

D. ALFREDO BUISAN
CLEMENTE

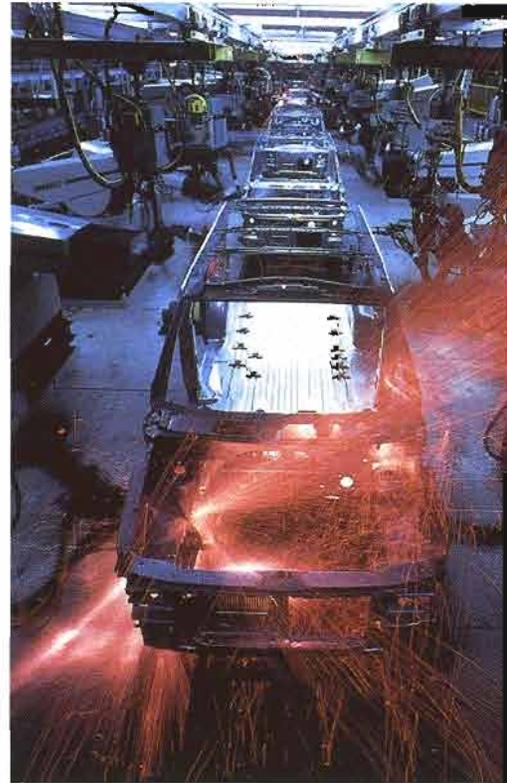
Ingeniero de Seguridad
General Motors
España, S. A

Los Robots Industriales mejoran las condiciones de trabajo, liberando a los operarios de determinados trabajos penosos, sin embargo presentan a su vez riesgos específicos.

La robotización de la industria es un hecho real y con una tendencia creciente en los principales países industrializados del mundo.

Las modificaciones estructurales de nuestro régimen económico continuamente exigen adaptaciones e innovaciones de los sistemas productivos. La automatización continuada de trabajos manuales y la aparición de jóvenes países industriales exigen un aumento de la productividad y una superación del nivel de calidad de los productos manufacturados. Por otro lado, a las nuevas técnicas de producción se les exige que confieran al trabajo una dimensión enriquecedora para el espíritu y que los trabajos que son mentalmente embrutecedores sean efectuados por las máquinas. Todos estos factores han dado lugar, durante el último decenio, al desarrollo de sistemas de producción automáticos que sean fácilmente adaptables a las variaciones de producción.

Los avances de la microelectrónica y la invención y uso del micro-



Seguridad en robots industriales

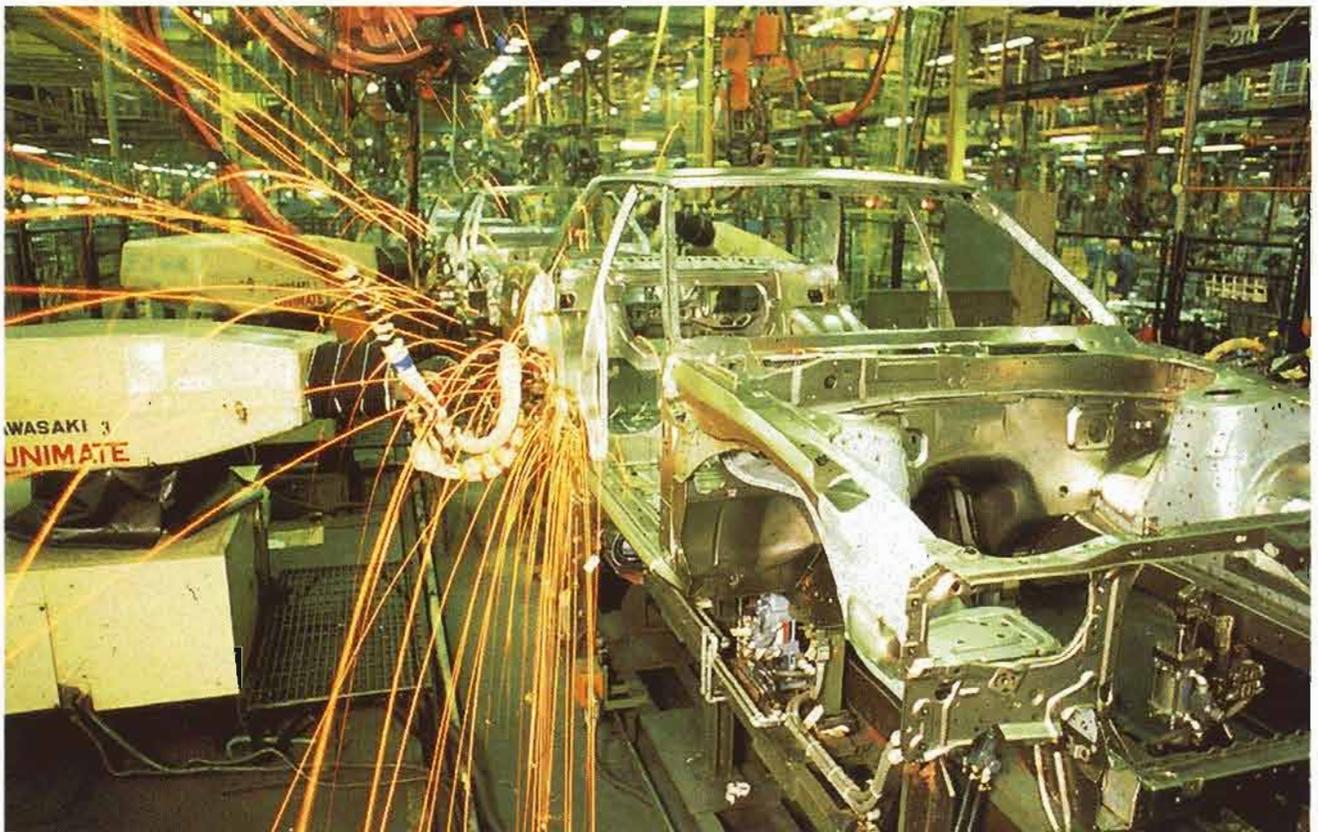
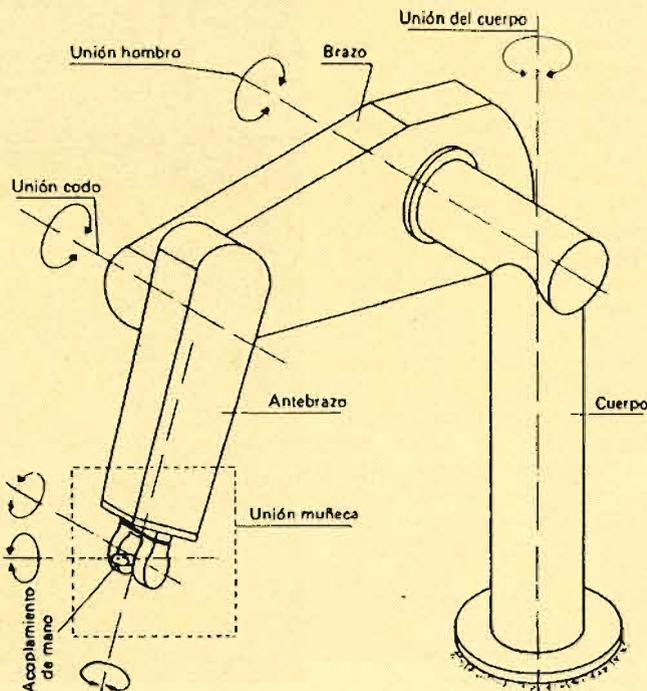


FIGURA 1 Robot industrial con 6 pares de rotación (R)



Configuración básica de un robot

De una forma global, se puede considerar que un robot se compone de tres partes fundamentales: el manipulador, la unidad de control y los sistemas sensitivos (sensores).

El manipulador

El manipulador constituye la parte mecánica del robot y adopta generalmente una cadena cinemática abierta. Está formado por los componentes siguientes:

- Estructura mecánica.
- Elementos terminales.
- Fuente de energía.

A) Estructura mecánica

Es la parte que permite el contacto físico y constituye la geometría, armazón o esqueleto del robot. Está constituida por un extremo fijo o base, unos elementos rígidos, que son los brazos, y unos pares de enlace o elementos que unen los brazos entre sí, permitiendo los movimientos del robot (fig. 1). Se denominan a estas uniones «articulaciones o pares cinemáticos» y, generalmente, el movimiento relativo permitido es una rotación alrededor de un eje (par de rotación o angular) o una traslación (par prismático).

B) Elementos terminales

Son dispositivos de agarre y sujeción, también conocidos como «manos», y que poseen la capacidad de sujetar, orientar y operar sobre las piezas manipuladas. En ocasiones, en lugar de un dispositivo de agarre se coloca una herramienta, por ejemplo, en aplicaciones de soldadura y pintura.

C) Fuente de energía

Es la parte encargada de proporcionar fuerza y movimiento al robot; en un símil con el cuerpo humano, este elemento representaría los músculos. Está compuesto por sistemas motores, eléctricos paso a paso, dispositivos neumáticos e hidráulicos, motores eléctricos de corriente continua, etc. Estos sistemas proporcionan una energía mecánica que se transmite directamente o a través de elementos auxiliares, como engranajes, correas dentadas, etc.

procesador en dichos sistemas, han desembocado en la aparición de los miembros más jóvenes de los nuevos sistemas de producción automática: los robots industriales.

Elo ha implicado importantes mejoras en la productividad industrial y en la homogeneidad de la calidad de los productos fabricados y, paralelamente, hace posible también la mejora en las condiciones de trabajo, disminuyendo los riesgos de accidentes y las enfermedades profesionales, al liberar a los operarios de determinados trabajos penosos y en medios tóxicos. Sin embargo, por otra parte, los robots industriales (R. I.) presentan a su vez riesgos especiales, que es preciso tener en cuenta.

En esta exposición se van a mostrar las soluciones que General Motors España ha dado a uno de los aspectos de la robotización: los sistemas de seguridad en la utilización de robots industriales.

Las instalaciones robotizadas de General Motors España fueron diseñadas con sus actuales dispositivos de seguridad en 1980-81 y puestas en servicio en agosto de 1982, coincidiendo con el inicio de la producción en factoría. Los principios que se enuncian son válidos para cualquier tipo de robots, y en nuestro caso están aplicados sobre líneas de soldadura por puntos con

Los robots industriales disminuyen los riesgos de accidentes y las enfermedades profesionales.

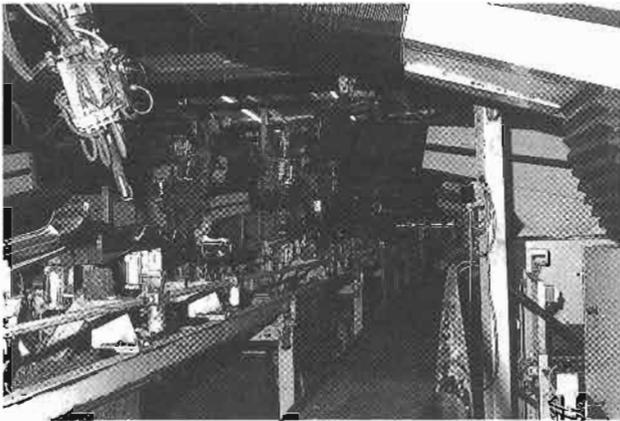
robots UNIMATE 9006 con seis grados de libertad e hidráulicos.

ROBOT INDUSTRIAL

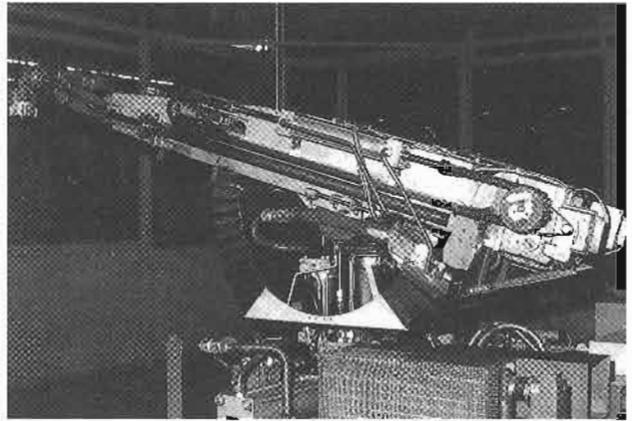
Un R. I. es un manipulador de posición controlada, multifuncional, reprogramable, con un número de grados de libertad, capaz de manejar materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, mediante movimientos variables programados, para realizar diversas tareas.

Esta definición nos dice que los R. I. tienen:

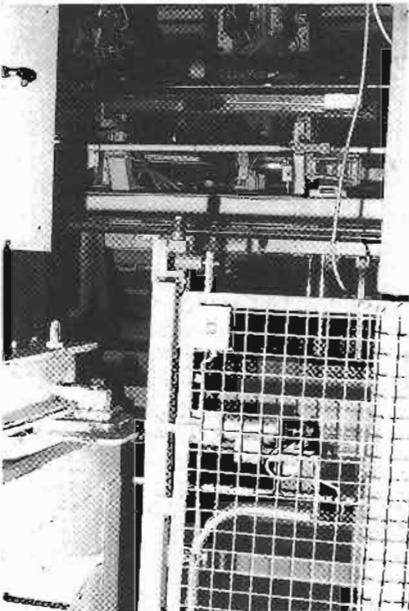
- Capacidad de aprendizaje de un trabajo (flexible).
- Facultad de tratamiento de la información (automático).
- Posibilidad de modificar su aprendizaje tipo (flexible).
- Facultad de análisis de su entorno, gracias a los sensores (adaptable).



Interior de la línea de ensablado de laterales



Robot Industrial sin herramienta, en el taller de reparación.



Puerta de acceso al interior de la línea robotizada, con cerradura electromagnética y sensor de posición.

La unidad de control

Es un sistema electrónico capaz de recibir información de un operador sobre el trabajo a realizar (programa), almacenarlo y de acuerdo con esta información y la recibida del entorno, por medio de los sensores, generar ordenadamente las señales de mando adecuadas para el conjunto del manipulador.

Según el concepto de manipulador antes descrito, el sistema de control debe «controlar» el movimiento del mecanismo producido por la variación en el tiempo de los grados de libertad (generalmente seis). Ahora bien, es preciso tener en cuenta que este problema es, de hecho, muy complejo, debido a que las propiedades cinemáticas y dinámicas del robot varían con la posición.

Existen diferentes técnicas de control aplicadas a robots: en efecto, se puede controlar únicamente la posición 0, también, la velocidad («control cinemático»). Si, además, se tienen en cuenta las propiedades dinámicas del manipulador y de los motores, aparece el denominado «control dinámico». En el caso de considerar también la variación de los parámetros del robot con la posición, surge el «control adaptativo».

Los sistemas sensitivos (sensores)

Los sensores son los elementos que informan al robot de su estado interno y externo. Los sensores internos detectan la posición y estado de los órganos móviles, mientras que los externos captan datos sobre el entorno.

Terminología

En este apartado enumeraremos y definiremos un conjunto de términos correspondientes a datos característicos de los robots industriales. Dichos términos son:

El **campo de trabajo** se define como el espacio que abarca el robot, con su estructura complementamente extendida.

Los **grados de libertad** son los movimientos elementales independientes de que dispone el robot. Por lo general, hoy en día, se usan robots de seis grados, tres para determinar la posición espacial y otros tres para la orientación.

La **carga de trabajo** corresponde a la máxima carga que admita el robot, incluida la masa del elemento terminal.

La **exactitud** nos da la aproximación con la que el robot puede alcanzar un objeto o punto determina-

Con excepción de las proyecciones, los accidentes producidos por riesgos específicos de los Robots Industriales se producen con la presencia de operarios en el campo de trabajo y movimientos indeseados de los Robots Industriales.

do. Depende de la estructura mecánica, de los sensores y de los actuadores. Cuanto más rígida sea la estructura, más preciso será el robot.

La **repetitividad** nos indica la aproximación con la que el robot puede repetir una operación de ir a un punto del espacio.

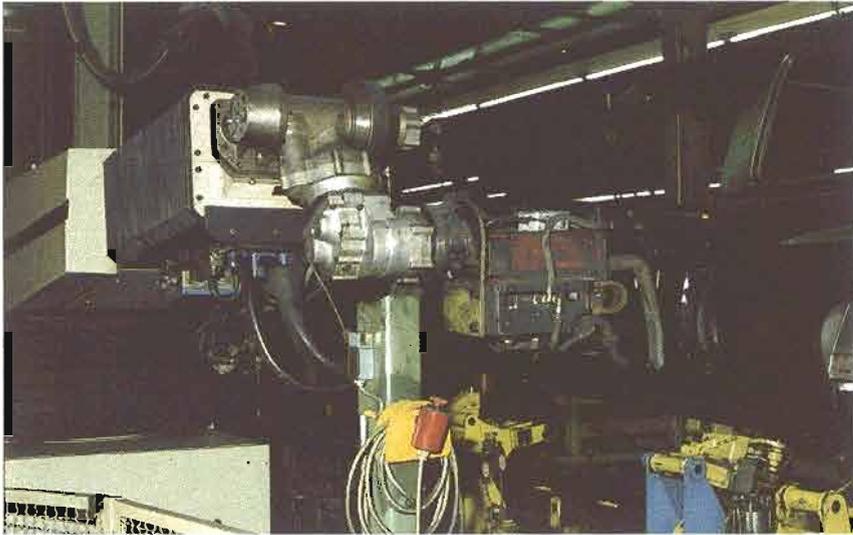
La **fiabilidad** es el tiempo de funcionamiento correcto que garantiza el fabricante.

La **velocidad** representa la magnitud de movimiento en cada uno de los ejes de articulación o desplazamiento.

La **Entrada/Salida** indica el número de posibilidades de conexión con el exterior. Debe definirse el tipo de señal a conectar, es decir, si es digital o analógica.

La **unidad de control** corresponde al sistema electrónico usado para el tratamiento de datos del robot.

El **tipo de programación** nos dice el método que disponemos para enseñarle al robot los trabajos que tiene que ejecutar.



Robot trabajando. El 50% de las averías se localizan en la herramienta.

El sistema de potencia es la fuente de energía de alimentación del robot. Este nos limita las posibles aplicaciones del mismo.

Tipos de robots

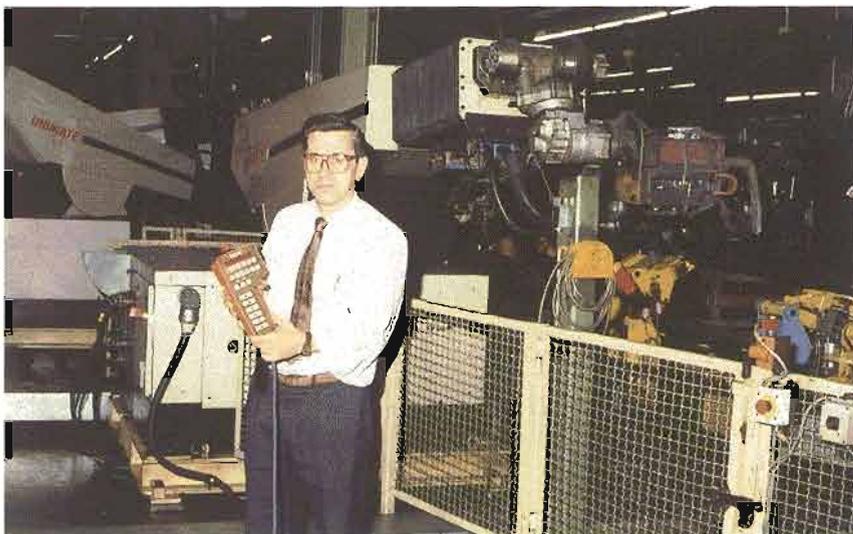
En la actualidad no existe un criterio común que permita realizar una clasificación de los robots industriales válida para todos los usuarios.

Por lo general, estas clasificaciones se hacen en base a la estructura mecánica, el accionamiento y el tipo de programación.

La clasificación en base a la estructura mecánica nos indica el tipo de coordenadas en que trabaja el robot, pueden ser: cartesianas, cilíndricas, angulares, polares o mixtas.

El accionamiento nos dirá la fuen-

La protección individualizada de cada Robot Industrial, y del resto del equipo de una instalación robotizada, combinada con la existencia de zonas de reparación para cada Robot Industrial, hace posible reparar en condiciones seguras la mitad de las averías de la línea sin necesidad de parar la misma. Evitando que la seguridad no choque con la productividad.



El técnico está situado en la zona de reparación, sólo accesible para un robot. Tiene en sus manos el elemento programador.

te de alimentación del robot; en base a este parámetro se clasifican en: eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

Segun el tipo de programación, podemos agruparlos como: manual o directa, por brazo de programación, por telemando, por computador y pupitre o de programación remota.

ACCIDENTABILIDAD EN INSTALACIONES CON ROBOTS INDUSTRIALES

En este apartado vamos a referirnos al riesgo de accidente originado por el hecho de introducir el R. I. y no del riesgo del proceso productivo ni de los riesgos del robot, idénticos a los originados por máquinas convencionales (electricidad, etc.).

Riesgos más frecuentes

- Colisión entre hombre-robot. Debido a que aquél está dentro del campo de trabajo del R. I.
- Atrapamiento. El hombre está dentro del campo de trabajo del R. I. y con elementos fijos de la instalación a su alrededor.
- Proyecciones. Una persona puede ser alcanzada por una pieza soltada por el R. I.

Fuentes de riesgo

- Errores del sistema de control. Fallos intrínsecos de la unidad de control, fallos en el programa (software).
- Acceso no autorizado. Violación de normas o sistemas de seguridad.
- Errores humanos. Especialmente peligrosos durante los trabajos de programación o mantenimiento por la posible existencia de operarios dentro del campo de trabajo del R. I.
- Fallos eléctricos, hidráulicos o neumáticos. Acciones inesperadas por defectos o incorrecto funcionamiento de los elementos de control o transmisión, válvulas de control o suministro de fluido hidráulico.

Estudio de accidentabilidad

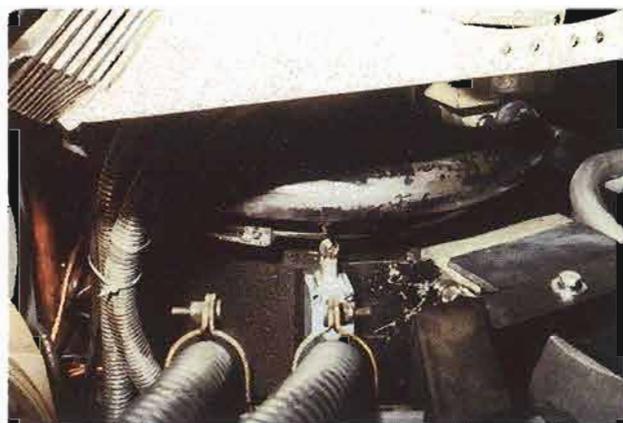
Tanto el primer estudio sobre accidentabilidad en instalaciones con R. I., realizado en Suecia el año 1979, como otro llevado a cabo por el Instituto de Investigaciones de Seguridad en el Trabajo de Tokyo y las infor-

maciones procedentes de GMC, nos permiten afirmar que pocos accidentes ocurren durante el proceso normal de producción (sistema en automático), alrededor del 10 por 100, mientras que la mayoría de accidentes ocurren en aquellas operaciones que precisan la presencia de algún trabajador dentro de la zona de trabajo del R. I., como son trabajos de programación, ajuste, cambio de herramientas, mantenimiento, etc.

Una observación detallada de la mencionada encuesta japonesa corrobora dicha afirmación.

	Porcentaje
— Movimiento erróneo del robot industrial durante el trabajo en automático ...	5,6
— Defectos en equipos auxiliares durante el trabajo en automático	5,6
— Falso movimiento del robot industrial en la programación	16,6
— Defectos en equipos auxiliares en la programación	16,6
— Falso movimiento del robot industrial en control manual	16,6
— Acceso en el área de trabajo de personas no autorizadas	11,2
— Fallo humano en la instalación, ajuste y reparación	16,6
— Otras causas	11,2

En relación con el 10 por 100 de accidentes ocurridos con las instalaciones robotizadas en automático, en todos los casos conocidos por este autor en las plantas de General Motors Corporation (USA), los operarios estaban dentro del campo de trabajo de los R. I. o existía una desincronización entre éstos y el resto de la instalación (en GM España no se ha registrado ningún accidente con R. I.).



Detalle del final de carrera que limita el ángulo de giro del eje 1 (barrido horizontal).

Los sistemas de seguridad que actúan sobre el sistema electrónico del Robot Industrial o su software no garantiza que no se produzcan movimientos indeseados de aquel. Se debe actuar sobre el sistema de potencia del Robot Industrial por medio de relés o elementos mecánicos con seguridad al fallo.

SISTEMAS DE SEGURIDAD

Informe de la Asociación Internacional de Inspectores de Trabajo

En 1987, la A.I.I.T. realizó un informe sobre Robótica y Seguridad, basándose en respuestas dadas a un cuestionario y a visitas realizadas a USA, Suecia y Japón. Las conclusiones obtenidas fueron que las fases más peligrosas son la programación y el mantenimiento, y los riesgos más frecuentes, los golpes y atrapamientos con el mismo R. I. Las medidas de seguridad propuestas tras el estudio de las respuestas al cuestionario son las siguientes.

Diseño

- El robot ha de estar bien equilibrado y debe ser todo lo ligero

posible, con objeto de reducir las fuerzas de inercia.

- Después de una parada de emergencia, debe haber un procedimiento para la nueva puesta en marcha del robot, que garantice el correcto funcionamiento de todos los sistemas.
- Los robots deben estar dotados de frenos en los ejes, para poderlos detener rápidamente permaneciendo estables.
- Los dispositivos programables utilizados por el operador para mover el robot deben ser diseñados ergonómicamente.
- Los mandos del dispositivo programable deben ser del tipo de presión continuada para que, cuando se suelten los botones, el robot se pare. Durante el uso del dispositivo ha de resultar imposible el funcionamiento del robot desde ningún otro lugar.
- Cuando se utilicen dispositivos programables, deben estar dotados de un dispositivo de parada de emergencia.
- Debe haber medidas de protección especiales para los robots que hayan de trabajar en ambientes duros, como pueden ser atmósferas explosivas o inflamables o áreas contaminadas con ruido eléctrico.
- Los cables del mando de programación deben estar protegidos contra daños accidentales.
- Las pinzas de trabajo deben diseñarse de forma que no suelten las piezas en caso de corte de alimentación.
- Para utilizar y mantener los robots con seguridad se necesita una documentación completa en las lenguas apropiadas.
- Hay que garantizar una formación adecuada de los usuarios, incluidos aspectos de seguridad.
- Deben desarrollarse sensores pa-



Consola de dos robots. Los conmutadores de llave para intercondensar los Robots Industriales están a la derecha.

ra la identificación de objetos dentro del radio de funcionamiento del robot.

Uso y mantenimiento

- Deben preverse dispositivos de seguridad cuya función no se anule con el mantenimiento.
- Hay que garantizar que se anotan meticulosamente todas las modificaciones del programa, y que son realizadas únicamente por personas con conocimientos y autoridad suficiente.
- Debe llevarse un registro detallado de todas las anomalías de funcionamiento, e informar al fabricante de todas aquellas cuya causa no se pueda identificar.
- Hay que garantizar que, en caso necesario, la maquinaria auxiliar o contigua está aislada antes de emprender actividades de mantenimiento, si dicha maquinaria puede suponer un riesgo para el operario.
- Es preciso indicar el área de movimiento del robot marcando el suelo (en GME creemos que es mejor que dicha área esté vallada).
- Hay que instalar paradas mecánicas que limiten el movimiento del R. I. al requerido por la tarea.
- Deben establecerse programas de formación y mantenimiento para garantizar que se comprenden los procedimientos de uso seguro.
- Los mandos del R. I. deben situarse en un lugar tal que se impida su manipulación casual o inadvertida.

Principios de seguridad para Robots Industriales

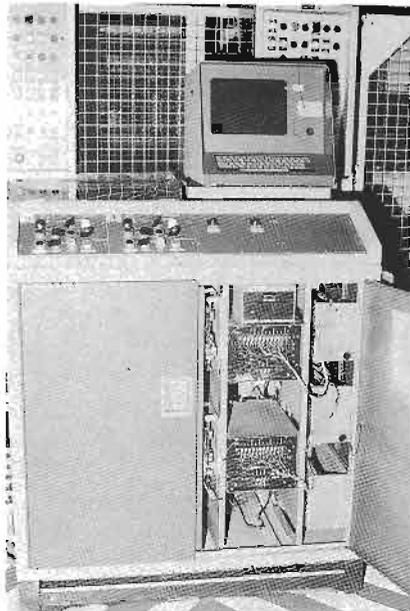
Del estudio del funcionamiento de los robots y de las necesidades productivas se deduce que las operaciones a proteger son: trabajo en automático (producción), trabajo de mantenimiento y trabajo en programación. Para ello deben tenerse en cuenta las siguientes reglas de oro:

«Cualquier sistema de seguridad que se utilice no debe entrar nunca en conflicto con la productividad de forma directa o indirecta, ya que de lo contrario será finalmente abortado.»

«Hay que proteger al operario de sus propios errores.»

Las normas a seguir al diseñar los sistemas de seguridad son:

- a) El sistema de seguridad debe ser diseñado con seguridad positiva (o seguridad al fallo).



Interior de la consola del robot. Señalado el pulsador para poder mover el robot fuera de su campo de trabajo.

El 10 por 100 de los accidentes se producen con el Robot Industrial en producción (automático), y el 90 por 100 restante en las operaciones de mantenimiento y programación. Estos datos recalcan la importancia de diseñar sistemas y procedimientos seguros de mantenimiento y programación, así como la formación de los operarios de mantenimiento.

- b) Durante el trabajo en automáticos, toda la línea robotizada (robots o instalaciones auxiliares) debe estar físicamente aislada de cualquier persona, y si una persona accede a la zona de trabajo, el citado acceso debe accionar los dispositivos de seguridad, provocando la parada de la instalación.
- c) Los sistemas de seguridad eléctricos se realizarán con la técnica de contactos convencional.
- d) Durante el trabajo de mantenimiento, las instalaciones (R. I. o elementos auxiliares) sobre las que esté trabajando el operario estarán fuera de servicio con su fuente de energía desconectada. El operario tendrá una barrera física que le separe del área de trabajo del resto de la instalación que esté en funcionamiento o sin su fuerza de potencia desconectada.
- e) Siempre que la instalación esté en manual, los movimientos de la misma sólo se podrán realizar a velocidad lenta y por partes de la misma, con pulsadores, sólo con movimientos únicos y no secuenciales.
- f) Si durante la programación o la comprobación de la misma un operario debe permanecer en el área de trabajo del robot, las instalaciones auxiliares y todos los robots de la instalación estarán parados y su energía desconectada. La programación se realizará con el elemento programador, el cual tendrá un seguro de hombre muerto y un pulsador de emergencia.
- g) La puesta en marcha de una instalación robotizada se realizará mediante conmutadores de llave y manejados por personal entrenado y con autorización específica.

SISTEMAS DE SEGURIDAD EN G. M. ESPAÑA

El sistema que vamos a describir es aplicado en una línea robotizada para la soldadura por puntos de subconjuntos o carrocería completa; dicha línea de robots está formada por las siguientes partes:

- Alimentación de piezas.
- Estaciones de soldadura.
- Estaciones robotizadas.
- Elementos de transporte.
- Estación de salida.

La alimentación de piezas o estación de entrada puede ser automáti-

ca o semiautomática. En el primer caso, las piezas se introducen a la línea mediante *conveyors*: en las semiautomáticas es un operario quien suministra las piezas a la línea, a través de una o varias estaciones.

Las estaciones de soldadura, por lo general, están formadas por máquinas transfer de soldadura, con mesas elevadoras. En estas estaciones se realizan operaciones previas (premontajes), de cara a que las estaciones robotizadas puedan hacer su trabajo.

Las estaciones robotizadas constan de uno o varios robots, así como de los elementos necesarios para la fijación de las piezas sobre las que se va a realizar la operación.

Cada una de estas estaciones posee un cuadro eléctrico de control independiente, y cada estación o conjunto de ellas está controlada por un autómatas que determina la secuencia de trabajo en función del estado en que se encuentran los elementos de la estación. Todos los autómatas envían señales de su estado a un autómatas central, que es quien gobierna el transporte de la línea, ubicado en el armario central de mando de la línea.

A la vista de esto, podemos apreciar que entre las consolas de los robots y la línea existe un intercambio de información: el robot informa del estado en que se encuentra y el autómatas lo recibe como un conjunto de señales más de la propia estación, por lo que el autómatas conoce el estado del robot (mando conectado, hidráulica conectada, modo automático o manual o paro) y si se encuentra en posición inicial/final de ciclo o si está parado (*hold*), pero no conoce en qué parte de su recorrido de programa se encuentra.

La puesta en marcha o arranque después de una parada de línea siempre se hace desde el pupitre central de mando.

Protección para trabajo en automático (producción)

Se usa la protección individualizada de cada robot y del resto de la instalación. Con este método se consigue que la reparación de un robot no implique la parada de toda la línea de producción, criterio que está más acorde con las necesidades productivas reales de la industria. En este tipo de diseño tendremos que prevenir los siguientes riesgos.

- Riesgos generados por el propio robot.

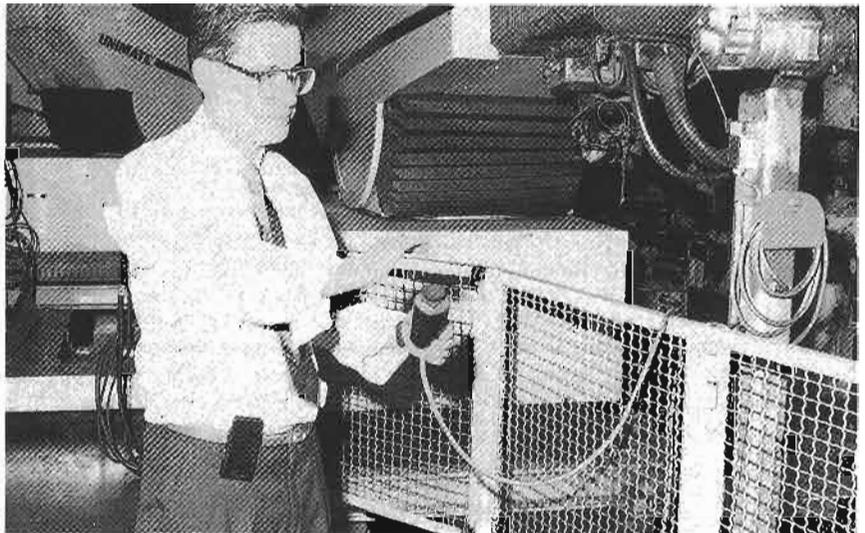
La puesta en marcha de una instalación robotizada se realizará mediante conmutadores de llave y manejados por personal entrenado y con autorización específica.

otra valla de color amarillo que impide el acceso a las zonas de trabajo de cualquier parte de la instalación. Entre ambas vallas se ubican las llamadas zonas de reparación.

Las vallas amarillas tienen unas puertas con un enclavamiento eléctrico, para permitir el acceso al interior de la línea en condiciones seguras. Si un robot tiene un fallo en su sistema de control y tiende a salirse del interior de la zona delimitada por las vallas amarillas, un enclavamiento eléctrico actúa sobre su sistema de potencia, dejándole sin energía y parándolo. Por ello, al no haber nadie en la zona de trabajo del R. I., cuando se está en producción es imposible el accidente.

Para entrar en el interior de la línea robotizada hay que realizar los pasos siguientes:

- Desde la consola de la línea pasar ésta, con un interruptor de llave, de automático a manual. Se bloquean los elementos auxiliares de toda la línea.



Paro de emergencia flotante que puede ser usado tanto dentro como fuera de la línea robotizada

- Riesgos generados por los robots adyacentes.
- Riesgos generados por las instalaciones auxiliares.

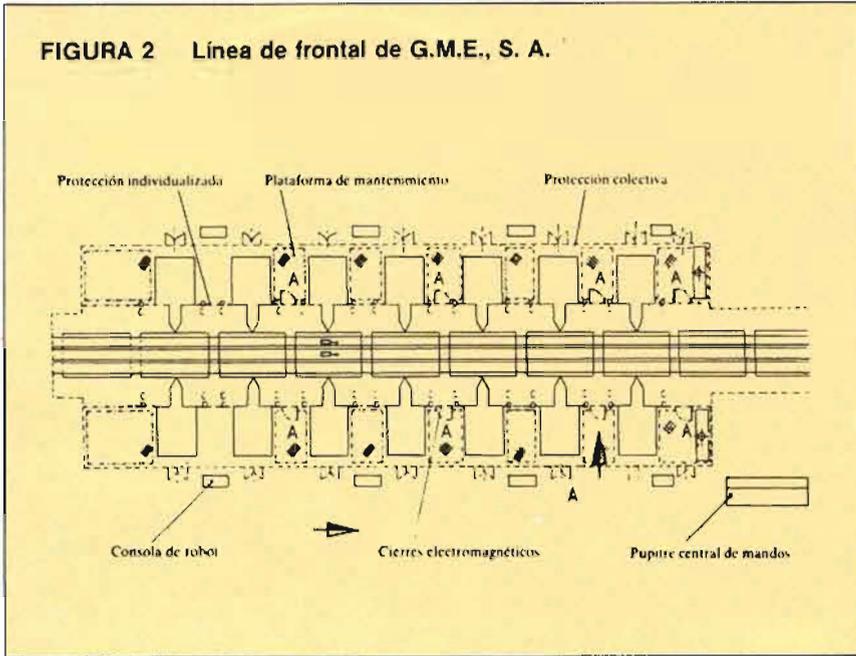
Por lo tanto, en una instalación con robots con protección individualizada, se han definido unas adecuadas zonas de reparación para cada robot, en las cuales se han tenido en cuenta las tres fuentes de riesgo enumeradas anteriormente.

La línea robotizada tiene una valla de color verde con puertas de acceso libre, alrededor de esta valla está pintada una zona de color rojo que es de uso exclusivo de mantenimiento y posteriormente hay colocada

- Girar, mediante llave, el conmutador del cierre electromagnético existente en una puerta amarilla de acceso. Esta acción provoca que se queden sin potencia hidráulica todos los robots y, por lo tanto, sin posibilidad de movimiento. Una vez la consola central recibe información de que todos los robots están sin potencia hidráulica, el cierre electromagnético queda liberado, permitiendo el acceso al interior de la instalación.

Como protección adicional se utiliza un interruptor en forma de horquilla con imán permanente sinterizado para garantizar el paso a la ins-

FIGURA 2 Línea de frontal de G.M.E., S. A.



talación si falla la cerradura electromagnética.

Para reanudar la producción hay que realizar las operaciones anteriores en orden inverso.

En todas las consolas de los R. I., cuadros eléctricos de las estaciones, consola principal de la línea, y distribuidos de forma flotante, existen puntos de paro de emergencia cuyo accionamiento bloquea toda la instalación, incluyendo los R. I., actuando sobre el sistema de potencia. Para poner en marcha la línea tras un paro de emergencia, tienen que estar todas las vallas cerradas, la consola central rearmada (interruptor de llave) y rearmar todos los R. I. (interruptor de llave) desde su consola individual.

Protección para trabajos de mantenimiento

Los trabajos de mantenimiento en una línea robotizada pueden ser sobre los robots o sobre el resto de las instalaciones auxiliares.

Trabajo sobre los robots

Para realizar estos trabajos y que el resto de robots sigan funcionando, necesitamos unas zonas de reparación y evitar los movimientos erráticos del robot.

A) Zonas de reparación

Según nuestra experiencia, el 60 por 100 de tiempo de parada de una

línea con 6 robots, corresponde a averías propias del robot, siendo el 40 por 100 restante averías originadas por elementos auxiliares o ajenos al robot (transportador, mesas de fijación, PLC...). Estos tipos de averías implican la parada de toda la línea, con lo que durante el proceso de reparación son aplicables para los elementos auxiliares los sistemas tradicionales de seguridad, mediante enclavamientos o desconexiones de la alimentación de energía.

Por lo tanto, las zonas de reparación van a ser aplicables para las averías propias del robot, de las cuales, en un robot UNIMATE 9006 (con transformador en cabeza), el 85 por 100 de las veces la avería está localizada en la cabeza del robot (transformador, pinzas, electrodos,...) y es en estas averías donde son aplicables las zonas de reparación, que deben cumplir como requisitos:

1. Estar aislada físicamente, mediante vallas, del resto de órganos móviles auxiliares de la instalación.
2. Ser inaccesible para el robot en funcionamiento automático.
3. Ser inaccesible para los robots adyacentes en funcionamiento automático (fig. 2)

En el primer caso, la altura de las vallas puede estar condicionada por la cota de trabajo del propio robot. En estos casos, en función de la posible altura de la valla, debemos separar ésta de los órganos móviles, de acuerdo con la norma DIN 31.001.

En los casos 2 y 3 el no acceso, tanto del propio robot como de los robots adyacentes a la zona de repa-

ración, en funcionamiento automático, está doblemente asegurado por los sistemas de seguridad intrínsecos de cada robot:

- Por el software del robot (programa).
- Mediante finales de carrera.

Los finales de carrera delimitan el ángulo de giro del eje 1 (barrido horizontal) y tienen como objeto que en el caso de que un robot se saliese del programa, al accionar los finales de carrera se cortaría el suministro de energía al robot. Deben ir dispuestos posteriormente a los límites de programa y antes de los topes físicos del robot. Y el sector que delimita el tope físico y el final de carrera (límite eléctrico) es donde debe situarse la zona de reparación (fig. 3).

B) Control de potencia

Uno de los mayores problemas que se le plantea a la seguridad en materia de robots industriales es la prevención de movimientos erráticos o no deseados del robot, cuando dentro de su radio de acción existen operarios.

Para evitar los arranques imprevistos de un robot, se pensó colocar finales de carrera en la posición de final de ciclo, de forma que cuando el robot abandonase esa posición sin ser requerido se desconectase la alimentación de energía del robot. Sin embargo, este sistema presenta varios inconvenientes:

- Para acceder a la zona de trabajo todos los robots debían de estar en la posición final de ciclo, por tanto no se resolvía el problema del robot que se para durante su ciclo de trabajo.
- Seguía sin protección el operario que movía mediante la botonera manual el robot, puesto que en este caso las señales de la botonera manual también son señales que ejecuta el microprocesador.

Por estas razones se optó por una solución ajena al software del robot y que estuviese incluida dentro del sistema de potencia del propio robot. Esta solución tiene como principios:

- a) La velocidad del robot, cuando éste se encuentre en manual, no podrá exceder del 12 por 100 con respecto a la velocidad de ciclo.
- b) El control de que no se supere esta velocidad se efectuará mediante una restricción del caudal de energía.

Estos principios son válidos, inde-

pendientemente del tipo de energía de la que se sirva el robot, hidráulica, eléctrica o neumática. Pasemos a desarrollar su funcionamiento para el caso de una alimentación hidráulica.

La válvula de restricción de caudal (VRC) debe estar colocada entre el grupo hidráulico y las servoválvulas del robot, en el conducto de alimentación.

La VRC consta de un solenoide que en posición de excitado permite el paso del caudal máximo de líquido hidráulico a las servoválvulas, según las demandas necesarias para efectuar el programa.

El solenoide de la VRC está controlado por un relé, cuya caída provoca el bloqueo del conducto general de alimentación hidráulica, quedando, como único paso posible de líquido hidráulico a las servoválvulas, un pequeño conducto con una válvula mecánica tarada (VMT) de forma que sólo permita el 12 por 100 de la velocidad de ciclo. Si las servoválvulas demandasen mayor caudal de líquido hidráulico se produciría un bloqueo en el conducto por parte de la VMT, dejando sin alimentación hidráulica a las servoválvulas, lo que provoca la parada del grupo hidráulico.

C) Condiciones de seguridad en la zona de reparación

Para poder llevar un robot hasta la zona de reparación, según el sistema planteado hasta el momento, sería

La comprobación del programa se realiza a velocidad normal de funcionamiento. El elemento programador «teach pendant» tiene un seguro de hombre muerto que hay que mantener apretado durante la verificación. Si se suelta, actúa el sistema de control de protección que deja sin fuerza hidráulica al Robot Industrial parándolo de forma instantánea.

necesario realizar los siguientes pasos:

a) Independizar el robot del resto de la instalación.

Mediante un conmutador de llave anulamos el robot de la consola central, de forma que el resto de la línea pueda seguir su trabajo en automático, ya que si no recibe el PLC señal de todos los robots no continúa el ciclo automático.

b) Colocar el robot en manual

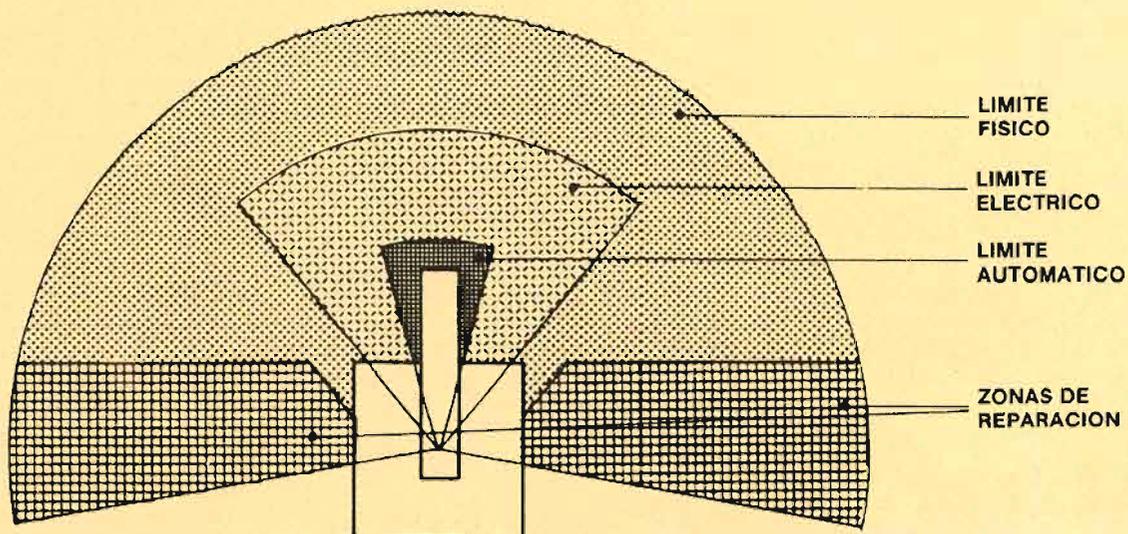
Desde la consola del robot y mediante conmutador pasamos el robot de automático a manual. En este momento entra en funcionamiento la válvula de restricción de caudal, al tiempo que el software del robot recibe la señal para que se reduzca la velocidad.

c) Desplazamiento del robot

Mediante la botonera manual (*teach pendant*), llevamos el robot hasta la zona de reparación. La botonera manual sólo permite el movimiento de un eje al mismo tiempo. Cuando el robot alcance los finales de carrera eléctricos que delimitan la zona de trabajo en automático, éstos enviarán una señal a la válvula de descarga dejando sin potencia el brazo del robot. Esta señal es continua siempre que el robot esté fuera de los límites eléctricos.

Para poder seguir desplazando el robot es necesario pulsar continuamente un botón situado en la conso-

FIGURA 3 Espacio accesible al robot



La programación de un robot se realizará con las puertas de las vallas abiertas y en manual, usándose el Teach pendant o elemento programador del robot.



«Teach Pendant» o elemento programador con seguro de hombre muerto y paro de emergencia.

la del robot. Una vez alcanzada la posición para reparar el robot y soltado el botón de la consola, el brazo queda sin potencia, procediéndose a su reparación.

Para realizar estas operaciones el operario permanece fuera de la valla de protección, y que la reparación la efectúa fuera de los límites de la valla.

La posición fuera de las vallas es un lugar que está alejado del radio de acción de todos los robots circundantes, y separado del transportador por las vallas que delimitan la zona de trabajo en automático (producción). Por lo tanto los riesgos derivados de los robots circundantes y del transportador no existen en este sistema. Los riesgos derivados del robot que se está reparando se eliminan con las operaciones indicadas en los puntos 1, 2 y 3 de este apartado.

Trabajos en el interior de la línea con Robots Industriales.

Ya ha sido descrita la forma de entrar y estar de forma segura en el interior de la línea con R. I., en la seguridad para trabajo en automático.

Protección para trabajos de programación

La programación de un robot se realiza con las puertas de las vallas

abiertas y en manual, usándose el *teach pendant* o elemento programador del robot; o sea, es la situación descrita en el apartado «Trabajos en el interior de la línea con R. I.».

Dentro de las operaciones de programación, hay una que merece comentario separado y es la comprobación de programa. No siempre es posible el poder esperar a que un robot realice el primer ciclo para poder comprobar si su programación ha sido correcta, por ejemplo, en aquellos casos en que el robot se mueve dentro de espacios muy reducidos, o varios robots sobre un mismo punto de trabajo. En estas ocasiones, debido a que los robots han sido programados a un 12 por 100 de su velocidad, al realizar el ciclo aparecen fuerzas de inercia que pueden variar sustancialmente la trayectoria del robot, con los consiguientes daños materiales; por ello, la comprobación del programa debe realizarse con el robot a velocidad normal de funcionamiento (el resto de la línea permanece en manual), con las puertas de la valla abiertas y el operario próximo con el *teach pendant* en sus manos. Al estar las puertas abiertas existe una señal de restricción de caudal proveniente de la misma que limita la velocidad del robot.

El *teach pendant* (ver foto) dispone de dos pulsadores de seguridad, uno en su lateral izquierdo, que es un seguro de hombre muerto y

que durante la verificación del programa el operario tiene que mantener apretado permanentemente, ya que anula la señal proveniente de la puerta y por lo tanto hace que el robot trabaje en automático (velocidad real). En el caso de que este pulsador se suelte, se corta la fuerza de alimentación del robot y cae la hidráulica, parándose el robot, esto hace que si el robot realiza un movimiento extraño, el operario no tiene más que soltar el pulsador de hombre muerto para su protección.

Además de este seguro de hombre muerto, el *teach pendant*, en su parte frontal, dispone de un paro de emergencia, que apretándolo también desconecta la potencia hidráulica.

CONCLUSIONES

Para obtener éxito en materia de seguridad con los Robots Industriales, es necesario un profundo conocimiento de los equipos, una correcta planificación de la seguridad y una estricta observación de las normas relacionadas con ésta, amén de una adecuada formación en relación con estos temas.

En el caso de GME, hubo una estrecha colaboración entre los Departamentos de Ingeniería y Seguridad para el diseño, implantación y recepción de las instalaciones robotizadas, para evitar la necesidad de modificaciones posteriores que originan altos costes, pérdidas de producción y riesgo de accidentabilidad.

La formación de los operarios de mantenimiento consistió en seleccionarlos con una formación básica de Formación Profesional de 2.º Grado (mecánicos, eléctricos y electrónicos); estancia mínima de seis meses en las fábricas OPEL de Alemania para familiarizarse con el proceso de una planta de automóviles; participación en el montaje de los equipos, y cursos de perfeccionamiento en automatismos, autómatas, microprocesadores y neumática/hidráulica.

Antes de la implantación de los robots en las líneas de producción, se acondicionó un área de pruebas donde fueron probados todos los robots antes de su incorporación a la línea, mediante un test de 150 horas de trabajo y a uno de ellos se le sometió a un test de 1.000 horas. Esta experiencia, altamente positiva, permitió la adaptación y familiarización del personal de mantenimiento a la nueva tecnología, así como el estudio de fallos repetitivos, análisis de ellos y posibles modificaciones. ■