

# Aplicación de la robótica al mantenimiento en tensión de instalaciones de distribución

A. Santamaría y P.M<sup>a</sup> Martínez Cid (IBERDROLA, S.A.)

R. Aracil, M. Ferre, L.F. Peñín, L.M. Jimenez, F. Sánchez, E. Pinto y A. Barrientos (DISAM-UPM)

A. Tuduri y F. Val (COBRA, S.A.)

## Resumen

Como consecuencia de la altamente informatizada sociedad actual y de la creciente demanda en el suministro eléctrico, el servicio ininterrumpido de energía se ha convertido en casi una obligación para las compañías eléctricas. Para conseguir este objetivo, en España se cuenta con una experiencia de más de 25 años de utilización de técnicas de mantenimiento de instalaciones en tensión, especialmente en líneas aéreas.

Teniendo en cuenta la posición de operario y la proximidad a tensión en que se desarrollan los trabajos es interesante contemplar la posibilidad de un robot operado a distancia para realizarlos. Muchas compañías eléctricas de todo el mundo han sido conscientes de las ventajas que un sistema de este tipo aporta, habiéndose presentado en los últimos años diversos proyectos con este objetivo.

La presente ponencia realiza un análisis de la problemática existente en la aplicación de la robótica en este sector, comparando las diferentes soluciones aportadas por los diferentes desarrollos que se están llevando a cabo a nivel mundial.

## 1. Introducción

Hoy en día el suministro ininterrumpido de energía eléctrica se ha convertido en casi una obligación para las compañías eléctricas, debido principalmente al alto grado de informatización a la que tiende la sociedad actual. Esta necesidad ha obligado a desarrollar procedimientos y técnicas para el mantenimiento de instalaciones en tensión, cuya mayor aplicación se encuentra en líneas aéreas de distribución. En estas técnicas convencionales, los operarios realizan su trabajo en las propias instalaciones en tensión, ya sea a distancia mediante pértigas aislantes (método a distancia), manipulando directamente en la instalación sobre plataformas aisladas (método a contacto), o al potencial de la instalación (método a potencial).

Estas tareas de ampliación, mantenimiento y reparación engloban una serie de operaciones (nuevas conexiones, cambio de aisladores y accesorios, apertura y cierre de puentes, revisión de equipos, etc.) que son realizadas por procedimientos estándares, muchos de ellos comunes a varias operaciones. Teniendo en cuenta además el entorno peligroso en el que se encuentra el operador por su proximidad a tensión, la aplicación de un robot para realizar la tarea a distancia es una solución a tener muy en cuenta.

A mediados de los años 80, el instituto norteamericano EPRI (Electric Power Research Institute), preveyendo las posibilidades de la robótica en el sector del mantenimiento en tensión, comenzó las primeras investigaciones, desarrollando un primer prototipo de robot para mantenimiento en tensión denominado TOMCAT (1). Casi de forma simultánea, la compañía Japonesa Kyushu Electric Power Co. comenzó también su propio desarrollo (2), siendo con mucho la que más ha avanzado, contando en la actualidad con una flota de más de 80 unidades del prototipo desarrollado en la primera fase. Otras compañías en el mundo han comenzado en los últimos años desarrollos similares, pudiéndose citar entre las más importantes a Pacific Gas & Electric Co. (3) en Estados Unidos, AICHI (4) y Shikoku (5) en Japón, e Hydro-Quebec (6) en Canadá. En España se

encuentra en fase muy avanzada un prototipo denominado ROBTET (ROBot para Trabajos En Tensión) (7) que está siendo realizado por IBERDROLA, S.A., COBRA y DISAM (Dpto. de Automática de la Universidad Politécnica de Madrid).

Las cuestiones a tener en cuenta en la aplicación y desarrollo de robots para el mantenimiento de instalaciones en tensión son muchas y variadas. En la presente ponencia, y con la intención de dar una visión global de la problemática en el mantenimiento de líneas en tensión, se han clasificado estas cuestiones en varios temas diferentes, que serán tratados de forma independiente en los epígrafes posteriores. En cada epígrafe se analiza el problema en sí y cuáles han sido las soluciones adoptadas por los diferentes desarrollos ya mencionados, haciendo especial hincapié en el desarrollo español. Es importante destacar que de los desarrollos de Kyushu siempre se hablará del prototipo desarrollado en la segunda fase.

## **2. Entorno de trabajo**

El entorno en el cual se van a realizar los trabajos condiciona de forma muy importante las características de los equipos a utilizar. En principio, basta con considerar la accesibilidad y tipo de instalación y las condiciones meteorológicas.

*Accesibilidad y disposición de la zona de trabajo* : En Estados Unidos las líneas de transmisión deben salvar distancias muy grandes y su mantenimiento requiere una gran dedicación de recursos. El desarrollo del robot está dirigido al mantenimiento de estas instalaciones de muy alta tensión. El gran tamaño del prototipo no presenta demasiados problemas de acceso a los apoyos, ni para trabajar con grandes separaciones entre los conductores o aislamiento de las líneas.

En Japón las líneas de transporte son más cortas, y su mayor problema de mantenimiento está en la red aérea de distribución a 6 kV, que discurre por el interior de zonas industriales y ciudades. La problemática de este mantenimiento es muy diferente a la de Estados Unidos.

El caso de España es intermedio entre estos dos países, siendo la tensión de distribución entre 20 y 46 kV, con distancias entre conductores y de aislamiento relativamente pequeña. El acceso a las líneas es bueno en general.

*Condiciones meteorológicas* : una ventaja añadida de la utilización de robots para el mantenimiento de líneas en tensión es que éste pueda ser efectuado bajo condiciones meteorológicas moderadamente adversas. Aunque hay que considerar el sobredimensionamiento de los aislamientos y el posible efecto sobre grúa y cables de un fuerte viento.

En los desarrollos con el operador en una cabina sobre la grúa (Pacific, Hydro-Quebec, y Shikoku) los problemas son resueltos con una mejora del aislamiento de la cabina. En el caso de los desarrollos con el operador en el camión (TOMCAT, Kyushu y ROBTET) el problema se centra en el adecuado aislamiento de los distintos sistemas que se encuentran sobre la grúa, siendo el peligro para el operador mucho menor. En ambas situaciones se conocen experimentos que demuestran la posibilidad de utilización de estos sistemas con lluvia, siempre que esta sea poco intensa.

## **3. Elemento portador**

En este apartado se considera tanto el vehículo sobre el que van montados los equipos como la grúa o brazo portador.

**Vehículo** : el tipo de vehículo a utilizar viene condicionado tanto por las zonas a las que tiene que acceder, como por los equipos que en él se monten. En el caso del TOMCAT, debido a las grandes alturas a las que ha de alcanzar, se ha pretendido que el vehículo portador deba ser un camión grúa. Para realizar el trabajo se llega a contar hasta con tres vehículos diferentes : camión grúa con el robot, remolque con compresor y camioneta con cabina de control.

En el caso de los sistemas japoneses, debido a su utilización en entornos urbanos, los robots van montados sobre pequeños camiones grúas que cumplen con las restricciones de circulación. Son camiones que no sobrepasan las 3.5 toneladas. Kyushu utiliza en algunas ocasiones un camión auxiliar sobre el que monta una grúa para la sujeción de los cables durante la operación.

En el caso del ROBTET, se ha optado por la utilización de un camión todo terreno de 5.5 toneladas, con el que se cumplen todas las restricciones de circulación, de modo que pueda desplazarse a las zonas de trabajo por las vías de circulación habituales.

**Grúa o brazo portador** : la grúa es uno de los elementos más importantes de estos sistemas. Suele ir sobre el propio camión, estar aislada y contar en su extremo con los elementos que van a actuar directamente sobre la línea. El TOMCAT ha centrado sus esfuerzos en poder independizar los equipos de manipulación de la base que lo sustente, por lo que no existe una definición única de la grúa. Sin embargo los desarrollos japoneses estudian más el conjunto de robot, vehículo y grúa, poniendo especial interés en hacerlo lo más compacto posible. Kyushu y AICHI cuentan con una grúa telescópica con tres secciones, la última de material aislante, con alcance hasta los 13 metros. Ambos sistemas montan dispositivos que permiten mantener la cabina o plataforma del extremo en posición horizontal, así como permitir su giro. Hydro-Quebec y Pacific también apuestan por sistemas compactos similares a los japoneses, aunque en ambos casos se ha optado por grúas articuladas con el último brazo aislante.

El ROBTET cuenta con un sistema también compacto de vehículo y grúa portadora, que en este caso cuenta con un alcance de 15 m y es de tipo telescópico con el último tramo aislante. La plataforma en el extremo se mantiene en todo momento horizontal con respecto al suelo y pudiendo girar sobre su eje de unión a la grúa 180 °.

#### **4. Manipuladores**

Para que resulte eficaz en este tipo de trabajos, los manipuladores deben contar con unas características particularmente cuidadas en cuanto movilidad, relación peso/capacidad de carga y tipo de control. Además hay que tener especial cuidado con respecto a la capacidad de aislamiento de los mismos.

La mayoría de los desarrollos (TOMCAT, Pacific, Hydro-Quebec, AICHI, Shikoku) utilizan manipuladores de accionamiento hidráulico, debido principalmente al aislamiento y la relación peso/capacidad. Los desarrollos de Pacific, Hydro-Quebec y AICHI cuentan con una cabina con el operador sobre la grúa, lo que hace que las cuestiones referentes al peso cobren especial importancia. Los manipuladores utilizados (los mismos en las tres compañías) pesan alrededor de 60 kg. y son capaces de manejar cargas de hasta 45 kg. Su movilidad es además excelente, contando con 6 grados de libertad más apertura y cierre de la pinza. El control del manipulador se realiza mediante los movimientos sobre un manipulador maestro movido por el operador. Estos movimientos los reproduce fielmente el manipulador esclavo en la zona de trabajo. En el caso del TOMCAT se cuenta con un sistema similar, aunque el manipulador sea más pesado y a la vez capaz de elevar mayores cargas.

La excepción lo constituye Kyushu, que utiliza manipuladores de accionamiento eléctrico desarrollados por ellos mismos. Se trata de manipuladores de más de 80 kg. de peso y que solo son capaces de soportar 20 kg. Además han tenido que ser especialmente diseñadas transmisiones aislantes entre el brazo y la muñeca del

manipulador, que es la que toca la línea en tensión. Se trata de robots semiautomáticos que realizan distintas operaciones básicas indicadas por un operador en tierra.



**Figura 1.** Plataforma con dos manipuladores y plumín de carga del ROBTET

El ROBTET ha optado por la utilización de manipuladores hidráulicos comerciales (Figura 1) similares a los de los Pacific, Hydro-Quebec, etc., con el operador en el camión comandando a los manipuladores mediante dos maestros con reflexión de esfuerzos, de manera que el operador siente en su brazo las fuerzas que el manipulador esclavo está ejerciendo en la zona de trabajo. Esta característica aumenta en gran medida el rendimiento de la operación

Los sistemas de AICHI e Hydro-Quebec, al igual que el ROBTET, cuentan con un plumín de carga adicional situado sobre el extremo de la grúa. Este plumín, de tres grados de libertad y con cabrestante, realiza operaciones auxiliares, en cooperación con los dos manipuladores, tales como sujetar el cable mientras se realiza la operación de mantenimiento.

## **5. Herramientas**

Dada la variedad de tareas que se pretende acometer con este tipo de robots, se plantea la necesidad de desarrollar paralelamente a éstos toda una gama de herramientas. Estas herramientas, en las fases más iniciales del diseño suelen tener funciones específicas, pero conforme los diseños avanzan se tiende a usar herramientas multifuncionales que cuentan con la ventaja de reducir en gran medida el tiempo de las operaciones. Esto se justifica con que el cambio de herramientas no siempre es una tarea sencilla, debido en gran parte a que los manipuladores se deben mover por entre diferentes elementos, algunos de ellos en tensión.

La política general en cuanto a la utilización de las herramientas es el intentar aprovechar los diseños actualmente en el mercado que han sido diseñados para ser utilizados por operadores humanos. Así, el

TOMCAT, Pacific, Hydro-Quebec y AICHI optan por tener en el extremo del robot una pinza universal, que a manera de garra de dos dedos, coge las herramientas y las usa de igual forma que un operador humano. El inconveniente estriba en que no todas las herramientas son susceptibles de tal utilización, y necesitan ser modificadas en alguna de sus características, especialmente las hidráulicas.

La otra opción es la desarrollada por Kyushu y Shikoku, en la que el robot cambia de herramienta en su extremo dependiendo de la operación. El problema del cambio continuo de herramienta ha sido resuelto por Kyushu con el desarrollo de un denominado Intercambiador Automático de Herramientas (ATC), y por Shikoku con el desarrollo de herramientas multifuncionales. Ambas soluciones han necesitado de una gran inversión de recursos de investigación en este campo. Entre las herramientas desarrolladas por Kyushu cabe destacar las siguientes : pinza, cuchillo rotativo, pelador de cables, bruñidor de cables, atador de cables, manipulador de conmutaciones, enroscador, etc.

En el ROBTET se ha optado por la solución inmediata de adaptar herramientas comerciales para ser agarradas por el manipulador, ya que éste cuenta con una pinza de propósito general con una fuerza de cierre de hasta 90 kg. Se cuenta con la posibilidad de utilizar simultáneamente hasta 2 herramientas accionadas hidráulicamente.

## 6. Control del sistema

El control es, obviamente, una parte de importancia fundamental en el desarrollo de este tipo de equipos. Es importante señalar que todos los sistemas que se están considerando se basan en un control de tipo teleoperado, sin que ello quiera decir que no existan ciertas funciones más o menos específicas que puedan ser realizadas de forma automática. Por sistema teleoperado se entiende aquel por el cual un manipulador esclavo trabajando en la zona remota, reproduce los movimientos que un operador en la zona local le indica a través de los movimientos de un manipulador maestro, normalmente similar y a escala del esclavo.

**Tabla 1** Comparativa entre varios modos de teleoperación para mantenimiento de líneas en tensión

Modo de operación	Seguridad humana	Coste	Fiabilidad	Mano obra	Cualif. trabaj.	Complej. control	Complej. sensores	Protección	Productividad
Manual	↓ ↓	↑ ↑	↑ ↑	↓ ↓	↓ ↓	↑ ↑	↑ ↑	↓ ↓	↑
Teleop. manual directa	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↑
Teleop. manual desde tierra	↑ ↑	↑	↑	↑	↓	↑	↓	↑ ↑	↓
Teleop. semiaut. directa	↑	↓	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑
Teleop. semiaut. desde tierra.	↑ ↑	↓	↑	↑	↓	↓	↓ ↓	↑ ↑	↓
Automática	↑ ↑	↓ ↓	↑	↑ ↑	↑	↓ ↓	↓ ↓	↑ ↑	↑

*Nota:* Los símbolos ↑ y ↓ indican un factor mas o menos favorable

La Tabla 1 muestra los diferentes modos de operación para la aplicación de la teleoperación en mantenimiento de líneas en tensión. Por teleoperación manual se entiende que el operador está continuamente controlado los esclavos a través de los maestros, frente a la semiautomática, en la que ciertas operaciones son realizadas por el esclavo de forma automática a instancias del operador. Si la teleoperación se realiza con el operador sobre la grúa a una distancia cercana a la línea, sin necesidad de equipos para visualizar la escena, se

denomina directa. En el caso de que el operador esté operando desde el camión con ayuda de algún medio de visualización de la zona remota, se entiende que la teleoperación se realiza desde tierra.

Los sistemas de Pacific, Hydro-Quebec, AICHI y Shikoku se engloban dentro del grupo de sistemas teleoperados manuales y directos, es decir con el operador sobre la grúa, cerca de la línea. Su principal inconveniente es la seguridad y la protección con respecto a sistemas con el operador en tierra, mientras que las ventajas radican en el coste y la simplicidad del sistema.

El TOMCAT es un sistema manual con el operador en tierra, lo que aumenta de forma importante la seguridad del operador y la protección del sistema. Implica por contra un mayor coste y una mayor complejidad.

Kyushu, como viene siendo habitual, se diferencia enormemente de la forma de trabajo de los otros desarrollos. El sistema de Kyushu es capaz de trabajar de manera semiautomática con el operador en tierra, y es muchas de las tareas las realiza de forma automática. La complejidad del sistema es enorme, así como su coste, aunque la seguridad es completa y la productividad es superior. Sin embargo, el prototipo desarrollado en la primera fase y del que cuentan con 80 unidades se clasifica como teleoperado manual directo.

El ROBTET puede ser clasificado como semiautomático con el operador en el suelo. En una primera fase se ha conseguido en cierta medida un control supervisado, siendo el objetivo final el conseguir un control supervisado cercano a un control totalmente automático. Como se ve en la Tabla 1, este modo de operación tiene las ventajas (protección, seguridad del operario y mano de obra) que un sistema semiautomático aporta sobre el manual, limitando a su vez las desventajas que un sistema automático introduce en cuanto a complejidad del control y el coste.

## 7. Interfaz con el usuario

Se pretende que estos equipos sean utilizados por operarios con una cierta preparación específica indispensable, pero sin que se trate de personal especialmente cualificado. Esto acentúa la necesidad de una interfaz de usuario cómoda y lo menos complicada posible. En este problema se plantean dos partes: la programación de las tareas repetitivas que el robot tendrá que realizar en modo automático (si lo incluye) y el control directo de los manipuladores cuando se trabaja en modo manual.

Como ya se ha mencionado, todos los sistemas excepto el de Kyushu son del tipo maestro-esclavo, incluyendo algunos de ellos reflexión de esfuerzos. En todos los sistemas la grúa es accionada en cada uno de los grados de libertad de forma independiente, al igual que el plumín de carga adicional que algunos poseen.

En el caso del ROBTET, además de los maestros con reflexión de esfuerzos, se ha optado por un interfaz de tipo multimedia con un solo monitor. Por ser una de las características que definen el ROBTET y que lo diferencian de los otros desarrollos, se profundiza un poco más en sus características, que son:

- **Reconocimiento y síntesis de voz:** el operador puede comunicarse con el sistema mediante voz. los comandos hablados se traducen a un conjunto de primitivas llamadas *lenguaje objetivo*. El lenguaje objetivo contiene el mínimo número de acciones que pueden ser realizadas por el sistema teleoperado; estas acciones están relacionadas con los movimientos del manipulador y plumín, el sistema de control de visión artificial, y la configuración del sistema teleoperado. Ejemplos de otros comandos de alto nivel pueden ser “*incrementa azimut 20*”, “*combina simulación con vídeo 2*”.

- **Controles manuales:** El operador dispone también de varios controles manuales procedentes de otros equipos como cámaras, plumín y grúa. El control manual de visión estéreo necesita 3 grados de libertad (GDL), y 2 GDL para cada cámara. Por lo tanto resulta complejo realizar el control manual con joysticks, así que el interfaz permite al operador posicionar algunos de los GDL por voz y el resto manualmente. Existen además otros dispositivos manuales para posicionar el plumín y la grúa.

- **Monitor:** En una pantalla del monitor muestra dos imágenes de vídeo captadas en el entorno remoto y una simulación de la tarea actual. La simulación tiene dos objetivos, el primero es contrastar el entorno con el modelo introducido en la base de datos, y el segundo es mostrar la escena simulada desde diferentes puntos de vista (8), lo cual ha demostrado ser muy útil a la hora de conseguir la telepropriocepción del operador. El chequeo es útil cuando la tarea está comenzando, porque el interfaz muestra al operador una imagen de la vista procedente de una de las cámaras, mezclada con la simulación desde el mismo punto de vista de la cámara. Cuando la tarea se está realizando, la simulación puede mostrar vistas ocultas desde el puesto de trabajo remoto. El operador puede cambiar las cámaras seleccionadas en mitad de una tarea para así mostrar diferentes vistas.



**Figura 2.** Estación de control e interfaz del operador

## 8. Aislamiento

El aislamiento eléctrico tanto de la zona remota (extremo de la grúa) de la local (camión) como la de los diferentes elementos de la zona remota entre sí, es un tema de vital importancia.

Todos los sistemas, incluido el ROBTET, presentan en la grúa un tramo aislante y realizan la comunicación eléctrica entre zona local y remota a través de fibra óptica. Además, las mangueras de fluido hidráulico que unen ambas zonas son también de material aislante (nylon). En el caso del sistema de Kyushu se utiliza un transformador de aislamiento para disponer de la energía eléctrica necesaria para alimentar los robots de accionamiento eléctrico y numerosos equipos que se encuentran en la zona remota.

También la mayoría de los sistemas utilizan soportes fabricados en FRP para los robots de manera que estos queden aislador de la grúa y entre sí. Algunos, como es el caso de AICHI, llegan a forrar de material aislante, salvo la pinza, a los robots, reduciendo así el riesgo de cortocircuito.

El ROBTET cuenta además con una ayuda adicional para el operador que puede considerarse como un aislamiento más. Esta consiste en evitar, mediante la generación de fuerzas artificiales en el brazo maestro, que el operador acerque al manipulador esclavo a zonas de peligro (9), evitando así el cortocircuito.

## 9. Conclusiones

La aplicación de la robótica en las tareas de mantenimiento y reparación de instalaciones eléctricas en tensión ha dejado de ser un deseo para pasar a ser una realidad. Su viabilidad técnica y económica está demostrada con los múltiples desarrollos realizados a nivel mundial. Las principales ventajas aportadas por este tipo de sistemas son las siguientes :

1) Posibilidad de realizar y mejorar el mantenimiento de líneas o instalaciones eléctricas en tensión en países o regiones con fuertes restricciones para el trabajo en tensión. 2) Mejora de las condiciones de trabajo. 3) Posibilidad de trabajo en condiciones meteorológicas moderadamente adversas y 4) reducción de mano de obra.

Este documento también ha presentado un nuevo sistema teleoperado para mantenimiento de líneas en tensión llamado ROBTET, habiendo sido diseñado para cumplir con todos los requisitos necesarios para realizar trabajos de mantenimiento de la red española de distribución eléctrica (46 kV). Nuevas y avanzadas tecnologías, tradicionalmente solo aplicadas en otros campos, están siendo usadas e integradas racionalmente para mejorar en gran medida sus posibilidades y su rendimiento, haciendo del ROBTET un sistema diseñado con los últimos avances, teniendo en mente que este va a ser el futuro de las operaciones en entornos peligrosos.

## 10. Agradecimientos

El trabajo presentado en este informe está financiado por la compañía eléctrica IBERDROLA, S.A. y el Ministerio Español de Industria a través del OCIDE bajo el proyecto PIE No. 132.198. También nuestro especial agradecimiento a Francisco Gallego y Cándido González (COBRA, S.A.)

## 11. Referencias

- [1] EPRI (1987), "Live-Line Repair with Tomcat". EPRI Journal, July/August.
- [2] Yano, K. et al. (Kyushu Electric Power Co.) (1995), "Development of the Semi-Automatic Hot-Line Work Robot System Phase II". *6th IEEE International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance ESMO-95*.
- [3] Bennet, T. (Pacific Gas & Electric Co.) (1993), "Creating Solutions. Utility company puts robotic arms to work". *Lift Equipment*, August-September issue.
- [4] AICHI Development Planning Department (1990). "Aichi Manipulator system Design Feature"
- [5] Ueno, T. (Shikoku Electric Power Co.) (1988), "Development of Hot-Line Maintenance Robot", *Workshop on Robotized Hot-Line Maintenance*, Pisa University, Italy.
- [6] Boyer, M et al. (Hydro-Quebec Power Co.) (1994), "Telerobotics for Maintenance of Distribution Lines", *International Conference on Line Maintenance, ICOLiM-94*.
- [7] Aracil, R., Santamaría, A. y Tuduri, A. (IBERDROLA, S.A.) (1995), "ROBTET: A New Teleoperated System for Live-Line Maintenance", *6th IEEE International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance ESMO-95*.
- [8] Balaguer, C., Aracil, R. et al (1993) , "TOROS: Graphical toolbox for Robot Simulation". *International Workshop on Graphics and Robotics*. Schloß Dagstuhl, Germany.
- [9] Balaguer, C., Aracil, R. et al. (1992) "An Adequate Robot Modelling for Rapid and Good 3D Collision-Free Path Planning", *IMACS/SICE International Symposium on Robotics, Mechatronics and Manufacturing Systems (RM2S'92)*. Tokyo, Japan.

# **Applying robotics in live distribution installations maintenance**

## **Abstract**

As a consequence of today's highly information oriented society and increasing demand of electricity, uninterrupted power supply has become a must for electrical companies. Outage-free maintenance techniques have been developed and used in Spain for more than 25 years to fulfill this objective, specially in overhead distribution lines.

Having in mind the hazardous environment in which these operations take place, it is interesting to consider the use of a robot operated at a distance to do the work. Several electrical companies around the world have also been aware of the advantages that this kind of systems can introduce, and have presented in the last years their projects regarding this objective.

This paper analyzes the problems regarding the application of robotics in this sector, comparing the different solutions adopted in the several developments being done around the world.