

# Equipos de control a distancia para actividades de clausura

*Los robots y manipuladores perfeccionados ofrecen ventajas prácticas*

Desde hace ya algunos decenios, la automatización y los robots se han empleado de diversas formas para labores de manejo industrial, montaje y manipulación con resultados positivos. En la industria nuclear se ha creado, y se sigue creando, una amplia gama de manipuladores y equipos especializados que realizan por control a distancia tareas de inspección, mantenimiento, reparación y renovación.

El empleo de dispositivos de esa índole constituye un medio importante de reducir la exposición del hombre a las radiaciones durante las operaciones de clausura y descontaminación en las instalaciones nucleares. Por consiguiente, también puede reducir los costos de la clausura.

¿Qué significan los términos "robot" y "manipulador"?

En el contexto que se describe en este artículo, un robot es una máquina de manipulación programable que tiene una memoria, y que puede ser programada una y otra vez fácilmente cuando se le asigna una nueva labor. Esta última capacidad es la característica que diferencia a los robots de otras piezas de equipo automatizadas, aunque el equipo controlado numéricamente también posee una elevada flexibilidad. En esencia, los robots están formados por componentes mecánicos, impulsores, controles y sensores, y por lo general tienen muchos grados de libertad.

Por otra parte, un manipulador tiene muchas de las características de un robot, pero suele ser operado directamente mediante alguna forma de control manual, que puede ser a distancia. Es posible programar el control de un manipulador (creando así una especie de robot), al igual que se puede controlar manualmente un robot mediante un sistema de control adecuado.

En las labores de clausura y descontaminación, son importantes los siguientes componentes para el empleo de robots y manipuladores:

- Análisis de las tareas
- Tecnología de control a distancia
- Ingeniería mecánica avanzada
- Tecnología de simulación
- Equipo de sensores a distancia
- Interfaz hombre-máquina.

## Programas de la industria nuclear

En la industria nuclear se han empleado equipos manipulados por control a distancia para realizar, por ejemplo, labores de manipulación, inspección, desmante-

lamiento, montaje, reparación y sustitución, y para labores de fabricación en reactores, instalaciones de celdas blindadas, emplazamientos bajo el agua, plantas de reelaboración, fábricas de combustible e instalaciones para la producción de radisótopos.

Desde el punto de vista de la clausura resultan del mayor interés los manipuladores controlados a distancia, los robots (estacionarios y móviles), la tecnología visual y de sensores y el soporte físico y lógico relacionado con el equipo.

Entre los tipos de manipuladores de uso corriente están los manipuladores a distancia relativamente sencillos, los manipuladores eléctricos avanzados que reflejan fuerzas bilaterales (en los que el maestro y el satélite pueden ser unidos por conexión directa, radio o rayos láser) y los más modernos y diestros servomanipuladores maestro/satélite computadorizados. Además, los manipuladores industriales pueden estar dotados de cabinas blindadas acondicionadas al medio y, de ser necesario, montadas en vehículos.

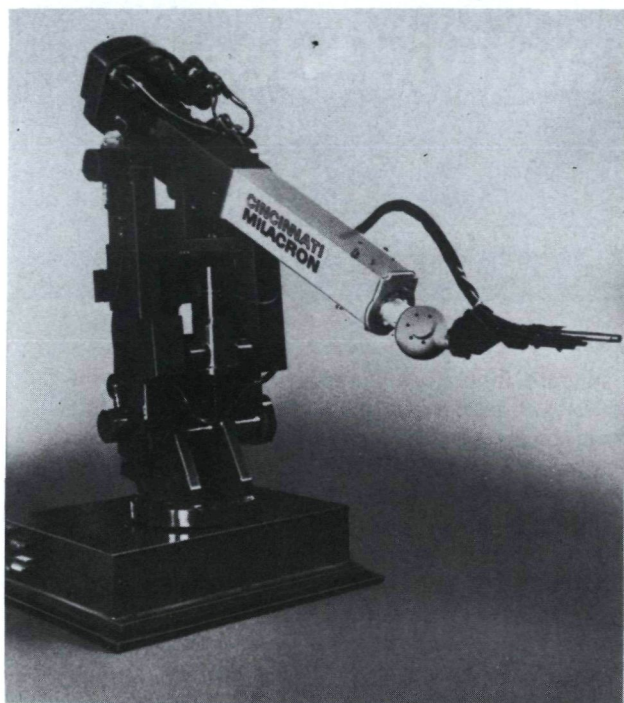
Durante muchos años en la industria se han utilizado los sistemas de vehículos guiados automáticamente para realizar diversas tareas. Algunos tienen libertad de movimiento y poseen sistemas de dirección óptica o controlada por radio, mientras otros poseen cables guía instalados debajo del piso. Asimismo en la industria nuclear se han creado vehículos especializados montados sobre ruedas y sobre rieles. Para las labores de clausura, estos vehículos pueden utilizarse como bases móviles a fin de transportar brazos manipuladores y equipos para que realicen el trabajo en las zonas de altos niveles de radiación. Se ha terminado un estudio para la Comisión de las Comunidades Europeas (CCE)\* que detalla las opciones en cuanto a la clausura.

Estos robots móviles de fines generales pueden sustituir ventajosamente al hombre en la realización de múltiples tareas, como la supervisión y la vigilancia. Es posible realizar mediciones físicas (por ejemplo, de los niveles de radiación, la temperatura y la humedad), así como desbastar y descontaminar paredes y pisos. La capacidad de carga de los manipuladores transportados por vehículos determina el grado en que se pueden desmontar los conjuntos pequeños y en que se pueden realizar otras tareas, como la construcción de paredes de blindaje.

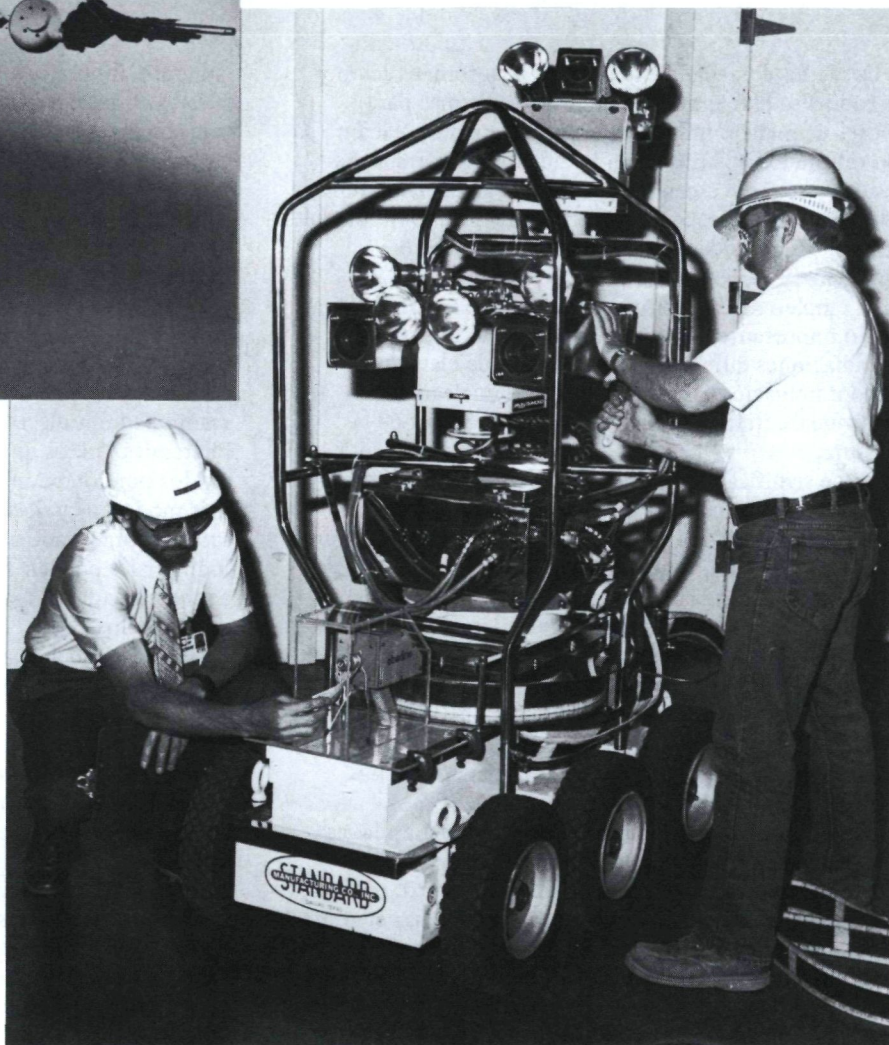
La técnica de control a distancia se puede extender a vehículos más grandes, como los bulldozers, las retrocavadoras y las excavadoras que se requieren para la

Este artículo se ha adaptado de *The Methodology and Technology of Decommissioning Nuclear Facilities*, Informe Técnico del OIEA (en prensa). Para artículos conexos, véase *Boletín del OIEA*, Vol. 27, No. 3 (otoño de 1985).

\* Véase "Review of Systems for Remotely Controlled Decommissioning Operations", por L. Da Costa y otros, Comisión de las Comunidades Europeas (1985 en prensa).



Brazo de sistema robótico apropiado para actividades de clausura. (Cortesía: Cincinnati Milacron)



En TMI-2, operarios verifican el "Rover", un robot que efectuó el primer examen intensivo posaccidente del sótano del edificio del reactor. (Cortesía de GPU Nuclear)

demolición de hormigón en masa. Ya hay en el mercado sistemas controlados por radio que accionan las palancas de mando de estas máquinas.

Se dispone ya de manipuladores montados en bases sumergibles para su empleo bajo el agua y cabe prever la creación de otros similares para las actividades de clausura debajo del agua. Ahora bien, para ello se requerirán avances significativos.

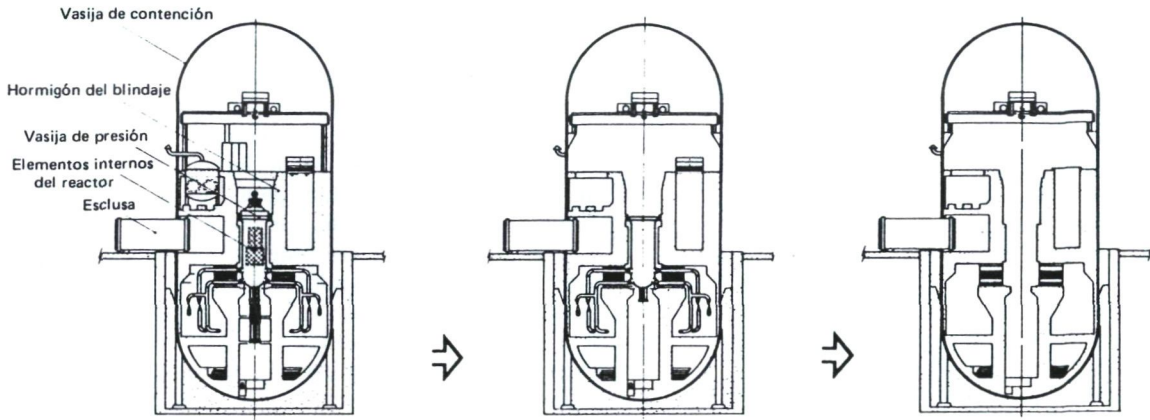
En Francia se ha fabricado un servomanipulador perfeccionado equipado con cámaras de televisión y soportes telescópicos controlados por computadoras que se emplea para tareas de mantenimiento y de clausura controladas a distancia. La combinación de opciones permite accionar el brazo como manipulador de manteni-

miento controlado manualmente o como robot manejado por computadora.

En el Canadá, SPAR Aerospace está fabricando para Ontario Hydro un subsistema de manipulación a distancia de tecnología avanzada para su posible utilización en el cambio de tuberías en los reactores Pickering. Este subsistema utiliza la tecnología que SPAR ha creado para el brazo que se emplea en los vehículos de los transbordadores espaciales de los Estados Unidos. El subsistema de manipulación a distancia es parte del Sistema de manipulación y control a distancia coordinado que se utilizará para realizar diversas tareas de manipulación, inspección, apoyo y transporte, así como para manipular los contenedores en las cámaras de las máquinas de

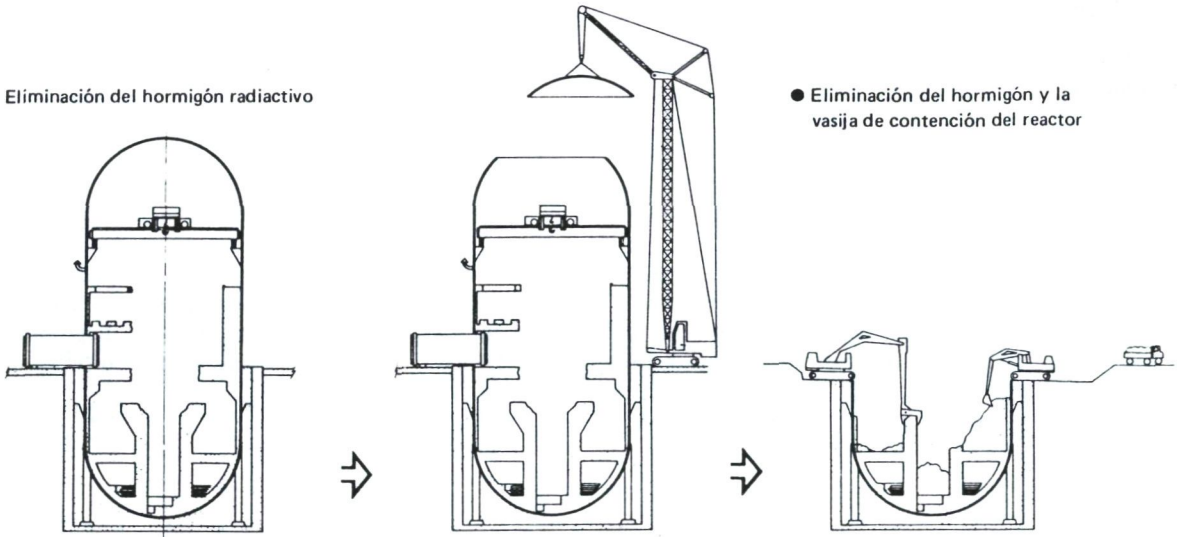
- Eliminación de la maquinaria circunferencial
- Eliminación de los elementos internos del reactor

- Eliminación de la vasija de presión del reactor
- Eliminación de la maquinaria restante



- Eliminación del hormigón radiactivo

- Eliminación del hormigón y la vasija de contención del reactor



En el Japón, el primer reactor que generó electricidad será también el primero en ser clausurado. Conocida por la abreviatura JPDR (reactor japonés de potencia y de demostración), la central comenzó a funcionar en 1963, fue parada en 1976 y se prevé su desmantelamiento para fines del presente decenio. En el diagrama se indica el procedimiento experimental previsto para desarmar el reactor de agua en ebullición. El proyecto de clausura es ejecutado por el Instituto de Investigación de Energía Atómica del Japón (JAERI). (Cortesía de *Science & Technology in Japan*, Vol.4, No. 16, Three "I" Publications, Ltd)

aprovisionamiento de combustible. En otro proyecto, Atomic Energy of Canada Limited ha creado un complejo brazo controlado a distancia con un sistema de observación y una máquina de soldar a distancia para reparar escapes en tuberías situadas en una cámara ubicada debajo del reactor nuclear de Douglas Point.

En el Japón se encuentra en curso un amplio programa para crear un sistema robótico manipulado a distancia para la clausura de un reactor de potencia y de demostración de 90 megavatios (térmicos) (JPDR). Durante la primera parte del estudio, se hace hincapié en crear las interfaces hombre-máquina y los sistemas de control avanzados para simplificar las operaciones, y mejorar la flexibilidad, la capacidad y la autonomía. Se crearán

mecanismos para controlar la trayectoria de forma semi-automática y para evitar los choques del vehículo y el manipulador. Basándose en esta labor, a fines de 1986 se dispondrá de sistemas manipulados a distancia para realizar trabajos ligeros y pesados, dotados de manipuladores de potencia sumergibles con capacidad de carga entre 10 y 100 kilogramos.

En el Reino Unido, el organismo encargado de la energía atómica elabora equipos manipulados a distancia perfeccionados para las actividades de clausura del reactor avanzado de 33 megavatios refrigerado por gas de Windscale (WAGR), cuya terminación está programada para 1994. El sistema de máquinas para las actividades de clausura que se ha diseñado está compuesto por una

grúa blindada que sostiene un mástil rígido que puede extenderse, y una plataforma elevadiza con un manipulador dirigido a distancia que se utilizará para realizar las diversas actividades complejas asociadas con el desmantelamiento. Se están realizando investigaciones sobre sistemas teledirigidos de corte con plasma de arco eléctrico y de televisión estéreo a fin de utilizarlos junto con la máquina de clausura en las labores de desmantelamiento del reactor y de eliminación de desechos.

En la República Federal de Alemania se trabaja para crear un equipo similar de desmantelamiento y manipulación automático o a distancia para la clausura del reactor de tubo a presión de 100 megavatios refrigerado por gas de Niederaichbach (KKN). El reactor se desmantelará, segmentará y empaquetará a distancia con el empleo de un manipulador rotatorio, un manipulador de corte y un manipulador grúa.

Los principios elaborados en WAGR y KKN pueden aplicarse al diseño de manipuladores para su utilización en la clausura de otras vasijas a presión.

### Requisitos que deberá reunir el equipo de operaciones a distancia

El empleo de equipo manipulado a distancia en la industria nuclear supone su funcionamiento en un medio hostil, en el que puede quedar contaminado. Asimismo, el acceso del ser humano al equipo para realizar ajustes, reparaciones o sustituciones suele ser difícil o peligroso y no puede efectuarse hasta que se haya procedido a la descontaminación de la unidad.

Al diseñar o seleccionar el equipo operado a distancia para su empleo en labores de clausura, debe realizarse un examen cuidadoso de los requisitos de funcionamiento que deberá cumplir el equipo. Siempre que sea posible, deberán observarse los siguientes requisitos:

- El funcionamiento de la máquina debe ser seguro, incluso cuando se produzcan desperfectos.
- La máquina debe ser fiable, duradera y capaz de terminar la tarea que se le haya asignado.
- El acceso del hombre a la máquina, aunque con frecuencia sea limitado, deberá permitir las labores de emplazamiento, operación y recuperación. Asimismo, el diseño de la máquina deberá facilitar el mantenimiento, la reparación y el desmantelamiento.
- Cuando se emplee en medios contaminados, la máquina debe estar diseñada de manera que pueda llevarse a cabo fácilmente la descontaminación.
- El costo de amortización deberá calcularse de forma que incluya la descontaminación o evacuación de la máquina, o ambas cosas.
- La interfaz hombre-máquina debe tenerse en cuenta en el control de la máquina para garantizar que no se dificulte la labor del operador.
- Antes de que se le encomiende una tarea real, el funcionamiento de la máquina deberá ensayarse repetidamente en instalaciones simuladas.
- Los conectores y fijadores deben diseñarse para que funcionen por control remoto cuando sea necesario.
- Los componentes deben ser resistentes a la radiación; los controles y el mayor número posible de componentes deben diseñarse de manera que permanezcan alejados de la zona activa y fuera de ella.
- En el diseño deben tomarse en cuenta las condiciones ambientales de funcionamiento (como temperatura, presión, humedad, polvo y actividad química).
- En los casos en que resulte práctico, deben usarse componentes o unidades industriales disponibles y probados, aunque sea preciso realizar modificaciones sencillas.
- El diseño debe ser lo más sencillo posible, pero es preciso que responda a los requisitos anteriores.

### Los robots industriales: diversos tipos para usos múltiples

Las funciones cinemáticas de los robots industriales suelen evaluarse por comparación con las del "manipulador multipropósito" original, es decir, el brazo y la mano del hombre, y la mayoría de los robots se diseñan con el objetivo de tratar de reproducir la capacidad humana. Muchos tienen un brazo mecánico articulado al que se pueden anexas diversos dispositivos, como pinzas, afiladores, pulverizadores de pintura, pistolas de soldar o llaves neumáticas. El diseño y el funcionamiento de estos dispositivos (llamados "ejecutores"), que asumen el lugar de la mano del hombre, son tan importantes como el diseño del propio brazo del robot.

Además de controlar el movimiento en el espacio, el brazo y la muñeca del hombre pueden dirigir un objeto en tres planos de rotación, lo que ofrece un total de seis grados de libertad (tres ejes de traslación y tres de rotación). La mano del hombre tiene 22 movimientos distintos. Si a ellos se unen las funciones sensoriales del hombre, el sistema de retroalimentación y la capacidad del cerebro humano de seleccionar automáticamente la retroalimentación sensorial que más se adecua a cada movimiento, se ve que el brazo del hombre es un meca-

nismo muy versátil y complejo. Es también muy fuerte (su fuerza equivale a una relación de peso de aproximadamente 5) y ligero.

Para simular las funciones de movimiento en el espacio y de cambio de dirección que poseen el brazo y la muñeca del hombre, un brazo o manipulador robótico debe tener al menos seis grados de libertad. A menudo se emplean hasta ocho o nueve grados de libertad para permitir al brazo robótico rodear los obstáculos. En la mayoría de los casos, los 22 movimientos de la mano del hombre se sustituyen con un sencillo dispositivo similar a unas tenazas, aunque en casos muy especiales se han creado manos antropomórficas con dedos articulados y dotados de movimiento.

Los impulsores del robot pueden manipularse de forma neumática, hidráulica, eléctrica, mecánica o mediante alguna combinación de las cuatro formas básicas de energía.

La tarea más difícil de la creación de un brazo robótico es simular las funciones de control del brazo del hombre. El desarrollo de computadoras, procesadores y memorias especializados ha introducido una

nueva fase en el control robótico. Mediante el empleo de ecuaciones matemáticas para lograr movimientos complejos y dispositivos sensoriales más complicados el diseñador puede aumentar la inteligencia del robot.

El diseño de los robots y los sistemas de control que se utilizan en la actualidad varía mucho y oscila entre los sencillos robots de secuencia limitada y los robots más perfeccionados controlados por computadora.

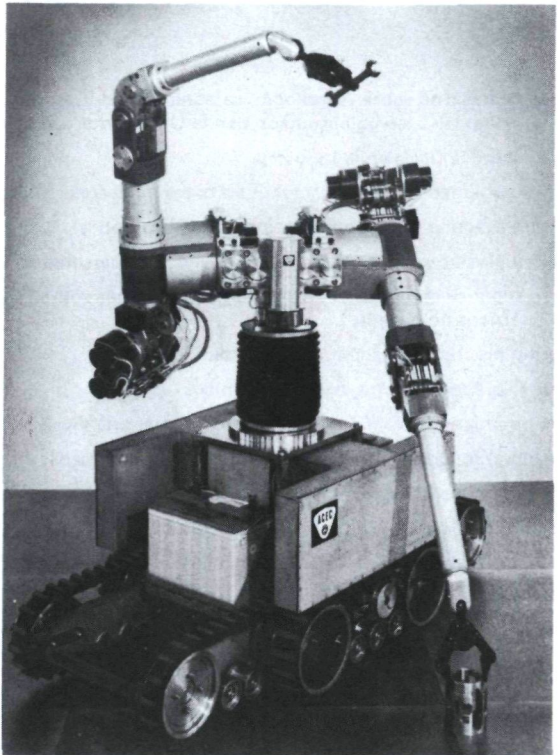
En fábricas de todo el mundo se emplean con resultados positivos miles de robots de secuencia limitada, fundamentalmente del tipo utilizado para tareas de "selección y colocación". Estos robots sólo requieren un limitado número de movimientos secuenciales para realizar su tarea y no necesitan el control de movimientos de los robots de técnica más perfeccionada. Cada fase de la secuencia de operaciones se programa con antelación y se controla mediante una señal eléctrica o neumática procedente de un cuadro de mandos con contactos enchufables. Suelen utilizarse topes mecánicos para limitar el movimiento de cada articulación. Aunque la mayoría de los dispositivos carece de capacidad para obtener retroalimentación de su medio de trabajo, algunos se han combinado con otros dispositivos que dan cabida a alguna inteligencia. Parecería que la tecnología asociada a los robots de secuencia limitada no tendría gran aplicación en las tareas de clausura y descontaminación, puesto que resulta relativamente difícil volver a programar a estos robots.

Uno de los componentes más importantes de los robots comerciales más perfeccionados es el sistema de control, que prescribe cuándo y cómo desempeñará sus tareas el soporte físico robótico. El sistema de control, que está compuesto por una computadora, una memoria de gran capacidad y retroalimentación sensorial, debe tener capacidades de programación rápida y sencilla, esté o no en línea. Además, debe ser capaz de interactuar con un operador y con la retroalimentación de tantos sensores como requiera la tarea. Los sensores permiten medir el estado del sistema en tiempo real y ofrecen retroalimentación a los controles. Entre los sensores típicos se encuentran los telémetros de láser, los sistemas de televisión y los sensores táctiles, de fuerza, de torsión y de proximidad. Las computadoras almacenan datos de entrada y programas complejos para el robot, comparan la ejecución medida y deseada, generan secuencias complejas de salidas deseadas y permiten la comunicación entre el hombre y el complejo robot.

#### Tecnología del soporte lógico

Tan importante como el soporte físico y los controles robóticos es la nueva tecnología del soporte lógico que se está creando. Por ejemplo, los sistemas de computación gráficos interactivos permitirían al ingeniero en automatización poner a prueba el equipo manipulado por el robot en la pantalla de la computadora y no mediante el método de "ensayo y error" en un medio altamente radiactivo. Esto significa, por ejemplo, que el ingeniero puede alimentar a la computadora gráfica el diseño y la ubicación de la tubería, el equipo y la instalación circundante. El robot y su instrumento de trabajo también pueden programarse antes de la instalación.

Por ejemplo, si es necesario cortar tubos de varios tamaños y formas, se podría programar con antelación un robot manipulado a distancia fijado a un vehículo móvil, una grúa o una plataforma. El robot tendría un soplete cortador como elemento ejecutor para cortar los tubos en la secuencia debida. Los choques se evitarían con el empleo de sensores o del modelo del soporte lógico del medio ambiente procedente del sistema gráfico. Parecería provechoso desarrollar este tipo de tecnología para las actividades de clausura y descontaminación, así como de mantenimiento, empleando robots avanzados o tipos más convencionales de tecnología de sistemas de control a distancia combinados con diversos instrumentos.



Utilizando sus "brazos y manos" este sistema robótico puede agarrar herramientas y levantar pequeños objetos. (Cortesía: ACEC)

Los sistemas robóticos avanzados, que en un gran número de fábricas se emplean para soldar, realizar labores de fundición, pintar con pistola, llevar a cabo trabajos de montaje delicados, etc., exonerarán a muchos trabajadores de tareas peligrosas y desagradables. La aplicación directa de sistemas robóticos industriales específicos a las tareas de descontaminación y clausura en la industria nuclear depende de los niveles de actividad y contaminación. Sin embargo, la aplicación de la tecnología, los componentes y los robots específicos es viable y conveniente para muchas tareas. Debe tenerse en cuenta que existen robots que poseen fuerza, tacto y capacidad sensorial visual, pero que todavía se encuentran en etapa de perfeccionamiento; incluso las modestas tareas de mantenimiento constituyen un reto para la tecnología actual de la robótica.

Los sistemas robóticos trabajan mejor cuando las coordenadas del medio físico que los rodean están bien definidas e incorporadas a la memoria de los robots. Las inversiones continuas en investigación y desarrollo en la esfera de la inteligencia artificial y el establecimiento de normas sobre la interfaz comunes para todos los proveedores de robots aumentarán la flexibilidad de las aplicaciones futuras de la robótica.

Al evaluar el atractivo financiero que entraña la aplicación de la tecnología robótica a cualquier actividad, no deben aplicarse los métodos convencionales de rendimiento de la inversión y de cálculo de la amortización. Además del ahorro corriente de los salarios de los trabajadores desplazados por el sistema robótico, entre otros ahorros se incluyen el costo de rubros tales como los seguros de salud, la menor supervisión, el ahorro de espacio para estacionamiento, las menores necesidades de capacitación, de calefacción, de luz y de energía, la no concesión de pensiones, licencias por enfermedad o costos hombre-rem, etc. Se ha elaborado una técnica de análisis de costos-beneficios que permite comparar el costo de las aplicaciones de la robótica a la inspección de las instalaciones nucleares.