

Estudio de soluciones existentes en el mercado para la inspección y mantenimiento de líneas eléctricas de alta tensión.

C. Mateo, J. De León,
Universidad Politécnica de Madrid

Abstract- Este paper mostrara algunos de los métodos utilizados en robótica hoy en día para la inspección y revisión de líneas eléctricas. Además explicaremos los procedimientos que siguen para la realización de esta tarea, además de nuevos modelos y prototipos implementados recientemente para una mayor eficiencia.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, vivimos en una sociedad en la que la principal forma de energía utilizada en la electricidad. Esta es transportada en su mayoría mediante líneas de alta tensión, de tal forma que esta pueda llegar a las diferentes zonas distribuidas por el mundo que requieran de esta energía.

Sin embargo, el mantenimiento y la inspección de estas líneas es una tarea ardua debido a que, mayoritariamente, se encuentran suspendidas en el aire a una gran altura, por lo que dificulta su acceso al operario. Para una manipulación a distancia el operario, normalmente, se ayuda de pértigas aislantes o, por el contrario, si quiere manipularlo directamente mediante plataformas aisladas.

Además, hay que contar con el peligro al que se somete al operario, ya que al estar tratando con líneas de alta tensión y a una gran altura, existe un riesgo de sufrir alguna descarga o caída, pudiendo en el peor de los casos ocasionar la muerte.

Por tanto debido a estos inconvenientes antes mencionados, cada vez es más habitual encontrar robots que realicen estas tareas. Ya que además de realizarlas de una forma más eficiente, ahorran el peligro al que se somete al operario.

II. PROCEDIMIENTO MANUAL DE INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LÍNEAS ELÉCTRICAS

A continuación, se explicará el procedimiento y equipamiento que se utiliza actualmente para la inspección y mantenimiento de las líneas eléctricas de alta tensión, a fin de poder comparar las ventajas que ofrece el uso de un sistema robotizado para la realización de esta tarea [1].

A. Equipación

Primeramente el operario que realiza la inspección estará dotado con un equipo de protección personal para evitar los posibles accidentes derivados de los manipulaciones e elementos de alta tensión.

Para ello contará entre otros de los siguientes elementos:

- **Guantes aislantes, fundas, mantas cubiertas y estereras:** necesarias para evitar el contacto de forma inadvertida con los cables de alta tensión:
- **Casco:** absorbe la mayor parte de la electricidad en caso de contacto con la línea.
- **Gafas:** proteger los ojos de las chispas.

B. Herramientas de manipulación:

Los operarios para tocar los elementos conductivos de la red utilizan una herramienta llamada pértiga. La mayoría de estas herramientas se construyen a partir de fibra de vidrio con aislamiento de alta tensión que envuelve la empuñadura del mango. Además se ajustan a diferentes longitudes con un diseño telescópico de forma que permite manipular o manejar cables de alta tensión a los operarios de forma flexible

C. Equipamiento de escalada

Para acceder a los postes de alta tensión los operarios disponen de escaladores y cintas de postes que les permiten escalar los postes de madera.

Estas cintas se envuelven alrededor del poste y se conectan a un cinturón de escalada alrededor de su cintura.

Los escaladores, además, poseen puntos o controladores en la parte inferior de las polainas que golpea el poste de madera y mantienen al operario en su lugar mientras avanza.

Las cintas de poste, por el contrario, se desliza hacia arriba sobre la parte exterior del poste, mientras sube el operario, sosteniéndolo en su lugar cuando se incline hacia atrás y apriete la cinta alrededor del poste.



Fig1: Operario realizando una inspeccion de linea

D. Equipo de ensayo

El operario dispone de varios medidores de prueba para probar tensión, ohms, amperios y resistencia de las líneas eléctricas. Algunos medidores prueban varios elementos, como el multímetro, otros equipos de prueba sólo prueban un elemento, como una pinza de resistencias.

Todo el equipo de pruebas fue diseñado específicamente para probar componentes de alta tensión, tales como cables con corriente, capacitores y transistores.

III. ROBOTS EXISTENTES PARA INSPECCIÓN DE LÍNEAS ELÉCTRICAS

En este apartado se mostrarán los robots y proyectos existentes que se han llevado a cabo para la inspección de líneas de alta tensión.

A. PROYECTO PELICANO [2]

Proyecto finalizado en el año 2010 llevado a cabo por Red Eléctrica de España y el grupo de Medida, Control y Comunicaciones de AIN, el cual desarrolló un sistema de robot aéreo, tipo helicóptero para su aplicación a la inspección de líneas eléctricas.

Se trata de un vehículo aéreo no tripulado capaz de navegar de forma autónoma y capturar imágenes de calidad equivalente a las obtenidas, actualmente, mediante la inspección intensiva con helicópteros tripulados. La nueva metodología pretende minimizar los riesgos de seguridad y coste comparado con la práctica actual.

Este sistema de inspección es capaz volar sobre tramos amplios de líneas eléctricas (2,5 km en la actualidad ampliable hasta 10 Km en el futuro) enviando en tiempo real información de video gran calidad que permite el análisis del estado de los diversos elementos de la línea eléctrica con objeto de determinar las necesidades de mantenimiento de la misma. El sistema se compone de dos grandes subsistemas:

- I) La estación de tierra instalada en un vehículo terrestre desde la que se controla la operación del robot aéreo y sirve además como transporte del mismo hasta la zona de inspección
- II) El robot aéreo, con capacidad de vuelo autónomo incluyendo el despegue y aterrizaje automático, cuya misión principal es la de trasportar los sensores de observación que en el caso concreto de la inspección intensiva de líneas se compone básicamente de una cámara en el espectro visible de alta resolución. La cámara se instala sobre un sistema giro estabilizado con objeto de eliminar los efectos de la vibración sobre la imagen.

El vehículo posee 3,2 m de diámetro de rotor y 70 Kg de peso máximo al despegue dispone de una autonomía de 1,5 h., y ha sido construido mediante tecnología propia desarrollada por el grupo de Medida, Control y Comunicaciones de AIN, lo cual permite su fácil adaptación a: diversos tamaños de robot, la aparición de nuevos sensores en el mercado y el desarrollo de nuevas aplicaciones.



Fig2: Vehículo aéreo no tripulado del proyecto.

B. LINESCOUT [3]

Se trata de un robot capaz de inspeccionar líneas eléctricas además de evitar los obstáculos que se pudieran encontrar en estas.

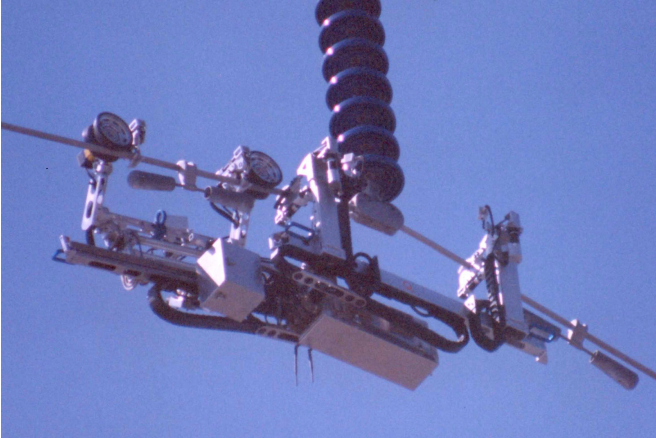


Fig3: Robot LINESCOUT

Para la eliminación de los obstáculos el robot dispone de la siguiente secuencia de actuación que mostraremos en la figura 4.

En ella podemos observar que el sistema se encuentra formado principalmente por tres estructuras, las cuales son, combinadas conjuntamente para la realización del movimiento que salvara el obstáculo:

- I) La estructura de las ruedas: donde se encuentran las ruedas a través de las cuales el robot se desplaza por la línea de alta tensión.
- II) La estructura del brazo: es la utilizada para evitar el obstáculo tal y como se puede observar en la figura 4.
- III) La estructura central: sirve de nexo de unión entre la estructura del brazo con la de las ruedas

El proceso seguido por el robot es el siguiente:

- A. El robot se para enfrente del obstáculo a salvar. Por seguridad posee unos rodillos de seguridad que fijan la estructura del robot a la línea.
- B. Una vez fijada la estructura del brazo del robot y la central, ambas se deslizan de tal manera que quede cada una de las pinzas situadas en el brazo a cada lado del obstáculo.
- C. Las pinzas se extienden hacia la línea para quedarse fijadas y de esta forma proporcionar al robot de una nueva estructura de apoyo. Una vez fijados los rodillos de seguridad mencionados en el paso A, se

soltarán haciendo que la estructura de las ruedas invierta su sentido y quede hacia abajo.

- D. A continuación la base del robot se desliza a través de su brazo y la estructura central, quedando situada finalmente al lado opuesto del obstáculo.
- E. Finalmente, una vez situado en el lado opuesto, se vuelve a girar el robot al sentido contrario para fijar las ruedas a la línea, se fijan los rodillos de seguridad de nuevo, se abren las pinzas del brazo y se pliega este volviendo de esta forma el robot a su configuración inicial.

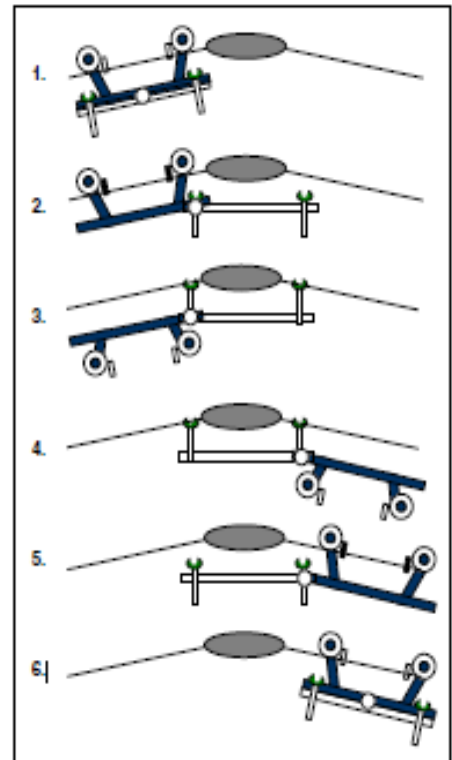


Fig4: Secuencia actuación LINESCOUT

Este modo permite que un robot de solo 1,37 metros de distancia pueda superar obstáculos de 0.76 metros de diámetro.

Este robot, además, es capaz de transmitir y recibir datos y video a través de dos radiofrecuencias con un radio de 5 Km de distancia. Para ello está dotado de tres cámaras de video situadas en la base, las cuales son utilizadas como realimentación del control del robot para dirigir el movimiento de los diferentes ejes que lo componen.

También posee otras dos cámaras más situadas en las pinzas del brazo y una última cámara de tipo pan-and-tilt situada en la estructura de las ruedas para proveer diferentes puntos de vista.

Además de las cámaras, el robot cuenta con optical-encoders, para estimar la posición además de inclinómetros, así como de EMI/RFI ventiladores y termómetros infrarrojos para monitorizar la temperatura, aunque en futuras versiones seguramente dispondrá además de sensores GPS, detectores laser de objetos o sensores de fuerza.

Respecto al sistema de control del robot, debido a que este es bastante complejo, es importante mantener el sistema de control lo más simple, intuitivo y ergonómico posible.

Para ello dispone de una estación terrestre de control la cual soporta los receptores de datos y video, además de disponer de una Tablet-PC y joysticks de tres grados de libertad para manejar el robot. Aunque la parte más importante de la estación es la interfaz digital programada en LabView, la cual es mucho más flexible que habiendo creado una física



Fig5: Estación terrestre del LINESCOUT

Con todo ello este robot ofrece una tecnología móvil versátil para la inspección y reparación de líneas de alta tensión.

C. PLIR [4]

En este caso se muestra una solución propuesta para la superación de obstáculos para robots de inspección de líneas de alta tensión.

Para ello el entorno del robot es representado por un mapa 3D que es utilizado para la planificación de la maniobra a ejecutar para la superación del obstáculo.

La evasión de obstáculos se realiza mediante la ejecución de trayectorias coordinadas gracias a la configuración del manipulador en serie como mostramos en la siguiente figura:

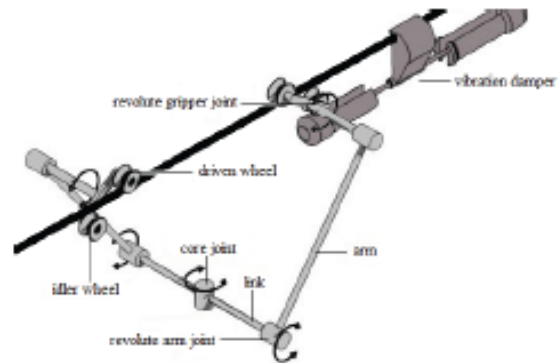


Fig6: Configuración robot PLIR

Esta configuración permite salvar tanto obstáculos conocidos como desconocidos.

Para obstáculos ya conocidos (clasificados mediante un sistema de procesamiento de imágenes), trayectorias precalculadas serán ejecutadas para sortearlo.

Para desconocidas sin embargo, el PLIR desarrollará un conjunto de maniobras online para su solución.

Durante el proceso de inspección, el robot se desliza a lo largo de la línea de tensión. A fin de que este rodee el obstáculo, el robot suelta la pinza más cercana a este y mientras continúa avanzando, mueve la pinza desenganchada hasta que esta vuelva a engancharse al otro lado del obstáculo.

Para conseguir este nivel de autonomía el entorno del PLIR es representado por un mapa 3D, discretizado a intervalos de 1 cm. Este mapa es utilizado para planificar trayectorias libres de colisiones alrededor del obstáculo para cada pinza.

Los obstáculos son representados usando una unión de ejes alineados a las cajas delimitadoras, y hallando la trayectoria más corta alrededor del obstáculo usando el algoritmo Lazy Theta de planificación. De esta forma la trayectoria es representada mediante un conjunto de nodos que pueden ser utilizados como puntos de paso para generar la trayectoria para el PLIR.

Estas trayectorias serán creadas utilizando un B_spline de quinto orden. Una vez creadas, evalúa mediante una simulación si existe colisión. Una vez que la simulación ha sido validada esta es enviada al robot para ser ejecutada.

Para la definición de la trayectoria tal y como se comentó antes el robot cuenta con un workspace, el cual es definido respecto a un conjunto de ejes cartesianos referidos a cada pinza del robot alineados en el eje Z de la línea tal y como mostramos en la siguiente figura:

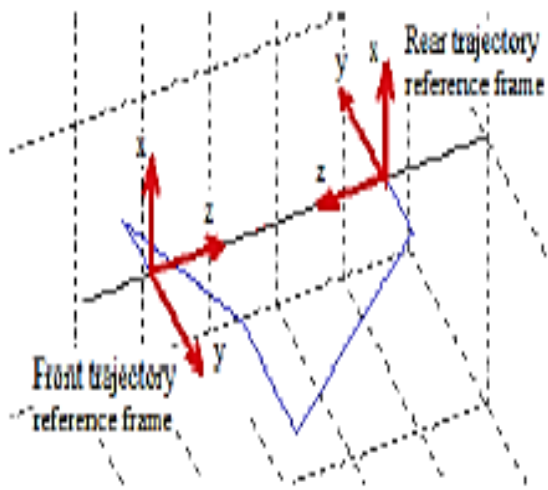


Fig7: Definición de la trayectoria

Durante la primera parte de la maniobra el sistema de referencia es ligado a la pinza mas alejada del obstaculo (rear trajectory), durante la segunda el sistema de referencia vuelve a ser ligado a la pinza originariamente mas cercana al obstaculo (front trajectory).

Para el propósito de la superacion de obstaculos, este es representado como un conjunto de puntos conectados mediante segmentos. Los puntos representan las articulaciones y las pinzas, mientras que los segmentos que unen los puntos representan los enlaces del robot.

De esta forma representando el robot como una serie de puntos y líneas hace que la detección y evasión de colisiones sea computacionalmente mucho mas simple.

Finalmente y una vez determinadas las trayectorias estas son ejecutadas en un entorno simulado a fin de detectar colisiones entre el robot y el obstáculo.

Las trayectorias que evitan los obstaculos creadas para cada una de las pinzas debe ser libre de colisiones para la propia pinza aunque no necesariamente para el cuerpo entero.

Cada trayectoria consiste en un número discreto de posiciones que puede tomar la pinza y la configuración que debe tomar el robot para que aquella alcance dicha posición. Es necesario por tanto para la trayectoria detectar las colisiones entre el cuerpo del robot y el obstaculo para cada una de las configuraciones.

Si una colisión ha sido detectada en la simulacion esta sera rechazada automaticamente. Dependiendo de que parte del robot colisione con el obstaculo y dependiendo del lugar donde dicha colision ocurra, la descripción simulada del obstaculo sera recalculada para la creación de una nueva trayectoria que permita al robot superar el obstaculo rodeandolo.

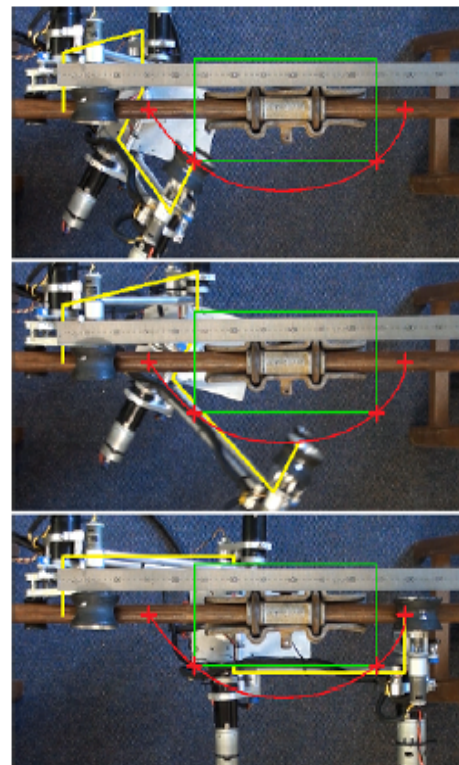


Fig8: Simulación de la trayectoria

Se demuestra por tanto que usando un mapeado discretizado 3D junto con la representación del obstáculo mediante cajas de contorno con ejes alineados, se pueden superar los obstáculos que un robot de inspección de líneas de alta tensión puede encontrar en su camino, todo ello usando el algoritmo Lazy Theta cuyos nodos son generados mediante el uso trayectorias B-Spline.

D. ROBTET [5]

Se trata de un sistema telerrobótico y semiautomático desarrollado por la Universidad Politécnica de Madrid para el mantenimiento de las líneas de distribución eléctrica.

Fue concebido bajo la iniciativa intergubernamental de apoyo a la I+D+i EUREKA y ha sido uno de los mayores éxitos en el campo de la robótica y la producción automática.

ROBTET se compone de dos partes, un mástil auxiliar y varias videocámaras estereoscópicas, todo ello en conjunto montado sobre una plataforma en el extremo de la pluma de un camión-grúa guiado y monitorizados desde la cabina de control.

Además, cuenta con la posibilidad de dirigir órdenes mediante voz, evitar colisiones no deseadas, visión panorámica estereoscópica y fuerzas de reacción online sobre los mandos de control.

Entre las ventajas de ROBTET podemos encontrar que el robot permite a los especialistas de mantenimiento realizar sus operaciones sin cortar el suministro eléctrico, garantizando así la continuidad y calidad del servicio. Además reduce significativamente los riesgos de accidentes de los operarios a causa de fallos, caídas desde lo alto o shock eléctrico. También posibilita la realización del trabajo en condiciones climáticas adversas y puede utilizarse para acortar los períodos de formación de los especialistas.

Por tanto, ROBTET es considerado como uno de los principales robots en la promoción de estándares para reparaciones y mantenimiento en las instalaciones, mejorando las condiciones generales de este tipo de trabajos en el sector eléctrico.



Fig9: Robot ROBTET

A continuación procederemos explicar más en detalle las características principales del robot.

Puesto que el robot trabaja de un modo semiautomático con el operador enviando comandos desde la cabina en el camión y recibiendo la información desde el espacio de trabajo remoto, podemos dividir el sistema en dos:

A. Cabina del operador

Esta contiene los dispositivos para la interfaz de control y los computadores que ejercen el control en el sistema.

Los dispositivos de la interfaz de control tienen doble funcionalidad, mostrar al operador el estado de la tarea en ejecución, además de enviar a este comandos hacia el entorno remoto que está manejando. Mientras que los computadores procesan la información que fluye entre la interfaz del operador y los dispositivos remotos.

La interfaz del operador consta de los siguientes dispositivos:

- Dos dispositivos maestros con realimentación de fuerza. Constan de 6 grados de libertad y es usado para guiar los manipuladores y reflejar las fuerzas ejercidas al operador.
- Una pantalla estereoscópica que muestra las imágenes procedentes de las cámaras estereoscópicas situadas en cada manipulador esclavo, de esta forma se provee al operador de una gran percepción de profundidad. Para poder obtener la imagen estereoscópica es necesario que el operario disponga de unas gafas apropiadas para ello.
- Una pantalla multimedia que genera una imagen de video tomada por la cámara general de la plataforma remota que proporciona la información sobre la tarea que se está desempeñando.
- Un micrófono para enviar los comandos de voz hacia la interfaz y también para la comunicación externa vía walkie talkie. Los comandos de voz son usados para mover la cámara general, seleccionar la imagen estereoscópica a mostrar en la pantalla o habilitar o deshabilitar la comunicación externa.
- Varios dispositivos auxiliares y alarmas que informan sobre los niveles de carga de la batería además de otras anomalías del sistema de suministro de energía.



Fig10: Cabina del operario

Respecto a los computadores dispuestos en la cabina son utilizados para procesar la información entre el operario y la plataforma remota.

Los procesos ejecutados por los diferentes computadores así como por las dos estaciones situadas en la cabina son:

- *Estación de trabajo multimedia:* muestra la imagen de video de la cámara general, además de una simulación del entorno remoto.
- *Estación de trabajo Sparc:* es la encargada del modelo geométrico del entorno remoto y todas sus variables, como puede ser la posición, estado, etc. Su función principal es evaluar la posición de los esclavos y reflejar las fuerzas virtuales hacia el brazo maestro si el esclavo está dentro de una zona prohibida.
- *Controladores de los telemanipuladores:* implementa el algoritmo de control bilateral entre el dispositivo maestro y el manipulador esclavo.
- *Sistema de reconocimiento de voz:* procesa las palabras dichas por el operario y envía los comandos asociados al respectivo proceso.
- *Generador de imágenes estereoscópicas:* procesa las imágenes enviadas por la imagen estereoscópica seleccionada.
- *Microcontrolador:* el encargado de escribir y leer la información que circula entre el esclavo y el maestro.

B. Plataforma remota

Esta plataforma posee movimientos de giro e inclinación controlados por el operario desde la cabina. Está formada por dos manipuladores esclavos, un brazo auxiliar, la cámara general, herramientas y fuentes de alimentación que proporcionan una autonomía de alrededor de 12 horas para los diferentes componentes electrónicos que conforman la plataforma.

A continuación se dará una breve descripción del funcionamiento de cada uno de ellos:

- *Manipuladores esclavos:* motorizados hidráulicamente y con 6 grados de libertad más la función de agarre. La máxima carga de cada brazo es de 45 kg. Estos brazos son guiados por los movimientos del maestro y además el torque de cada articulación es reflejado en el maestro.
- *Cámaras estereoscópicas:* situadas en el extremo de cada manipulador. Estas proveen dos señales de video sincronizadas calibradas

de forma que obtengan la mejor percepción de profundidad a una distancia de 50 cm, que es la usual de las partes manipuladas por los esclavos.

- *Cámara general o de conjunto:* Posee tres grados de libertad (giro, inclinación y zoom). Todos ellos controlados mediante comandos de voz. Se encuentra situada detrás de los esclavos para tener una buena vista general.
- *El brazo auxiliar:* está situado contiguamente al manipulador esclavo de la derecha. Esta motorizado hidráulicamente y posee tres grados de libertad (giro, inclinación y extensión telescópica). Se encuentra aislado hasta una potencia de 49 kV lo que le permite sujetar las líneas de tensión mientras los manipuladores se encuentran trabajando a otro potencial. Mediante el uso de este brazo los procedimientos son simplificados considerablemente y por tanto el tiempo de ejecución de los mismos.
- *Gran cantidad de herramientas* se encuentran situadas en una caja especial al empezar la tarea. Estas están adaptadas para sean utilizadas por los manipuladores.



Fig11: Plataforma remota

Diferentes configuraciones son posibles para colocar estos dispositivos pero algunos factores como el aislamiento de la potencia y la telepropiocepción deben tenerse en cuenta.

El aislamiento eléctrico proporciona diferentes potenciales en la plataforma a distancia y por lo tanto cada esclavo puede manipular una línea eléctrica diferente.

La telepropriocepción del operador depende de la relación entre los comandos del operador y el resultado de su acción en la pantalla. Así que un movimiento hacia la derecha en el maestro debe tener el movimiento respectivo a la derecha en la pantalla, y así sucesivamente. La cabina del operador y la plataforma remota tienen una configuración similar, la cámara general se sitúa tras los manipuladores para así simular la cabeza del operador y de esta forma la imagen es mostrada justo enfrente de él como si los manipuladores fueran sus propios brazos.

Respecto a su utilización, se ha utilizado con gran éxito por los especialistas que trabajan en operaciones de mantenimiento, demostrando su versatilidad y sus enormes ventajas. Además, este proyecto de I+D+I es el ejemplo perfecto de colaboración entre Universidad y Empresa Iberdrola como socio principal, Cobra como contratista general, y la Universidad Politécnica de Madrid como socio investigador, han puesto en común sus conocimientos desarrollando un prototipo industrial eficiente.

E. ARMAN [6]

Se trata de un robot autosustentable desarrollado por el instituto de investigación en Electrónica de Potencia (EPRI) de Estados Unidos, capaz de recorrer las líneas eléctricas para labores de inspección, análisis y estudio en áreas de difícil acceso.

Su capacidad es de unos 130 km y se puede realizar un par de veces por año. Este desplazamiento se produce además mediante movimientos deslizantes a través de los cuales irá recorriendo las líneas del tendido eléctrico.



Fig12: Prototipo robot ARMAN

Su estructura es de forma cuadrangular y se asemeja a un pequeño vehículo solar. Está conformado de islas fotovoltaicas en su exterior como fuente de alimentación alternativa en caso de que las líneas sobre las cuales circule no posean energía. En la parte inferior contiene una rueda a manera de rodillo por la cual el robot se impulsa y también realiza las diferentes maniobras de avance para pasar de transformadores y de aquellos nudos compuestos de las líneas.

Su longitud llega a los 2 metros y pesa unos 65 kilogramos, mientras que su velocidad se registra sobre los 5 kilómetros por hora.

Respecto a sus componentes se encuentra equipado de sensores y una cámara de alta definición (HD) para sus labores de detección de obstáculos tales como árboles crecidos.

Además puede analizar las imágenes capturadas y compararlas con las anteriores para reconocer si ha existido cambio alguno.

Esta tarea de identificación de árboles crecidos es de gran importancia en los costosos y complicados servicios de mantenimiento de los equipos técnicos de las compañías, ya que al identificar conflictos tempranos puede evitar la suspensión del servicio en las comunidades o bien desastres como cortos circuitos y otros accidentes.

En el caso de los ruidos electromagnéticos, que regularmente sirven de indicadores para identificar problemas en los tendidos eléctricos, el dispositivo contiene otra clase de sensores para esta detección, y podrá ayudar con los mismos a la identificación de fallas de conexión y cortos que propicien fugas de energía.

Cabe señalar que a la fecha algunos sensores son colocados en algunas líneas o en el campo para la recolección de información.

Para estos sensores, el robot cuenta con la capacidad de recuperar los datos de dichos sensores, con lo cual se evitarán las maniobras de recuperación vía helicóptero.

En el caso de las regiones remotas que se encuentren los sensores, la información que hayan guardado podrá ser enviadas vía satélite a las centrales de información de las compañías de servicios una vez que el robot atraviese por donde se ubiquen.

El coste de dicho robot está estimado en unos 500.000 dólares, coste que queda justificado debido a la alta cantidad de dinero que invierten las compañías de servicios en el mantenimiento de estas redes.

Puesto que el robot se encuentra todavía en fase de desarrollo y no está disponible comercialmente todavía quedan algunas

pruebas por realizar como la de someterle a recorrer una distancia de 440 km antes de empezar con la comercialización de este, que se prevé que será a lo largo de este año.

F. SKYWRAP [7]

Dispositivo desarrollado durante los años 80 por la compañía británica FOCAS vinculada al campo de las telecomunicaciones.

Fue diseñado para envolver helicoidalmente un cable con fibra óptica sobre conductores de fase superior a los 150 KV de las líneas de transmisión aérea, de modo que evita el riesgo que corren los operarios en caso de que realicen esta operación, dejando que SKYWRAP haga toda la tarea de una forma eficaz y segura.



Fig13: Ejemplo de la operación de forma manual y automatizada por SKYWRAP.

Es controlado remotamente mediante radiofrecuencia, siendo posible seleccionar entre 11 modos de velocidad de entre 0 y 1 m/s.

El sistema de propulsión pesa alrededor de unos 215kg y usa un motor de combustión interna. Una vez instalado es capaz de moverse a lo largo de una distancia de 300 m en 5 minutos. Con un equipo de 6 a 8 personas, la empresa asegura que es posible instalar 5 Km de cable por día.

G. SKYSWEEPER [8]

Este robot fue diseñado por un conjunto de ingenieros mecánicos en la Universidad de California, el cual está diseñado para deslizarse a través de las líneas de servicios públicos en busca de daños y otros problemas que requieren reparaciones.

La característica principal de este robot es su bajo coste debido a que está formado por productos electrónicos de bajo coste así como piezas de plástico fabricadas por una impresora 3D, siendo de esta forma posible realizar una tarea de inspección sin necesidad las costosas soluciones existentes en el mercado como los helicópteros tripulados/no tripulados equipados con imágenes infrarrojas para la inspección de las líneas eléctricas.



Fig14: Robot SKYSWEEPER

Este robot está compuesto por dos articulaciones dispuestas en forma de V con un motor en el medio que mueve ambas. Sus extremos se encuentran equipados con una pinza que se abre y cierra según sea necesario para moverse a lo largo de la línea centímetro a centímetro.

Puesto que se trata de un prototipo todavía está pendiente de una gran número de modificaciones y adiciones así como bobinas de inducción para recolectar energía procedente de las líneas de tensión que está recorriendo permitiendo que ese permanezca allí durante semanas o incluso meses o equiparle con una cámara, de tal forma que permita transmitir las imágenes a un equipo de inspección.

IV. CONCLUSIONES

Se ha podido observar que respecto al terreno de la inspección y mantenimiento de líneas eléctricas existen una gran variedad de soluciones, las cuales van desde las más simples, como es el caso del SKYSWEEPER, un pequeño robot que cualquier persona con nociones medias de electrónica y robótica podría desarrollar mediante una impresora 3D, hasta las más complejas y sofisticadas plataformas robóticas que permiten manipular e inspeccionar al operario las líneas de alta tensión como si él mismo fuera el que estuviera frente a ellas, como es el caso de ROBTET.

Además de esto se han podido ver que existen diferentes estrategias adoptadas a la hora de la inspección de las líneas, ya que algunas las realizan mediante el aire, como el helicóptero no tripulado desarrollado en el proyecto Pelicano, mediante la propia línea como el LINESCOUT, o desde tierra a través del camión grúa ROBTET, teniendo cada una de ellas sus ventajas y desventajas.

Como se ha podido observar el campo de la inspección de líneas eléctricas en la robótica tiene un amplio abanico de posibilidades y constantemente se encuentran nuevas y originales alternativas.

Se puede encontrar un resumen gráfico de este trabajo en la siguiente dirección web:

- [6] O. Barajas “Arman robot: inspector de líneas eléctricas”. Electrónicos Online Magazine. 21 de Junio 2010.
- [7] J.Rocha, J. Sequeira “The development of a Robotic System for maintenance and inspection of power lines”. Instituto politecnico de Setubal. Institute for System and Robotics of TorreNorte. Portugal. pp- 1-2.
- [8] Morozovsky “SkySweeper Robot Makes Inspecting Power Lines Simple and Inexpensive”. University of California. 2013.

REFERENCIAS

- [1] M. Brock, “Tension Electric Service Wires” www.ehow.com.
- [2] AIN, REE , *Proyecto Pelicano: Robot para inspección de líneas eléctricas*. www.hisparob, 2004.
- [3] S. Monteambault, N Poullot “LineScout Technology: Development of an Inspection robot capable of clearing obstacles while operating a live line”. Hydor-Quebec.
- [4] T.Rowell, E.Boje “Obstacle Avoidance for a Power Line Inspection Robot”. IEEE. September 2012.
- [5] R. Aracil, M. Ferre, L. F. Peñín, M. Hernando, E. Pinto. “Advanced teleoperated system for live power line maintenance”. Div. Ingeniería de Sistemas y Automática (DISAM). Universidad Politécnica de Madrid.