



## Conference Paper

# Design and simulation of a mobile robot, for the inspection of electrical lines

Carlos Eibar, Javier Gavilanes<sup>1</sup>, Miguel Pérez<sup>1</sup>, Édisson Aldás<sup>1</sup>, Paul Proaño<sup>2</sup>, and David Basantes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ESPOCH, IPEC, Riobamba, Ecuador

<sup>2</sup>UTA, FISEI, Ambato, Ecuador

## Abstract

A mobile robot was designed and simulated for the inspection of electrical lines, which seeks to investigate alternatives that have the main necessary characteristics to perform these inspection tasks and implement them in a robot of accessible costs. In the robot design was modeled its mechanical parts in 3D and then previously taken to a virtual simulation software (Vrep), in which the sequence of movements were programmed, to pass obstacles.

Corresponding Author:

Carlos Eibar

Received: 28 July 2017

Accepted: 5 September 2017

Published: 30 January 2018

Publishing services provided by  
Knowledge E

© Carlos Eibar et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons](#)

[Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Selection and Peer-review under the responsibility of the SIIPRIN Conference Committee.

**Keywords:** Technology and sciences of engineering, Electrical engineering, robotics, Inspection of electrical lines, Robot of inspections, virtual simulation.

## 1. Introducción

La dificultad en la inspección de líneas eléctricas, por el difícil acceso a las mismas, la gran extensión, además del alto riesgo que conlleva acceder a las alturas en las que se encuentran, hacen que las inspecciones se realicen con mínima frecuencia, lo cual no permitirá una pronta detección de posibles daños o fallos lo que a futuro conllevarían a problemas y hasta suspensión de la distribución de energía.

De aquí parte la necesidad de definir nuevos métodos de inspección con el uso de la robótica y nuevas tecnologías, que faciliten y optimicen la ejecución de esta tarea, además de disminuir el riesgo de trabajar en alturas y con el cableado energizado, y con la finalidad de proteger lo más importante, la vida.

Se plantea que, con la implementación del robot móvil en las tareas de inspección, primero se optimice dicha tarea en tiempo y precisión, al poder adquirir varios datos en una sola inspección, segundo disminuir el riesgo que conlleva el realizar estas tareas, y finalmente obtener una base de datos a partir de los historiales de las inspecciones realizadas.

## OPEN ACCESS

## 1.1. Inspección de líneas eléctricas.

Las líneas de transmisión están expuestas a una variedad de factores, tales como la corrosión y las vibraciones inducidas por el viento, que causan problemas diferentes y limitan la vida útil de las líneas [1].

Por lo que antes de entrar en un proceso de mantenimiento es importante saber el estado actual en el que se encuentran los cables del tendido eléctrico, sus accesorios y su entorno. Estas tareas se desarrollan por medio de inspecciones visuales realizadas por las personas encargadas, lo que conlleva una gran dificultad de acceso al trabajador, e indiscutiblemente varios riesgos [2].

En el Ecuador existe un total de 4558 Km de extensión de las líneas de transmisión y subtransmisión, a esto se le suma los 66630 Km del tendido eléctrico de las redes de media tensión, es importante destacar estos valores, para poder estimar la dificultad que sería poder inspeccionar esta cantidad de líneas eléctricas [3].

En la actualidad existen varios métodos para realizar la inspección de las líneas eléctricas, e inclusive para realizar el mantenimiento de las mismas, pero aún tienen un alto costo para llevarlas a cabo o para acceder a ese tipo de servicio [4].

El tendido eléctrico es un entorno complejo y peligroso, con campos eléctricos y magnéticos, y con distintos accesorios a lo largo del cableado, lo que dificulta cualquier método de inspección [5].

Tres obstáculos típicos pueden ser identificados en las líneas eléctricas que un robot móvil tendrá que superar cuando se utiliza para reparar y / o inspeccionar las líneas. El primero es el contrapeso (o amortiguador de vibraciones) que es el más común de los obstáculos. El segundo son las esferas de advertencia o de señalización y el tercero la torre que sostiene el alambre [6]. Entre los robots con características similares se puede destacar los siguientes:

**Robtet**, es un sistema telerrobótico y semiautomático para el mantenimiento de las líneas de distribución eléctrica. Se compone de un mástil auxiliar y varias videocámaras estereoscópicas, montado sobre un camión-grúa guiado y monitorizados desde la cabina de control [7].

**Linescout**, se trata de un robot capaz de inspeccionar líneas eléctricas, 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, las cuales son utilizadas para dirigir el movimiento de los diferentes ejes que lo componen [8].

**Arman**, 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 [9].

**Snake-like**, lleva su nombre dado que su locomoción se basa en las culebras. Tiene la capacidad de recorrer y escalar líneas eléctricas, evitando obstáculos que se encuentran en el recorrido. Las juntas están compuestas de dos espacios ortogonales [10].

**Proyecto Pelicano**, es un sistema de robot aéreo, tipo helicóptero para la inspección de líneas eléctricas. Se trata de un vehículo aéreo no tripulado capaz de navegar de forma autónoma y capturar imágenes, minimizando los riesgos de seguridad y coste comparado con helicópteros tripulados [11].



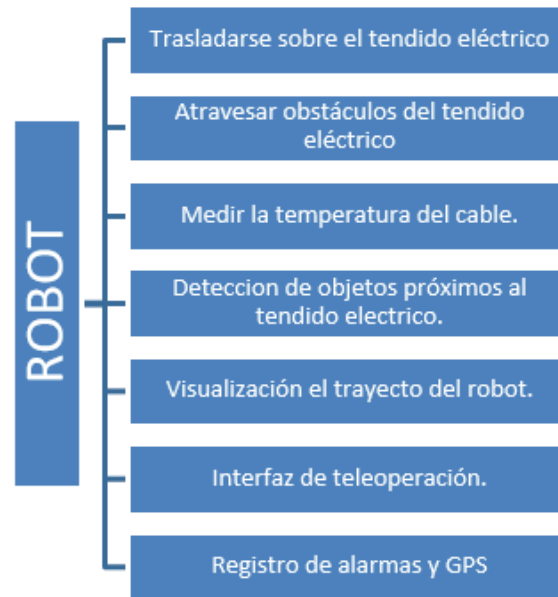
**Figura 1:** En el lado izquierdo se muestra el Robot Pelicano que es un vehículo aéreo no tripulado, en el lado derecho el Robot Robtet para mantenimientos de líneas eléctricas. **Fuente:** Proyecto Pelicano. Hisparob.

## 2. Diseño del Robot

El diseño del robot se realizó basándose en la investigación de los diferentes tipos de métodos para inspeccionar las líneas eléctricas, pero principalmente partiendo de los proyectos de robots con propósitos a fines, tanto de nivel experimental, así como de nivel comercial. Por lo que se puntualizó las características indicadas en la Fig. 2, que el robot debe tener para cumplir con sus propósitos:

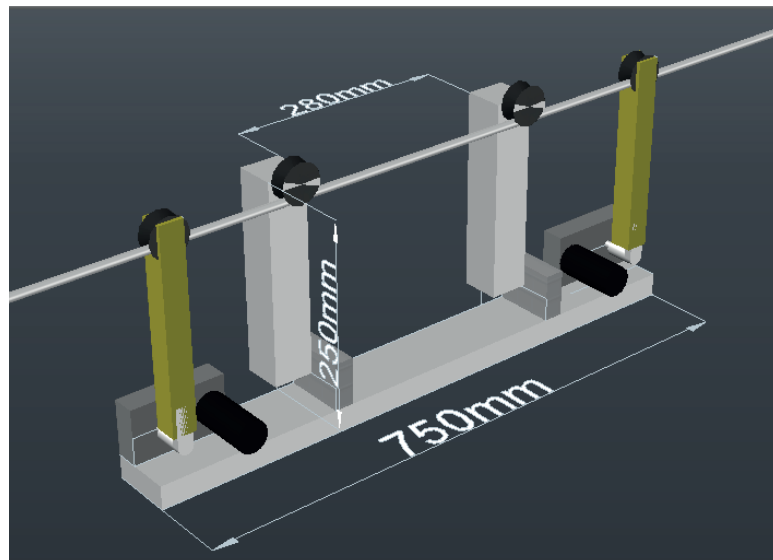
### 2.1. Diseño mecánico

El diseño del modelo de la estructura mecánica inicial del robot, consta de 2 brazos internos (grises) los cuales son los que sujetan el robot al cableado eléctrico, 2 brazos externos (dorados) los cuales sujetan el robot cuando se necesita pasar un obstáculo, los 4 brazos se encuentran sujetos a la misma base, y finalmente consta de 2 ruedas que son las que están en contacto con el cableado eléctrico y brindan movimiento al



**Figura 2:** Características propuestas del diseño del robot, para realizar las tareas de inspección. **Fuente:** EIBAR BEJARANO, Carlos Gabriel, 2017.

robot. Las dimensiones, de los brazos centrales, permiten pasar obstáculos de hasta 28cm, además se necesita una medida mínima de 75cm de cableado, por la longitud del robot



**Figura 3:** Principales medidas en la estructura mecánica del robot móvil. **Fuente:** EIBAR BEJARANO, Carlos Gabriel, 2017.

**Cálculos de torques de motores de los brazos.** Los brazos internos y externos del robot se accionan mediante motores con cajas reductoras, de acuerdo a los siguientes cálculos de torque:

**Cálculo torque de brazos externos:**

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \quad (1)$$

Donde:

$\vec{\tau}$  es el vector torque.

$\vec{r}$  es la distancia perpendicular desde el eje al extremo del brazo.

$\vec{F}$  es el vector fuerza.

Tomando en cuenta que todas las variables de la ecuación (1) son vectores, se tiene un producto vectorial; por lo tanto, el módulo del torque es el siguiente:

$$\tau = r \cdot F \sin \theta \quad (2)$$

La fuerza que tiene que vencer el motor es el peso del robot, por lo tanto, se tiene el siguiente producto punto:

$$\tau = r \cdot m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (3)$$

Donde:

$\tau$  es el torque.

$r$  es la longitud del robot.

$m$  es la masa del robot.

$g$  es la gravedad  $9,8 \frac{m}{s^2}$

$\theta$  es el menor ángulo formado entre  $r$  y  $F$ .

Reemplazando los valores, tenemos:

$$\tau = 0,7m \cdot 1,5Kg \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot \sin 90 \quad (4)$$

$$\tau = 10.29[N \cdot m] \quad (5)$$

Por las pérdidas existentes que pueden existir por desgaste y/o fricción, se dimensiona el 25% más del torque calculado.

$$\tau = 12.86[N \cdot m] \quad (6)$$

**Cálculo torque de brazos internos.** Partiendo de las ecuaciones anteriormente descrita, reemplazando los valores, tenemos:

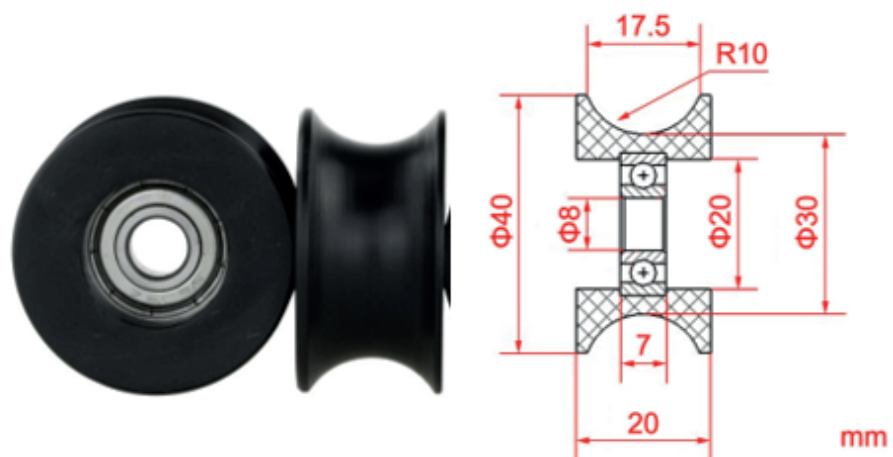
$$\tau = 0,25m \cdot 0,25Kg \cdot 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot \sin 90 \quad (7)$$

$$\tau = 0,61[N \cdot m] \quad (8)$$

Por las pérdidas existentes que pueden existir se dimensiona el 25% más del torque calculado.

$$\tau = 0.76[N \cdot m] \tag{9}$$

**Cálculo de la dimensión y motor de las ruedas.** Los brazos internos del robot tienen en su extremo dos ruedas tipo polea, que soportan un peso de hasta 50Kg que permiten trabajar con diámetros de hasta 23mm, aceptando un conductor eléctrico de hasta calibre 800.



**Figura 4:** Dimensiones de las ruedas de tipo polea con ranura. **Fuente:** Haoge, Focus on photography.

Los motores entregan la siguiente velocidad de desplazamiento del robot, en función de las medidas de las ruedas.

$$V = r \cdot \omega \tag{10}$$

Dónde:

V es la velocidad lineal.

r es el radio de la rueda

$\omega$  es la velocidad angular del motor

Reemplazando los valores se tiene los siguientes resultados:

$$V = 0,015 m \cdot 180 RPM \tag{11}$$

$$V = 0,015 m \cdot 18,84 rad/s \tag{12}$$

$$V = 0,015 m \cdot 1130,4 rad/min \tag{13}$$

$$V = 16,96 m/min \tag{14}$$

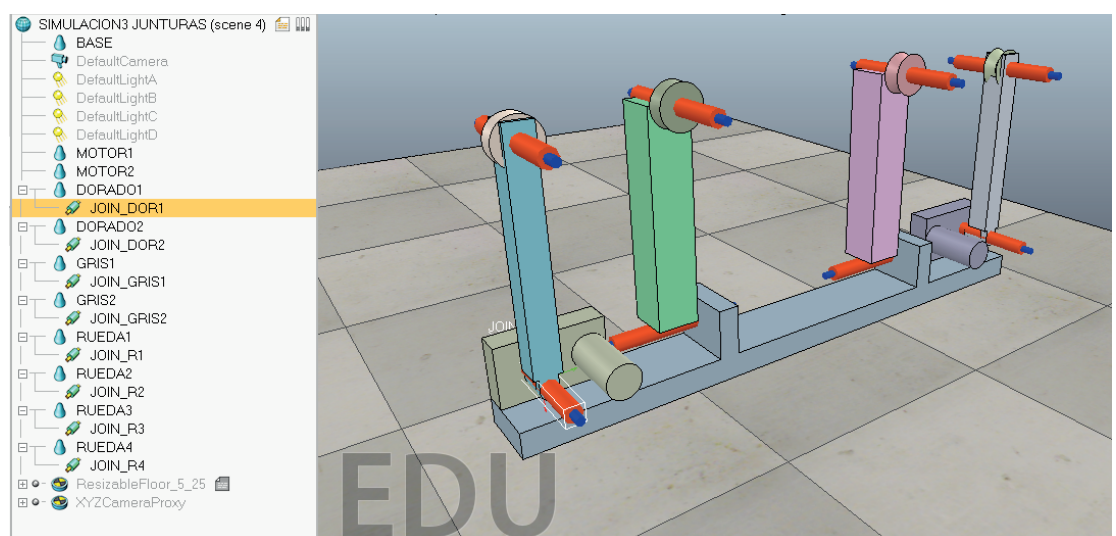
## 2.2. Modelado 3D y simulación virtual.

Cada una de las partes mecánicas se modelaron en 3D, de acuerdo a las dimensiones necesarias para desplazarse en el tendido eléctrico, y en función de los cálculos realizados de torque y diámetro de las ruedas.

Para la simulación de los movimientos de los brazos y articulaciones del robot se ha utilizado la Plataforma de Experimentación Virtual de Robots, VREP PRO Edu, el cual permite diseñar paso a paso robots móviles y no móviles, pudiendo ser manipulados automatizados o controlados mediante un Script de Programación, también por medio de una interface del propio software o de terceros y permitiendo además el control del robot real, entre muchas de sus características más importantes y relevantes.

**Importación de partes del robot en 3D.** Una vez realizado el modelado de las partes que componen el robot, con el software AUTOCAD 3D se exportan los objetos en formato.stl, para posteriormente importarlos a V-REP.

**Creación de articulaciones.** V-REP permite trabajar con tres tipos de juntas, de revolución, prismática o esférica. En el caso del robot RILE, todas las articulaciones son del tipo revolución. El robot consta de 6 articulaciones del tipo revolución, las mismas que se encuentran ubicadas en los ejes de cada uno de los motores, como se muestra en la Fig. 6:



**Figura 5:** Creación de articulaciones de tipo revolución. **Fuente:** EIBAR BEJARANO, Carlos Gabriel, 2017.

Creación de relación articulación-objeto. Los objetos estáticos no pueden ser directamente actuados a través de articulaciones controladas por par/fuerza, si no que su posición y orientación dependerá de la posición y orientación de **otros objetos** [12]. De lo anteriormente citado, se concluye que para poder realizar movimientos de las

partes del robot que fueron importadas, se deberán crear objetos puros o que permitan ser configurados como dinámicos y simular un motor en las articulaciones para su movimiento.

**Programación de Script de movimiento.** -REP permite controlar los robots que se van a simular mediante un script propio de programación, que pueden estar escritos en los siguientes lenguajes de programación: C/C++, Python, Java, Lua, Matlab o Urbi. Con lo cual se consigue simular los movimientos de cada una de las articulaciones y brazos del robot.

### 2.3. Diseño de componentes electrónicos.

El robot móvil, contará con tres etapas básicas en un sistema y componentes adicionales, como se muestra en la Fig. 7.

Entradas: Sensores infrarrojos, Módulo de Posicionamiento Global, cámara ip.

Salidas: Etapa de Potencia, motoreductores.

Control: Microcontrolador Arduino Mega.

Además, el robot móvil contará con módulos de comunicación, que se encargaran de la transmisión y recepción inalámbrica de los datos. La alimentación de energía se realiza por medio de una batería tipo LiPo capaz de alimentar todos sus componentes, dándole la autonomía necesaria al robot móvil.

**Etapas de control.** El hardware del controlador consiste en una placa Arduino Mega 2560, el cual tendrá en sus puertos digitales y analógicos los dispositivos de entrada y de salida, es decir los sensores y actuadores del Robot, el cual se conectará a una placa de expansión (shield) para la comunicación XBee,

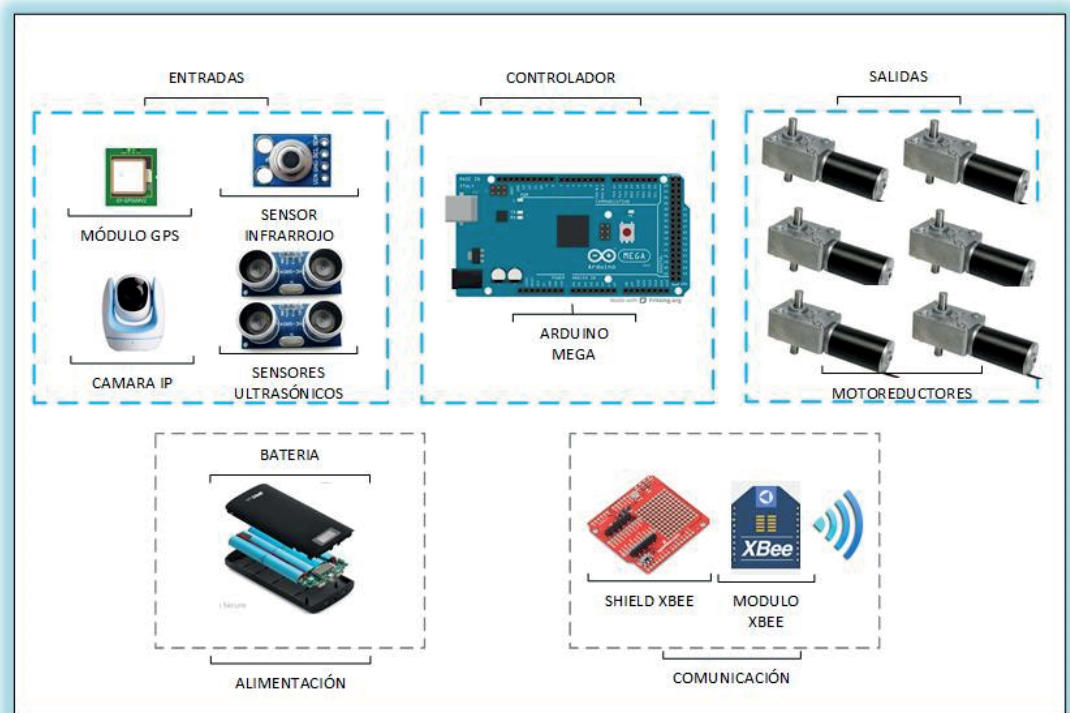
**Etapas de comunicación.** Dado que el robot será operado de manera remota, la comunicación entre la interfaz de usuario y el robot móvil, tendrá comunicación de manera inalámbrica. Desde el robot se transmitirán dos tipos de información:

- Transmisión de datos de sensores, actuadores y control.
- Transmisión de video de cámaras ip

La primera etapa de comunicación se realizará mediante módulos de comunicación Xbee, y la segunda etapa mediante Wifi:

**Etapas de potencia.** Para el control de los brazos del robot y de las ruedas que darán movimiento al mismo, se necesitan motores con la suficiente fuerza para poder realizar estos trabajos, por lo cual se ocupó motores con caja reductora. Estos motores





**Figura 6:** Componentes del robot móvil. **Fuente:** EIBAR BEJARANO, Carlos Gabriel, 2017.

requieren una etapa para el control para el giro de los motores y también por la potencia que necesitan, la cual el Arduino Mega por sí solo no puede suministrar, Por lo tanto, es necesario ocupar un driver que permite controlar dos motores de corriente continua, este módulo está basado en el chip L298N

**Sensor de temperatura infrarrojo** Para tomar la medida de la temperatura del cableado eléctrico, es necesario un sensor que no necesite estar en contacto con el cableado eléctrico, además de tener la habilidad de poder detectar cambios rápidos de temperatura.

Por lo que se eligió un sensor infrarrojo de temperatura, el cual se encuentra instalado en un brazo del robot a una distancia de 10cm de la rueda por donde va a recorrer el cableado. El mismo que entrega tanto la temperatura ambiente como la temperatura del objeto, es decir el cable eléctrico. Se encuentra conectado con la placa de control, mediante el puerto de comunicación izc.

**Sensor de distancia ultrasónico.** Para la detección de posibles cuerpos que en futuro puedan ser un problema para el tendido eléctrico, se instalaron dos sensores de distancia, que además de indicar que existe un cuerpo, también indican a que distancia se encuentra el mismo.

Servicio de posición global (GPS). El robot cuenta además con módulo de localización, que permitirá almacenar la posición de todas las alarmas que se hayan producido, lo cual permitirá al operador, luego de terminar la inspección, poder realizar una revisión y si fuese el caso un mantenimiento de los puntos exactos en los que se registró un posible problema.

El modulo GPS Sirf PMB648 de Parallax cuenta con una antena integrada, rastreando hasta 20 satélites, proporcionando datos actuales de tiempo, latitud, longitud, velocidad y orientación/dirección de viaje, etc.

### 3. Resultados

La simulación realizada en la plataforma V-rep, permite comprobar el funcionamiento del diseño mecánico, pudiendo realizar la simulación del desplazamiento del robot móvil sobre el cableado eléctrico, mediante las ruedas ubicadas en los brazos robóticos internos.

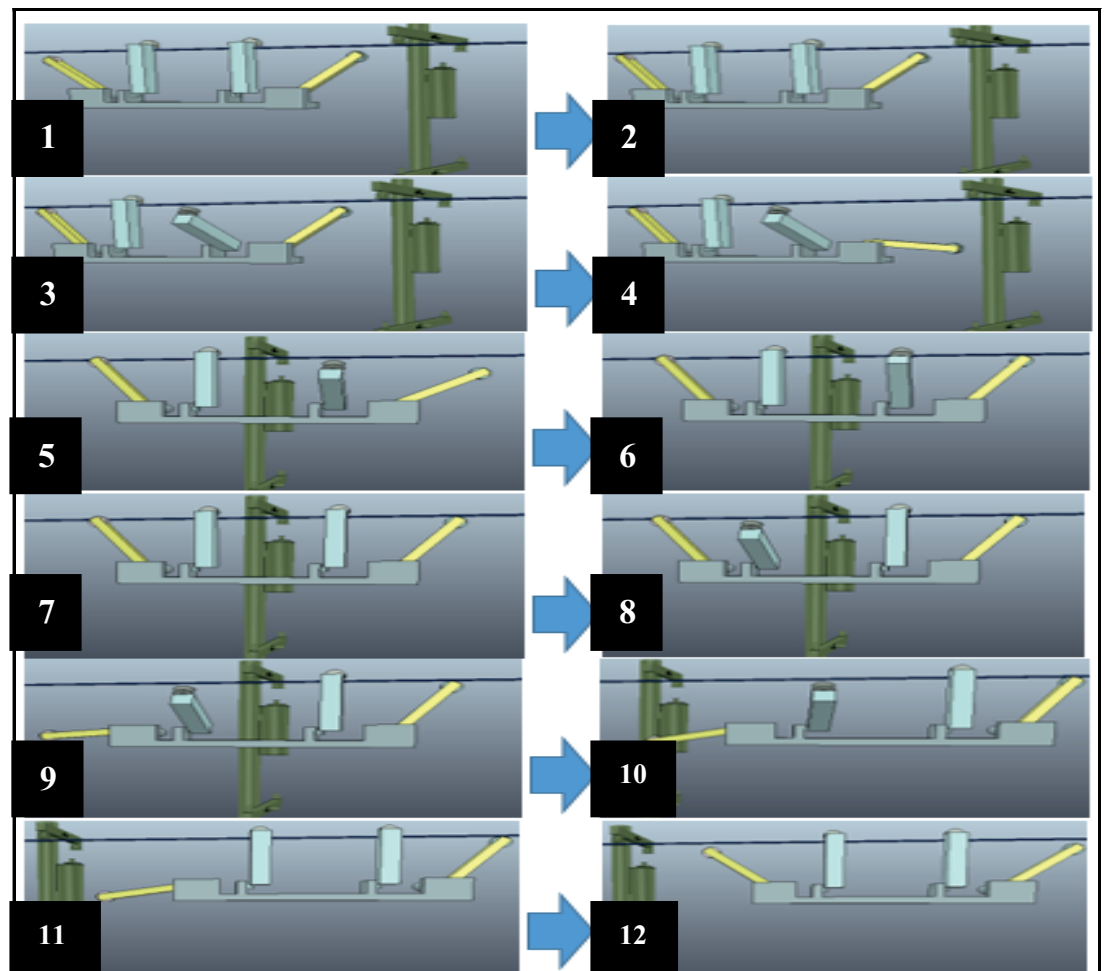
Además, se realizó la simulación de la secuencia de movimientos para eludir un obstáculo en las líneas de transmisión, este compuesta como mínimo de 12 movimientos, que se muestran a continuación:

Los componentes electrónicos seleccionados en la etapa de diseño, permitirán realizar 3 tipos de inspecciones, el sensor de temperatura realizará mediciones del tendido eléctrico y del ambiente. El sensor de distancia podrá detectar objetos del cableado hasta a 4m de distancia la cual se denomina inspección de vegetación y finalmente la cámara a bordo permitirá realizar una inspección visual de los accesorios, el entorno y el estado del cableado.

### 4. Conclusiones

El diseño del robot permite el desplazamiento sobre el cableado eléctrico, lo cual se comprobó en las simulaciones virtuales mediante software.

Mediante el script de programación se realizó la simulación de la secuencia de movimientos necesaria para superar los obstáculos que se encuentren a lo largo del tendido eléctrico, esto adiciona una característica muy importante, lo cual eliminaría la necesidad de desmontar y montar el robot cuando exista un obstáculo.



**Figura 7:** Secuencia de movimientos programados mediante un script, para la simulación del desplazamiento del robot sobre el tendido eléctrico superando un obstáculo. **Fuente:** EIBAR BEJARANO, Carlos Gabriel, 2017.

La sujeción del robot se encuentra directamente relacionado al diámetro de diseño de las ruedas, lo cual permite al robot móvil trabajar sobre cableados utilizados desde baja tensión hasta alta tensión, permitiendo un amplio rango de utilidad.

## 5. Recomendaciones

En la creación de articulaciones en el software de virtualización se debe tomar en cuenta que, *los objetos estáticos no pueden ser directamente actuados a través de articulaciones controladas por par/fuerza, si no que su posición y orientación dependerá de la posición y orientación de otros objetos* [13], por lo cual es necesario la creación de objetos estáticos y dinámicos y posteriormente vincularlos.

Para la implementación del robot se deberá tomar en cuenta el tipo de acople mecánico entre los motores y los brazos, lo cual dependerá directamente del modelo y diámetro del eje de los motores.

## Referencias

- [1] AIN, REE. (2004). *Proyecto Pelicano*. hisparob.
- [2] Aracil, R. (1995). ROBTET: A new teleoperated system for live-line. *Proceedings of the 7th International Conference on Transmission and Distribution Construction and Live Line Maintenance*, 205-211.
- [3] Armendáriz, M. I. (2015). *Riesgos en el mantenimiento de instalaciones de alta tensión en tensión y la aplicación del RD 614/2001*.
- [4] Barajas, O. (2010). Arman robot inspector de líneas eléctricas. *Electrónicos online*.
- [5] Checa, L. M. (2006). *Lineas de Transporte de Energía*.
- [6] CONELEC. (2010). *Informe estadístico sector eléctrico ecuatoriano*.
- [7] Coppeliarobotics. (2016, Agosto 29). *V-REP Create, compose, simulate, any robot*. Retrieved from [www.coppeliarobotics.com](http://www.coppeliarobotics.com)
- [8] Debenest, P. (2008). Expliner – Robot for Inspection of Transmission Lines. *IEEE International Conference on*.
- [9] Elizondo, D. (2010). Overview of Robotic Applications for Energized Transmission Line Work –Technologies, Field Projects and Future Developments. *1st International Conference on Applied Robotics for the Power*.
- [10] Gonçalves, R. S. (2013). Review and latest trends in mobile robots used on power transmission lines. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 408-410.
- [11] Pouliot, N. (2015). LineScout Technology Opens the Way to Robotic Inspection and Maintenance of High-Voltage Power Lines. *IEEE*.
- [12] ARMESTO, L. (18 de 08 de 2016). *Introducción a V-REP en Brazo Articulado*. Obtenido de [robotica.webs.upv](http://robotica.webs.upv)
- [13] Wei, W. (2013). The Mechanism of a Snake-Like Robot's Clamping Obstacle Navigation on High Voltage Transmission Lines. *International Journal of Advanced Robotic Systems*.