

SISTEMA DE SEGURIDAD EN LINEAS ROBOTIZADAS

Ernesto SANCHO ULLDEMOLINS

Ingeniero Industrial
General Motors España

INTRODUCCION

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 exigen, continuamente, 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 exigen 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 adaptables, fácilmente, a las variaciones de producción. Los robots industriales son los miembros más jóvenes de los nuevos sistemas de producción automáticos.

En este trabajo se pretende mostrar un modelo de sistemas de seguridad en la utilización de robots industriales, basado en la experiencia de General Motors España. Los principios que se enuncian son válidos para cualquier tipo de robots y en nuestro caso están aplicados sobre líneas de soldadura con robots UNIMATE 9006 con seis grados de libertad e hidráulicos.

ANTECEDENTES

La palabra "robot" fue creada en 1920 por el escritor checo KAREL CAPECK en una de sus obras de teatro "R.U.R." (Los Robots Universales de Rossum), para denominar a un obrero artificial que era capaz de llevar a cabo todos los trabajos que normalmente ejecuta el hombre.

El pionero de los robots industriales fue GEORGE DEVAL, quien después de estudiar los métodos productivos, pensó en una máquina universal capaz de rea-

lizar una cantidad de trabajos de atención a máquinas con movimientos repetitivos y que se pudiese adaptar a diferentes tipos de trabajo.

En 1958, G. DEVAL concedió los derechos de su patente a una firma americana que se convirtió en la actual UNIMATION INC., y para 1966 había 70 Unimates trabajando en fábricas de Estados Unidos.

Los objetivos de la robótica son:

- Aumento de la productividad.
- Incremento de la calidad media del producto.
- Asumir trabajos desagradables de hacer manualmente.
- Complemento para otras máquinas.
- Mejora de las condiciones de trabajo.

DEFINICION DEL ROBOT INDUSTRIAL

Existen varias definiciones, tales como la I.S.O., Robot Institute of America, etc., la dada por: "The Machine Tool Trades Association" nos define el robot industrial como: "Un manipulador de posición controlada, multi-funcional, 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".

Todas las definiciones se apoyan en unos puntos comunes:

- Capacidad de aprendizaje de un trabajo.
- Facultad de análisis de su entorno gracias a los sensores.
- Facultad de tratamiento de la información.
- Posibilidad de modificar su aprendizaje tipo.

La utilización de robots permite liberar al hombre de tareas rutinarias o desempeñadas en ambientes pocos favorables (calor, toxicidad, peligrosidad, ...), pero por contra nos genera unas nuevas situaciones de riesgo de accidentes propios de la nueva tecnología empleada.

PARTES CONSTITUYENTES

En un robot industrial se pueden diferenciar claramente cinco partes o elementos:

- Estructura mecánica.
- Elemento terminal.
- Fuente de energía.
- Sensores.
- Unidad de control.

La estructura mecánica

Es la parte que permite el contacto físico y constituye la geometría, armazón o esqueleto del robot.

Por lo general, el modelo de estructura es una cadena cinemática abierta, formada 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.

Estos pares de enlace o articulaciones pueden ser de dos tipos:

- a) Prismáticos.
- b) Angulares.

Los prismáticos son responsables de los movimientos de traslación del robot, mientras que los angulares dan lugar a movimientos de rotación.

El elemento terminal del robot está formado por el órgano de aprehensión y se llama pinza, mano o grapa. Según las necesidades, puede ser de formas muy variadas y específicas para cada trabajo.

La fuente de energía, también llamada actuadores del robot, es la parte encargada de proporcionar fuerza y movimiento al robot. En un símil con el cuerpo humano, este elemento representaría los músculos.

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 extremos captan datos sobre el entorno.

TERMINOLOGIA

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

- | | |
|----------------------|------------------------|
| • Campo de trabajo | • Velocidad |
| • Grados de libertad | • Entrada / Salida |
| • Carga de trabajo | • Unidad de control |
| • Exactitud | • Tipo de programación |
| • Repetitividad | • Sistema de potencia |
| • Fiabilidad | |

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

Los grados de libertad son los movimientos elementales independientes, 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 admite el robot. En esta carga está incluida la masa del elemento terminal.

La exactitud nos da la aproximación con la que el robot puede alcanzar un objeto o punto determinado. 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 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.

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. A pesar de ello podemos agruparlos según sus diferentes características y, en consecuencia, obtener diversas clasificaciones.

Por lo general, estas clasificaciones se hacen en base a:

- Estructura mecánica.
- Accionamiento.
- Tipo de programación.
- Configuración.

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.
- Mixtas.

El accionamiento nos dirá la fuente de alimentación del robot; en base a este parámetro se clasifica en:

- Eléctricos.
- Neumáticos.
- Hidráulicos.

Según el tipo de programación, podemos agruparlos en:

- Manual o directa
- Por brazo de programación
- Por telemando
- Por computador y pupitre
- Programación remota

(Ver figura 1)

ESTUDIOS DE ACCIDENTABILIDAD EN INSTALACIONES CON ROBOTS INDUSTRIALES

El primer estudio sobre accidentabilidad en instalaciones con Robot Industrial, fue presentado como resultado de una encuesta realizada por el Sindicato del Metal de Suecia. La encuesta realizada abarca 270 instalaciones de Robot Industrial. Las conclusiones del estudio fueron:

- Durante el período de encuesta, 1976, 1977 y la mitad de 1978, ocurrieron 15 accidentes y la descripción de los mismos indica que varios accidentes ocurrieron cuando el operador estaba dentro de la barrera en la zona de operación del Robot Industrial, para corregir defectos o efectuar trabajos de limpieza. El robot arrancó intencionadamente debido a errores de un compañero de trabajo o fallos eléctricos. En una ocasión, el operador entró dentro del área de trabajo durante la operación del robot para corregir un error.
- Los aplastamientos fueron las causas más frecuentes de los daños. Para incidentes, la respuesta de la encuesta no fue satisfactoria y, por tanto, no se registró.

El Instituto de Investigaciones de Seguridad en el Trabajo de Tokio, llevó a cabo una encuesta que dió las siguientes causas de accidentes:

- Movimiento erróneo del Robot Industrial en trabajo estacionario 5,6%
- Defectos en equipos auxiliares en trabajo estacionario 5,6%
- Falso movimiento del Robot Industrial en programación 16,6%

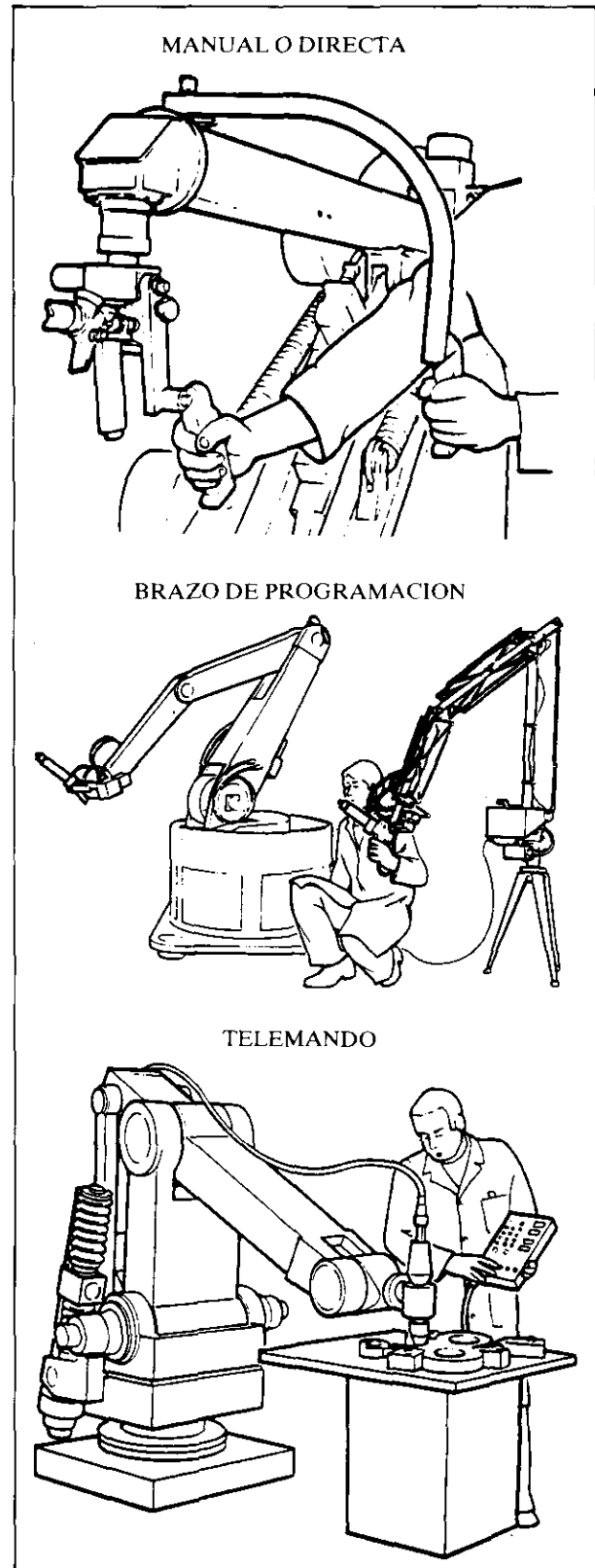


FIGURA 1

Dibujos originales cedidos por: THE MACHINE TOOL TRADES ASSOCIATION (MTTA)

- 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%
- Otra causas 11,2%

La encuesta citada da los siguientes resultados:

- El 64% de las respuestas indicaron que nunca habían tenido accidentes o incidentes con instalaciones de Robot Industriales.
- El 28% de las respuestas indicaron haber tenido incidentes en instalaciones con Robots Industriales.
- El 8% de las respuestas indicaron la existencia de accidentes.

Las conclusiones finales de la encuesta son que pocos accidentes ocurren durante el proceso normal de producción (sistema en automático), alrededor del 10%, mientras que la mayoría de accidentes ocurren en aquellas operaciones que precisan la presencia de algún trabajador dentro de la zona de trabajo del Robot Industrial, como son trabajos de programación, ajuste, cambio de herramientas, mantenimiento, etc.

Desde los principios de la robotización de las instalaciones hemos tenido noticias por la prensa de varios accidentes mortales. Estos datos son un poco confusos y algunas veces hacen referencia al mismo accidente dándole diferentes matices a la redacción de la noticia.

CRITERIOS DE DISTRIBUCION EN PLANTA

La distribución en planta de las líneas robotizadas es un punto crítico a la hora de planificar los sistemas de seguridad, puesto que una vez determinada, habremos prefijado el método de trabajo de mantenimiento sobre dichas líneas, que según se ha visto va a ser el departamento usuario de las instalaciones.

Dos opciones existen para proteger una línea de robots:

- Protección colectiva.
- Protección individualizada.

a). Protección colectiva

Consiste en considerar a todos los robots y el resto de las instalaciones auxiliares como un todo, bajo el punto de vista de seguridad. Lo cual implica que para actuar sobre un elemento de dichas instalaciones han de pararse todos y cada uno de los componentes de la línea. Esta solución suele estar en contraposición de las necesidades de una producción en serie, y puede ser aplicable para aquellos casos en que no pueda realizarse fuera de la línea (manualmente, programas alternativos...), el trabajo no desempeñado por un robot.

b) Protección individualizada (Ver figura 2)

Pretende este método el conseguir que la reparación de un robot no implique la parada de toda la línea de

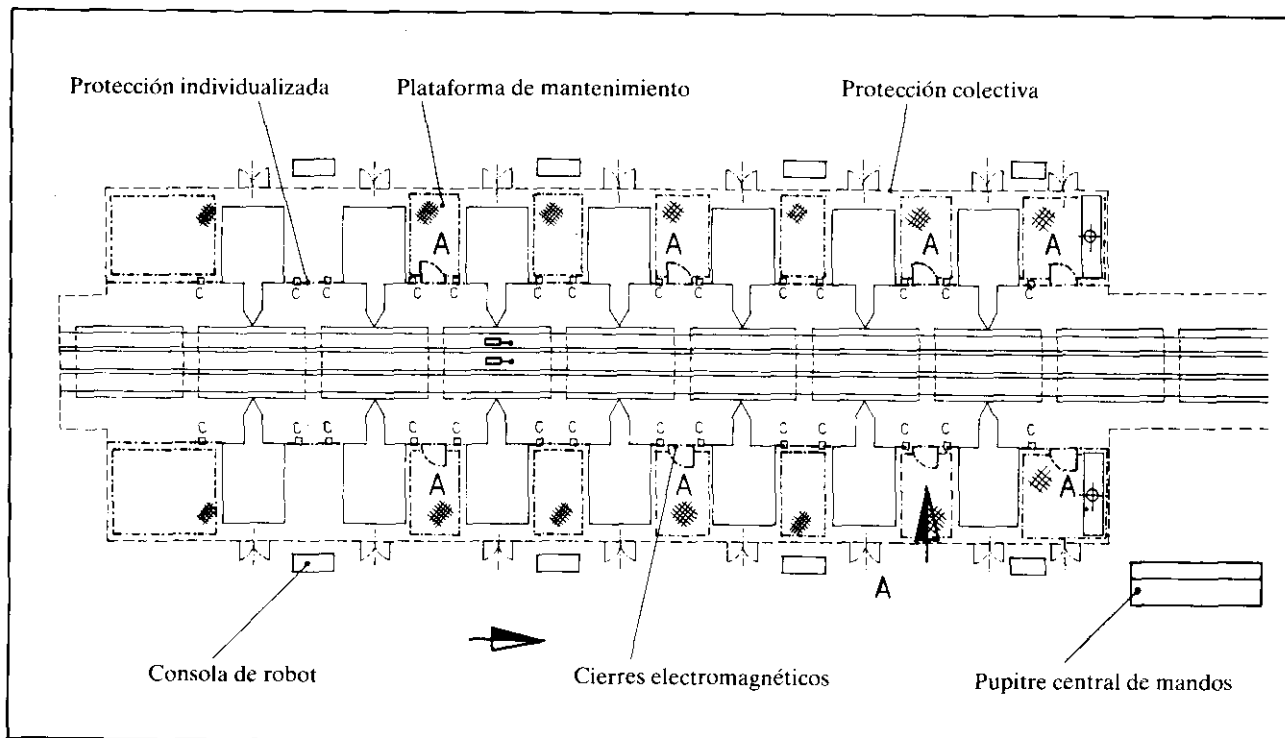


FIGURA 2 Línea de frontal de G.M.E.S.A.

producción. Este criterio 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.
- Riesgos generados por los robots adyacentes.
- Riesgos generados por las instalaciones auxiliares.

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

ZONAS DE REPARACION

Según nuestra experiencia el 60% del tiempo de parada de una línea con 6 robots, corresponde a averías propias del robot, siendo el 40% 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 potencia.

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

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

1. La altura de las vallas puede, en algunos casos, 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.

2. y 3. El no acceso, tanto del propio robot como de los robots adyacentes a la zona de reparación, en funcionamiento automático, está doblemente asegurado:

- 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 cortarían el suministro de potencia 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.

(Ver figura 3)

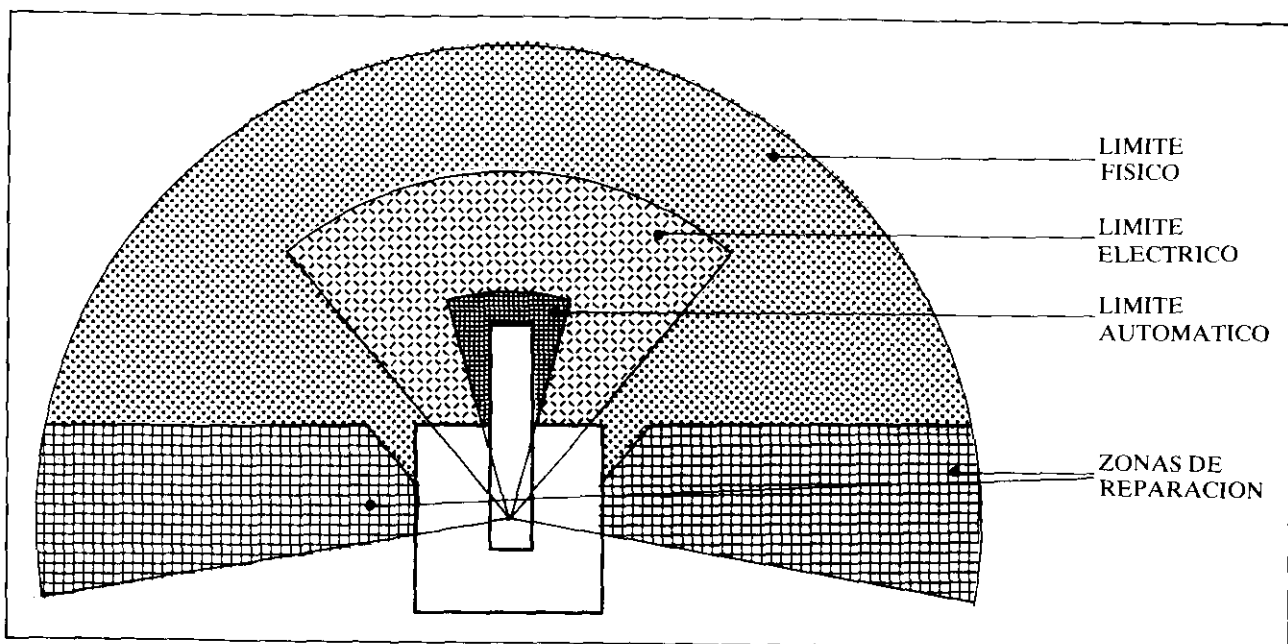


FIGURA 3

Para aquellos robots que tengan un sector de trabajo amplio o para aquellos que lo tengan girado hacia un lado, es aconsejable colocar la base de soporte del robot a una altura mínima de 1,50 m., para evitar que cuando giremos el robot para colocarlo en la zona de reparación, la trasera de robot nos entre dentro de la zona de trabajo del robot adyacente.

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 desconecta la alimentación de potencia 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. 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% con respecto a la velocidad del ciclo.**
- b) **El control de que no se supere esta velocidad, se efectuará mediante una restricción del caudal de potencia.**

Estos principios son válidos, independientemente del tipo de energía de la que se sirva el robot: hidráulica, eléctrica o neumática.

Se pasa 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 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% de la velocidad de ciclo. Si las servoválvulas demandan 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.

CONDICIONES DE SEGURIDAD EN LA ZONA DE REPARACION

Para poder llevar, un robot hasta la zona de reparación según el sistema planteado hasta el momento sería 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 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 consola del robot. Una vez alcanzada la posición para reparar el robot y soltado el botón de la consola, el brazo del robot queda sin alimentación de potencia. Procediéndose a la reparación del robot.

Hay que hacer constar que para realizar estas operaciones el operario permanece fuera de la valla de protección, y que la reparación la efectúa también fuera de los límites de la valla.

ACCESO A LA ZONA DE TRABAJO DE LOS ROBOTS

Este acceso es necesario para operaciones de:

- Mantenimiento de instalaciones auxiliares (transformador de mesas...).
- Programación

En ambos trabajos es necesaria la presencia de operarios de mantenimiento dentro del campo de trabajo automático de los robots. Por lo tanto es necesario fijar las condiciones suficientes de seguridad para permitir el acceso a la zona. Podremos distinguir dos tipos de instalaciones:

- Auxiliares (transformador, mesas elevadoras, ascensores,...).
- Robots.

Los movimientos no deseados de las instalaciones auxiliares están asegurados mediante métodos convencionales de caídas de relés al pasar la línea de automático a manual desde la consola central.

Sin embargo, al pasar al modo manual la línea, los robots siguen estando en automático, por lo que sólo se garantiza que desde la consola central no se va a emitir la señal de arranque de ciclo. Por lo tanto, para garantizar el no movimiento de los robots sobre los que no se desee actuar, se han colocado cierres electromagnéticos en las puertas de acceso y un sensor de posición de puerta. El método para entrar en la instalación sería:

- Desde la consola de la estación pasar de automático a manual. Bloqueo de los elementos auxiliares de toda la línea.
- En la cerradura del cierre electromagnético girar, mediante llave, el conmutador. Esta acción provoca la entrada en funcionamiento de las válvulas de restricción de caudal de todos los robots. Una vez que se ha obtenido la señal de confirmación de que todas las V.R.C. están en funcionamiento, el cierre electromagnético queda liberado, permitiendo el acceso del operario al interior de la instalación.

Por lo tanto la caída del relé que gobierna las V.R.C. puede provenir:

- Desde la consola de robot (Robot en manual).
- Desde los cierres electromagnéticos. (Línea en manual).

(Ver figura 2)

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% de su velocidad, al realizar el ciclo aparecen fuerzas de inercia que pueden variar sustancialmente la trayectoria del robot con los consiguientes daños materiales.

Para este trabajo, la experiencia ha demostrado que no es suficiente con comprobar un programa con la restricción de caudal, adoptándose la siguiente solución:

La comprobación de programa sólo es posible con el robot automático (el resto de la línea permanece en manual) y se realiza paso a paso. Pero como se ejecuta con la puerta abierta, la señal de restricción de caudal proviene de la puerta.

Se ha colocado en la botonera manual un pulsador de hombre muerto que anule la señal proveniente de la puerta.

IMPLEMENTACION DE ROBOTS

Antes de la implementación de los robots en las líneas de producción, se acondicionó un área para pruebas con robots. En esta área 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, consiguió los objetivos previstos:

1. **Adaptación y familiarización del personal de mantenimiento a la nueva tecnología.**
2. **Estudio de fallos repetitivos, análisis de ellos y posibles modificaciones.**

Para obtener buenos éxitos en materia de seguridad con los robots industriales es necesario un profundo conocimiento de los equipos, una correcta planificación de la seguridad, una adecuada formación en materia de seguridad y una estricta observación de las normas de seguridad.