los mandos e instrumentos de señalización, tanto en la botonera como en el pupitre de control, deberán disponer de las leyendas necesarias y perfectamente comprensibles.
31. Las direcciones de los movimientos, tanto en el robot como en la botonera, deberán estar señalizadas gráficamente.

11. Bibliografía

- AKEEL, H.A., RUTLEDGE, G.J. (2000): "Technological Enhancements and Their Effect on Price/Performance Indicators of Industrial Robots", in (IFR) (2000): World Robotics 2000, New York/Geneva, United Nations, pp. XIV XX.
- CASTILLO, J.J. (1998): A la búsqueda del trabajo perdido, Madrid, Tecnos.
- CASTILLO, J.J. (ed.) (1999): El trabajo del futuro, Madrid, Editorial Complutense.
- HELLERTEIN, J.P, BENDER, J., HADLEY, J.G. y HOHMAN, C.M. (1999): "Vidrio, cerámica y materiales afines", en OIT (1999): Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, Madrid, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, pp. 842-843. International Federation of Robotics (IFR) (2000): World Robotics 2000, New York/Geneva, United Nations.
- KINGHT, A.L. (1989): "Robots y maquinaria de producción automática", en OIT (1989): Enciclopedia de salud y seguridad laboral en el trabajo, Madrid, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, pp. 2143-2147.
- LÓPEZ PELÁEZ, A. (1996): "El trabajo robotizado: perspectivas sobre la producción industrial en la sociedad tecnológica emergente", en Sistema. Revista de Ciencias Sociales, n° 135, pp. 75-104.
- LÓPEZ PELÁEZ, A. (1997): "Robótica", en Enciclopedia Universal Espasa Calpe. Apéndice 1995-1996, Madrid, Espasa Calpe, 35 págs.
- LÓPEZ PELÁEZ, A. (1998): "Los procesos de robotización y sus impactos sociales", en Tezanos Tortajada, J.F. y Sánchez Morales, M.R. (1998): Tecnología y Sociedad en el nuevo siglo. Segundo Foro sobre Tendencias Sociales, Madrid, Sistema, pp. 701-730.
- LÓPEZ PELÁEZ, A. (2000a): Impactos de la robótica y la automatización avanzada en el trabajo. Estudio Delphi, Madrid, Sistema.
- LÓPEZ PELÁEZ, A. (2000b): "Tendencias en Robótica y Automatización Avanzada. ¿Hacia un nuevo modelo de trabajo?", en Tezanos Tortajada, J.E (ed.) (2000): Escenarios del nuevo siglo. Cuarto Foro sobre Tendencias Sociales, Madrid, Sistema, pp. 171-196.
- López PELÁEZ, A. (2000c): "Prospectiva, Robótica Avanzada y Salud Laboral", en Prevención, Trabajo y Salud. Revista del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, n° 6, pp. 14-21.

- LÓPEZ PELÁEZ, A. (2000d): "Towards a new work pattern? Trends of Automation and Robotics Systems in manufacturing and services", in Robotics, (Journal of International Federation of Robotics), n° 40, pp. 8-10.
- LÓPEZ PELÁEZ, A. (2001), "Robótica", en Enciclopedia Universal Espasa Calpe, Apéndice 1999-2000, Madrid, Espasa Calpe, 40 págs.
- LÓPEZ PELÁEZ, A. y KRux, M. (2000), "Social Impacts of Robotics and Advanced Automation towards the Year 2010", The IPTS Report, (edited by The Institute for Prospective Technological Studies, European Commission), n° 48, pp. 34-40.
- PEIRO, J.M (1999): Desencadenantes del estrés laboral, Madrid, Pirámide.
- TEZANOS TORTAJADA, J.E (2001 b): El trabajo perdido. ¿Hacia una sociedad postlaboral?, Madrid, Biblioteca Nueva.
- TEZANOS, J.F., DÍAZ, J.A., SÁNCHEZ MORALES, M.R. y LÓPEZ, A. (1997): Tendencias científico-tecnológicas en España. Estudio Delphi 1997, Madrid, Sistema.
- WARMBOLD, J. (2000): "Robot palletizes vitamins", in (IFR) (2000): World Robotics 2000, New York/Geneva, United Nations, pp. 273-275.
- WEICHBRODT, B. (2000): "Industrial Development in Robotics", in IFR (2000): World Robotics 2000, New York/Geneva, United Nations, pp. IX-X.
- Suarez, A. Guía Técnica de Seguridad en Robótica. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- www.mtas.es/insht
- www.sick.es
- www.leuze.es
- www.pilz.com
- www.steute.es
- www.schmersal.com
- www.omron.es
- www.abb.es
- www.motoman.es
- www.kuka.es
- www.fanucrobotics.es