

**PROPUESTA DE UN ROBOT HÍBRIDO TELEOPERADO PARA LA  
DESARTICULACIÓN DE ARTEFACTOS EXPLOSIVOS****PROPOSAL OF A TELEOPERATED HYBRID ROBOT FOR THE  
DISMANTLING OF EXPLOSIVE DEVICES**

**Leonardo Chacon Romero \***, **Juan Sebastian Vargas Rojas \***  
**Ruben D. Hernández \***

\* **Universidad piloto de colombia**, Dept. de Ingeniería Mecatrónica.  
Cl. 45 #8-14, Localidad de Chapinero, Bogotá, Colombia..  
Teléfono y Fax, (601) 332 29 00.  
E-mail: leonardo-chacon@upc.edu.co, juan-vargas5@upc.edu.co,  
ruben-hernandez1@upc.edu.co.

**Resumen:** Uno de los mayores factores de amenaza para la población civil y militar en el territorio nacional y en gran parte del mundo son los artefactos explosivos improvisados (IED), las minas terrestres, entre otros tipos de explosivos. Por tal motivo, la propuesta de investigación en este documento se enfoca en la propuesta y modelado de un robot híbrido teleoperado para la desactivación o detonación controlada de ciertos artefactos explosivos, teniendo en cuenta que la interacción cercana con este tipo de artefactos es peligrosa y en algunos casos letales. y debe evitarse. El robot propuesto en el documento está conformado por una plataforma móvil la cual tiene adosado un brazo de tres (3) grados de libertad y tiene una tracción tipo oruga, el actuador final del brazo será una pistola disruptora con la cual se pretende la desactivación. y/o la destrucción de componentes eléctricos de artefactos explosivos. La estructura principal contará con una cámara que se encargará de enviar imágenes del entorno a la unidad de control en tiempo real, lo que permite al operador realizar misiones en diferentes entornos y así garantizar la seguridad del operador y del equipo.

**Palabras clave:** Cañón disruptor, El robot híbrido.

**Abstract:** One of the greatest threat factors for the civilian and military population in the national territory and in much of the world are improvised explosive devices (IED), landmines, among other types of explosives. For this reason, the research proposal in this document focuses on the proposal and modeling of a teleoperated hybrid robot for the deactivation or controlled detonation of certain explosive devices, taking into account that close interaction with this type of device is dangerous and in some lethal cases and should be avoided. The robot proposed in the document is made up of a mobile platform which has an arm with three (3) degrees of freedom attached and has a caterpillar type traction, the final actuator of the arm will be a disruptor gun with which deactivation is intended. and / or the destruction of electrical components of explosive devices. The main structure will have a camera which will be in charge of sending images of the environment to the control unit in real time, which allows the operator to carry out missions in different environments and thus guarantee the safety of the operator and that of the team.

**Keywords:** Disruptor cannon, The hybrid robot.

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, consiste en el desarrollo de un Robot de desactivación de explosivos; creado con el fin de disminuir el riesgo humano en esta tarea. Es denominado Robot EOD por sus siglas en inglés Explosive Ordnance Disposal, así mismo, el robot está compuesto por una plataforma móvil y un manipulador, la plataforma móvil está en configuración diferencial y cuenta con un sistema de tracción tipo oruga para que pueda movilizarse sobre todo tipo de terreno y el manipulador está acoplado a dicha plataforma y consta de tres (3) articulaciones de tipo rotacional. Además, contiene un cañón disruptor de explosivos de tipo comercial, donde este sistema es seleccionado para no generar daños sobre el robot al momento del disparo; por ende, se selecciona uno con menor retroceso. También, se integra una cámara y un sistema de control que permite ser tele operado a una distancia segura.

En cuanto al desarrollo del robot, los autores se basaron en el diseño de una proforma móvil adquirida previamente; a la cual, le realizaron unos ajustes que facilitaron el estudio cinemático. El propósito principal de estos ajustes es formar una estructura sólida, que permita estudiar el móvil como un objeto rígido; de modo que, se tuvo en cuenta las restricciones de tipo holonómicas para el desarrollo del modelo cinemático del móvil, el cual, tiene un comportamiento de tipo diferencial. De igual manera, se realizó el mismo proceso a un manipulador consultado en GrabCAD, una biblioteca de CAD libres. A este diseño seleccionado, se le realizó unos ajustes como el redimensionamiento de las articulaciones, con el fin de tener un mejor espacio de trabajo; luego, se realizó el estudio para determinar el modelo cinemático directo del manipulador y, al finalizar el estudio cinemático de forma independiente. Así mismo, se procede a consolidar un solo modelo cinemático para el robot, donde se acopla el modelo del móvil con el modelo del manipulador.

Por consiguiente, la investigación del modelo cinemático se realizó con el interés de conocer el comportamiento del robot; por esta razón, se llevó a cabo una validación del comportamiento del robot en base a los modelos estudiados, reflejando de forma gráfica la trayectoria efectuada por dos puntos de interés en particular. El primer punto, está ubicado en la plataforma móvil y es donde

estará empotrado el manipulador y el segundo punto, es el efector final del manipulador, donde se ubica el cañón disruptor y la cámara para la tele operación. Por otra parte, establecer los modelos cinemáticos del robot y el modelo cinemático acoplado, permite realizar una simulación del robot y su comportamiento para efectuar un breve control por instrucciones. De este modo, se realizó una implementación del robot en un ambiente controlado, permitiendo la realización de tareas sencillas como: desplazamientos y movimientos del manipulador por el ambiente, la cual, fue de gran utilidad. Cabe destacar, la limitación causada por la pandemia Covid-19, la cual, restringió la posible creación de un prototipo del robot, debido a, que no se podía hacer uso de los laboratorios de la Universidad Piloto de Colombia

## 2. METODOLOGIA

El diseño y desarrollo del robot tele operado, hizo uso de una metodología de estudio de tipo descriptivo; ya que, se realizó la identificación del problema, luego se indagó en los elementos que dan base para abordar la solución, finalmente se desarrolló el sistema. En la Figura 1, se muestra el diagrama del proceso metodológico seguido en el desarrollo del proyecto.

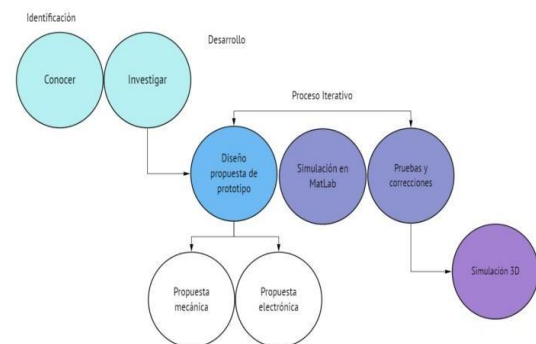


Fig. 1. Diagrama de la metodología del desarrollo del dispositivo.

Tomado de: Propia del autor

## 3. DESARROLLO

### A. Cañon

Cuando se habla de un robot EOD, es importante tener en

cuenta la fuerza de retroceso que ejerce el cañón disruptor al momento del disparo, esta fuerza afecta de manera negativa los componentes mecánicos y electrónicos (Graham, 2003). Después de hacer este análisis, se efectuará la selección del cañón apropiado para la propuesta. En la siguiente Figura 2 (comparación de cañones) se ilustran los cañones comerciales para la aplicación

Chemring  
Innovating to protect


Comparativa Dispositivos EOD						
Nombre	WASP	PIGSTICK	HOTROD	RE12g Mini	RE50-28 Mini	RE70-M3 Plus
Calibre	26,5	26,5	40	19mm	12,7mm	40mm
Longitud mm	485	485	485	450	455	475
Peso Kg	0,96	2,75	3,5	1,1	2,6	3,5
Capacidad C.	300ml	300ml	200ml	50g	100g	290g
Munición	Proyectil de agua	Proyectil de agua	Proyectil de agua	Proyectil Agua o sólido	Proyectil Agua o sólido	Proyectil sólido
E. disparo.	Eléctrico/Pericutor	Eléctrico/Pericutor	Eléctrico/Pericutor	Eléctrico/Pericutor	Eléctrico/Pericutor	Eléctrico/Gas.
P. alt. Kg	2,36	7	10,5	10,5	17,9	26
Q. alt. Min	430°/30°/140	500°/30°/200	500°/30°/200	630°/55°/215	620°/40°/215	620°/40°/215
Compensador	Soporte	Soporte	Soporte	Agua	Agua	Soporte

Figura 2 Características del Cañón  
Tomado de: Chemring

Teniendo en cuenta los cañones comerciales, se dispone a hacer la selección de este por medio del cálculo de la fuerza de retroceso (Figura 3), seleccionando el que tenga una menor fuerza, en la siguiente imagen se ilustra los cálculos realizados.

velocidad:  $v = v_0 + (at)$

Posición:  $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$



$$0,5m = \frac{1}{2} at^2$$

$$a = \frac{200}{t}$$

$$0,5m = \frac{1}{2} \left( \frac{200}{t} \right) t^2$$

$$t = 0,005s$$

$$a = \frac{200}{0,005} = 40000 \text{ m/s}^2$$

$$F_p = 0,05g(40000) = 2000N$$

Figura 3 Fuerza de retroceso,  
Tomado de: Propia del autor

Cabe aclarar que estos cálculos son el resultado para el cañón que una menor fuerza de retroceso, siendo este el que mejor se acopla a la propuesta. El cañón seleccionado es de la referencia RE12g Mini, que utiliza un proyectil de agua o sólido, con un compensador de agua, este sería el cañón encargado de realizar la disruptión del artefacto explosivo.

## B. Modelo cinemático acoplado

Para la construcción del modelo cinemático acoplado se deben tener en cuenta los dos modelos cinemáticos independientes del robot, el primer

modelo considerado es el obtenido de la plataforma móvil, que parte de un modelo cinemático de tipo diferencial, el segundo modelo considerado es el obtenido del manipulador móvil.

### 1) Modelo cinemático plataforma móvil.

Para la construcción del modelo cinemático del manipulador móvil es necesario graficar la plataforma móvil sobre el plano X y Y como se muestra en la siguiente Figura 4.

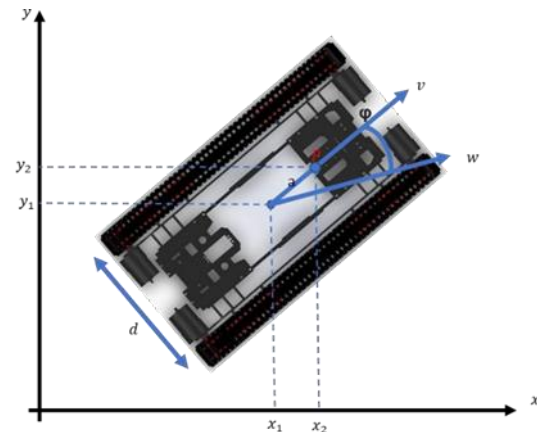


Figura 4 Diagrama robot diferencial  
Tomado de: Propia del autor.

Teniendo en cuenta la orientación de la plataforma móvil se puede obtener las siguientes ecuaciones:

$$\dot{x}_p = v \cos \varphi - a w \sin \varphi \quad (1)$$

$$\dot{y}_p = v \sin \varphi + a w \cos \varphi \quad (2)$$

Donde “a” es la distancia que hay entre el centro del vehículo y el punto “P” que, en este caso en nuestro punto de interés, “w” es la velocidad angular y el Angulo  $\varphi$  es la orientación del móvil, a partir de este se puede obtener el modelo cinemático de la plataforma en forma matricial, visto en la siguiente ecuación.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -a \sin \varphi \\ \sin \varphi & a \cos \varphi \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} \quad (3)$$

### 2. Modelo cinemático manipulador.

En el proceso de calcular la cinemática directa del manipulador de tres grados de libertad, es necesario ubicar la orientación del manipulador en el plano X y Z, también es de vital importancia

ubicar los ángulos en cada eslabón, ya que son de utilidad para calcular la posición de cada sección del manipulador, como se muestra en la Figura 5.

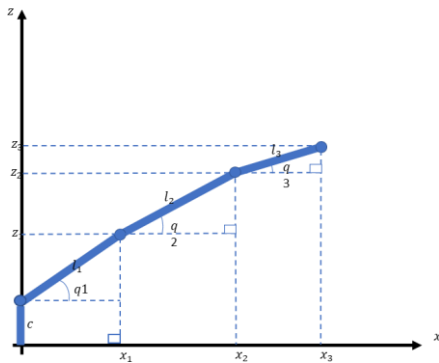


Figura 5 Orientación del manipulador

Donde,  $q_1$ ,  $q_2$  y  $q_3$  hace referencia al nombre de cada uno de los ángulos que genera cada articulación; mientras que,  $l_1$ ,  $l_2$  y  $l_3$  hace referencia a el nombre de cada articulación y  $c$  hace referencia a la altura de la base. Una vez los parámetros estén ubicados, es necesario ubicar el  $hx$  y  $hz$  que son la sumatoria de las distintas variables, dicho esto el modelo cinemático directo del manipulador se describe en las siguientes ecuaciones.

$$hx = l_1 \cos q_1 + l_2 \cos (q_1 + q_2) + l_3 \cos (q_1 + q_2 + q_3) \quad (4)$$

$$hz = c + l_1 \sin q_1 + l_2 \sin (q_1 + q_2) + l_3 \sin (q_1 + q_2 + q_3) \quad (5)$$

### 3. Modelo cinemático acoplado

Para que el acople del manipulador y la base móvil sea exitoso es necesario agregar otra dimensión en el estudio, de esta manera, el análisis se volverá tridimensional como se muestra en la Figura 6.

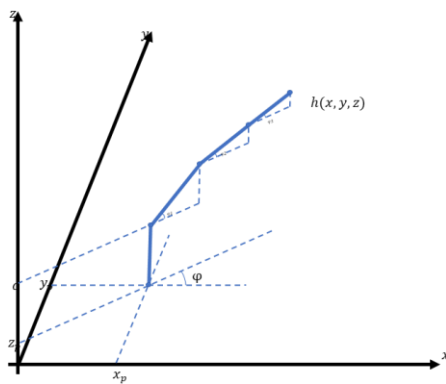


Figura 6 Estudio tridimensional del manipulador móvil

Tomado de: Propia del autor

Teniendo en cuenta el ángulo  $\varphi$  mostrado en la figura anterior y el complemento en el eje, se construyen las nuevas ecuaciones que hacen parte del estudio cinemático, así logrando una correcta relación entre la base móvil y el manipulador.

$$hx = x_p + l_1 \cos q_1 \cos \varphi + l_2 \cos (q_1 + q_2) \cos \varphi + l_3 \cos (q_1 + q_2 + q_3) \cos \varphi \quad (6)$$

$$hy = y_p + l_1 \cos q_1 \sin \varphi + l_2 \cos (q_1 + q_2) \sin \varphi + l_3 \cos (q_1 + q_2 + q_3) \sin \varphi \quad (7)$$

$$hz = z_p + c + l_1 \sin q_1 + l_2 \sin (q_1 + q_2) + l_3 \sin (q_1 + q_2 + q_3) \quad (8)$$

Una vez obtenido el modelo cinemático acoplado del robot móvil es utilizado para realizar la simulación y posterior validación del sistema propuesto.

## 4. RESULTADOS

El objeto principal es la validación del sistema propuesto en dos diferentes softwares de ingeniería, el primer software es Matlab, que hace la comprobación de los modelos cinemáticos necesarios para el estudio de movimiento del robot. El segundo software es Webots, que hace la integración de un ambiente controlado de simulación y permite emular el comportamiento del robot en el mundo real.

### A. Validación del modelo cinemático propuesto

El objeto de estudio es establecer el correcto funcionamiento de las tareas de locomoción de la oruga, así como también del manipulador. Para la comprobación del modelo cinemático, se implementó en Matlab diferentes trayectorias que el robot debería realizar con facilidad; esto con el fin de, simular el comportamiento del robot en entornos controlados.

La primera trayectoria lograda es línea recta, como se observa en la Figura 7, es la más sencilla y se logra en la igualdad de las velocidades de la oruga. Además, esta trayectoria está resaltada en color rojo y para la trayectoria lograda por el efector final en esta misma figura, se implementó una señal sinodal y se encuentra resaltada en color azul.

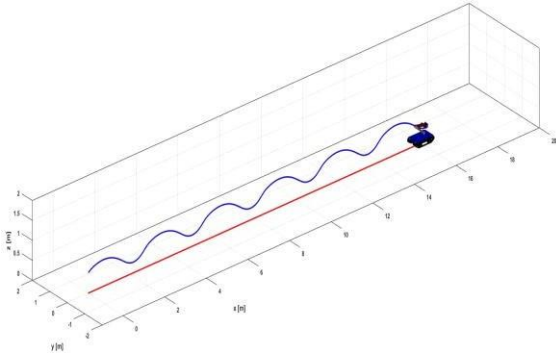


Figura 7 Trayectoria en línea recta  
Tomado de: Propia del autor

La segunda comprobación del modelo cinemático se logró al implementar una desigualdad en las velocidades de la oruga, de tal manera que, sea la velocidad de la oruga izquierda menor que la velocidad de la oruga derecha y al realizar esta condición se logró observar una trayectoria circular, observar en la Figura 8. En esta figura, también, se puede observar la trayectoria efectuada por el efector final en color azul que sigue una trayectoria senoidal

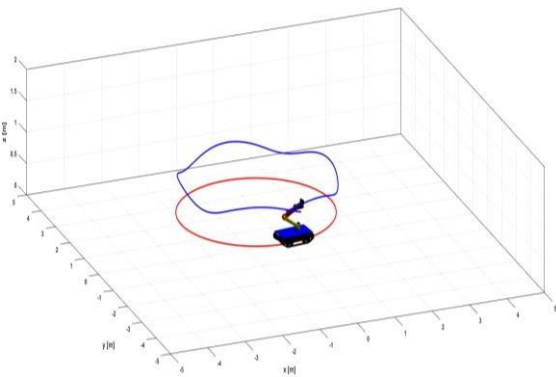


Figura 8. Trayectoria circular  
Tomado de: Propia del autor

La tercera comprobación del modelo cinemático se logró al implementar una trayectoria con forma de ocho, que consta de dos ciclos: el primero, se realiza con una desigualdad en las velocidades de la oruga, logrando así una trayectoria circular similar a la mostrada en la Figura 8; pero, a diferencia de la circular, al llegar al punto de partida no se detiene si no que intercambia las velocidades entre las orugas para realizar otra trayectoria circular en sentido contrario, terminando aquí el segundo ciclo y dando como resultado la trayectoria en forma de ocho como se observa en la Figura 9. Para esta trayectoria la

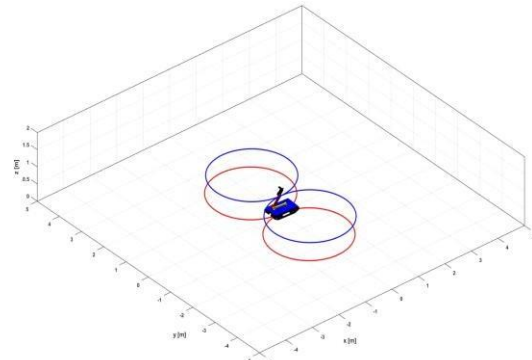


Figura 9. Trayectoria en forma de 8.  
Tomado de: Propia del autor

disposición del manipulador está estático, ya que, así genera una trayectoria plana en forma del 8 similar a la seguida por la oruga. o alfabético, primero con los apellidos (el segundo, si aplica, sólo con la inicial) y separado con coma las iniciales de los nombres. La utilización de mayúsculas sostenidas está reservada únicamente para siglas. En esta revista se siguen las normas IFAC para publicaciones.

La cuarta comprobación es una trayectoria senoidal, esta se logra alternando las velocidades de las orugas a distintos intervalos y permitiendo realizar trayectorias semicurvas. El primer intervalo realiza una semicurva hacia la derecha, posterior a esto, el robot efectúa un corto trazado en línea recta; para finalmente, realizar un intervalo final con una semicurva a la izquierda y así cumplir la trayectoria senoidal que se observa en la Figura 10.

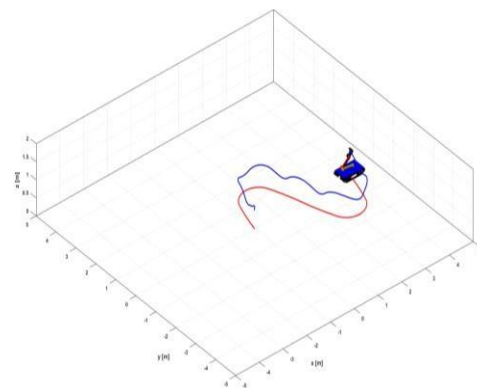


Figura 10. Trayectoria senoidal  
Tomado de: Propia del autor.

La quinta y última comprobación es una trayectoria rectangular, esta se logra con velocidades iguales en las aristas y velocidades iguales, pero, opuestas

en los vértices para girar sobre el eje z, dando como resultado la trayectoria observada en la Figura 11.

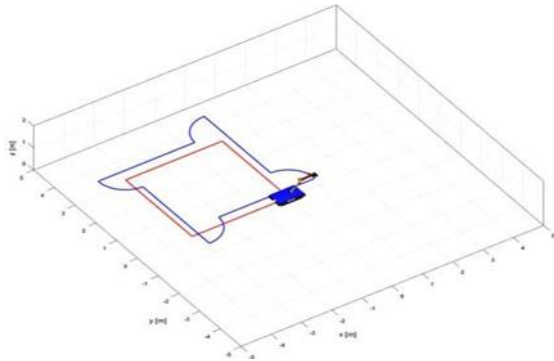


Figura 11. Trayectoria rectangular  
Tomado de: Propia del autor.

También, se efectuó una postura diferente para esta comprobación, en la que se dispuso el manipulador para quedar en una posición de mayor alcance del efector final. Por consiguiente, su trayectoria no forma un cuadrado perfecto y está resaltada en color azul. La posición del manipulador se puede observar en la Figura 12.

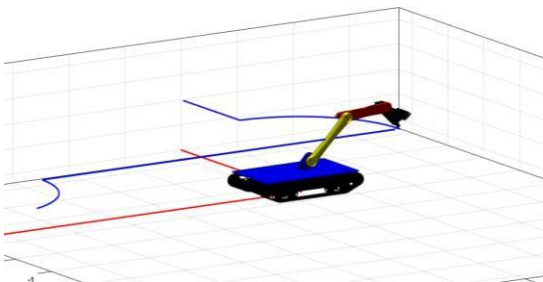


Figura 12 Disposición del manipulador en trayectoria rectangular  
Tomado de: Propia del autor.

#### B. Validación del sistema robótico en ambiente controlado de simulación

La validación del sistema robótico, se efectuó con la ejecución de la simulación en Webots, esta simulación nos ofrece un ambiente controlado, de tal manera que, permite la comprobación del funcionamiento de los sistemas del robot. Además, en esta se integra todas las funcionalidades del robot para la aplicación deseada, a excepción del cañón, ya que, el Webots no permite simular explosiones o detonaciones para desarrollar el

cañón en este ambiente. En la Figura 13, se observa la simulación en ejecución.

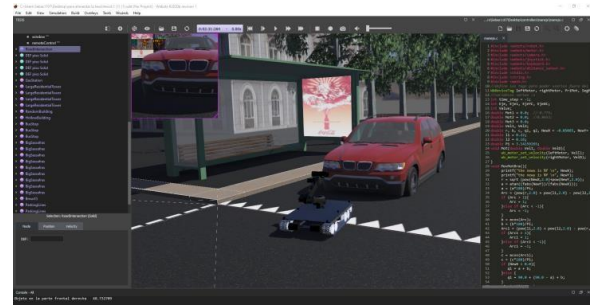


Figura 13. Sistema robótico en simulación.  
Tomado de: Propia del autor.

Una descripción más detallada de la Figura 13 permite ver que el robot se encuentra de forma estática y con una postura del manipulador, en la que permite, un breve reconocimiento de la parte frontal de un vehículo. Por otro lado, la vista de la cámara en la parte superior permite observar el recuadro que contiene la visualización que se tiene desde la cámara, esta vista general, permite ver el controlador implementado al costado derecho y en la parte izquierda de la misma, donde se observa todos los nodos usados en el ambiente.



Figura 14. vista desde cámara.  
Tomado de: Propia del autor.

La Figura 14 es un zoom de la Figura 13, donde se muestra lo observado por la cámara, por lo tanto, esto sería lo que el operador del robot vería desde su puesto de mando y en el que se permite ver el frontal de un vehículo. Esta vista complementada con mando de Xbox One usado, hace referencia al sistema de tele operación, dado que, el mando es el encargado de recibir las acciones que desea realizar el operador y enviarlas, donde la vista desde la cámara y la lectura son sensores de retroalimentación para el operador. En la Figura

15, se puede observar el mando usado con la demarcación de cada Joystick usado.

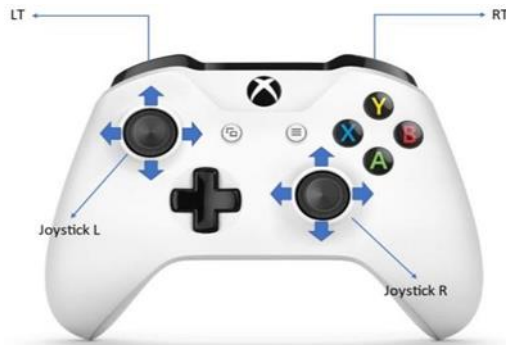


Figura 15. Mando Xbox One  
Tomado de: Propia del autor.

Para ejecutar los movimientos de desplazamiento del robot, se utiliza el Joystick L, que consiste en avanzar hacia adelante, hacia atrás, rotar sobre su centro de gravedad, tanto a izquierda como a derecha y girar en movimiento usando una pequeña variación de velocidades. Para efectuar movimientos del manipulador, se utiliza el Joystick R; donde si se mueve de forma vertical, se estará movimiento en altura el brazo y si se mueve de forma horizontal, se estará moviendo de forma longitudinal. Por otra parte, si se desea enfocar la cámara y el cañón, se utilizan los gatillos RT y LT; para este caso, LT se usa para bajar la vista de la cámara y RT para subir.

El sistema sensorial acoplado en la plataforma móvil, permite complementar la retroalimentación de imagen lograda por la cámara. En la Figura 16, se muestra la lectura del sensor frontal derecho, de modo que, la distancia está mostrada en centímetros. Por otro lado, el sistema sensorial cuenta con 6 de estos sensores, dos ubicados en la parte frontal, dos en la parte trasera y uno para cada costado del robot. La lectura de estos sensores es impresa por consola en el mismo Webots.

```

Console - All
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
Objeto en la parte frontal derecha 48.732709
  
```

Figura 16. Lectura de Sensores.  
Tomado de: Propia del autor.

Para la validación del sistema de locomoción en Webots, se procede a realizar verificaciones de movilidad con pequeños desplazamientos hacia adelante y hacia atrás, así como giros en ambos sentidos. En la Figura 17, se evidencia la primera validación del sistema de locomoción, efectuándose un corto desplazamiento hacia adelante, luego, hacia atrás.

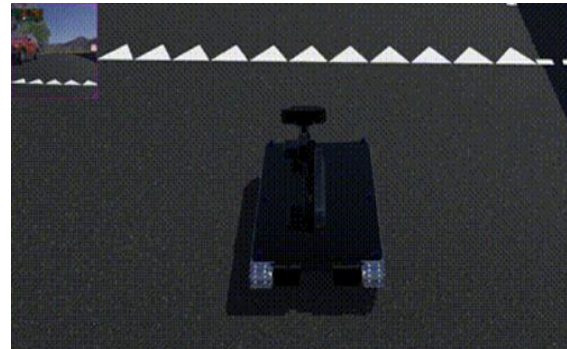


Figura 17. Validación de locomoción  
Tomado de: Propia del autor.

En la Figura 17, se puede observar el movimiento de un giro, validando así el correcto funcionamiento del sistema de locomoción del robot. Cabe destacar que, en las Figura 16 y Figura 17 se puede observar de manera detallada la vista obtenida por el robot mediante la cámara, esta vista se observa en la parte superior izquierda de un recuadro color lila.

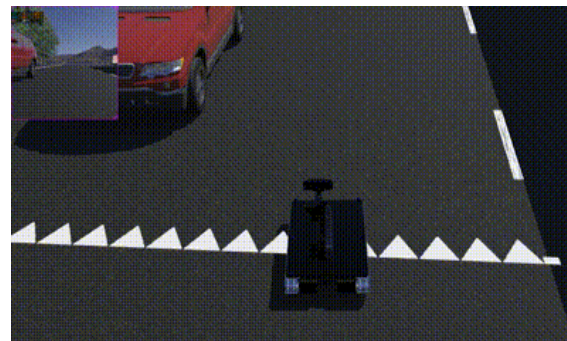


Figura 18. Giro hacia la derecha.  
Tomado de: Propia del autor.

Para la validación del sistema de actuación, se procede a efectuar movimientos con el manipulador. El primer movimiento logrado es subiendo el efector final, para posteriormente bajarlo; este movimiento se puede observar en la Figura 18. También, se puede observar un pequeño balanceo en la vista de la cámara, esto debido, al

movimiento de la cámara para intentar una vista estática de un solo punto mientras se mueve el manipulador, por este motivo, se efectuaron pequeñas correcciones por parte del operador desde el mando de distancia.

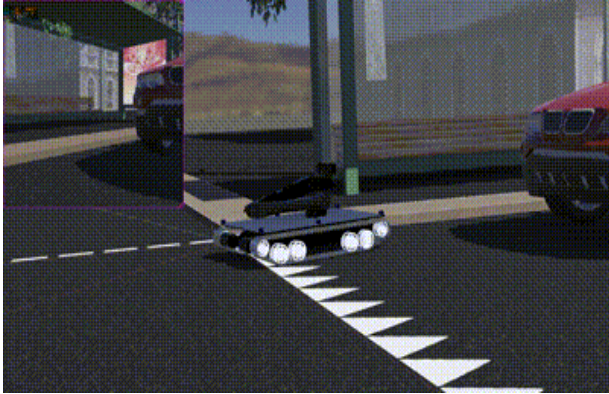


Figura 19. Primera validación de movimiento del manipulador.

Tomado de: Propia del autor.

El movimiento del manipulador se realiza siempre con el robot móvil estacionado en el punto de interés, debido a, que al efectuarse movimientos del manipulador cuando el robot se encuentra en desplazamiento incurre en inestabilidad, pudiendo así ocasionar volcamientos. Por tal motivo, en las validaciones del sistema de locomoción los desplazamientos siempre se realizaron con el manipulador en su punto mínimo, logrando así, un centro de masa más bajo posible. El operador puede ajustar la configuración del manipulador según lo desee y le permita cumplir el desarrollo de las tareas asignadas.

## 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Partiendo de la bibliografía consultada en base al modelamiento cinemático (Manipuladores y robots móviles) fue posible desarrollar un el modelo cinemático para cada una de las partes del robot, para la parte móvil o plataforma móvil, así como también para el manipulador, una vez realizado esto fue necesario consultar a diferentes autores (Modelado y control de un manipulador móvil para seguimiento de trayectoria) para poder comprender la integración de las partes en una sola, logrando así el acoplamiento exitoso entre los dos modelos obtenidos y logrando obtener un solo modelo cinemático acoplado del robot.

Seguido a lo mencionado anteriormente se validó el modelo cinemático en Matlab y su correcto funcionamiento, en este medio de simulación se implementaron diferentes trayectorias para el

robot, resaltando las efectuadas en los puntos de interés ubicados en el efector final del manipulador y en el punto P de la plataforma móvil, justo donde esta empotrado el manipulador. En este proceso se logró dar validación al modelo cinemático ya que su comportamiento era el esperado en las diferentes validaciones. Es decir, el robot logro ir en línea recta cuando la velocidad entre la oruga derecha e izquierda eran igual, también se logró generar la trayectoria circular cuando una de las velocidades entre las orugas era superior a la otra. Paralelo a esto el manipulador estaba siguiendo una trayectoria según la postura definida.

Posteriormente de haber reunido información sobre los sistemas disruptivos y la evolución en el tiempo, se realizó un análisis para determinar y organizar las prioridades para cumplir el objetivo, se evidencio que los cañones más efectivos y prácticos en tamaño y en potencia son los de carga activa ya que no necesitan una fuente de energía muy grande para realizar la detonación de la carga, ideales para su transporte sin la necesidad de tener dispositivos de gran tamaño para generar presión, Se realizó la búsqueda de cañones comerciales de empresas que se especializan en tecnologías disruptivas como resultado se encontraron 6 alternativas de cañón, para el proceso de selección se utilizó el método de dar puntuación a los cañones según las necesidades del robot disruptor de esta investigación, los criterios de selección fueron; poco tamaño de la estructura general de cañón ya que se busca el más liviano y práctico para que no hiciera tanta resistencia al manipulador dificultando los movimientos con el peso, debe tener compensador ya que es la manera más efectiva de reducir la fuerza de retroceso, y el que genere la menor fuerza de rebote, para poder incluir este parámetro fue necesario realizar un análisis de fuerzas de cada cañón, después de haber revisado todos los cañones con sus respectivas calificaciones como se observa en la tabla de "Resumen Cañones EOD", el cañón más conveniente para este proyecto según las puntuaciones fue el RE50-28 Midi Disruptor que cumple con la mayor parte de los requerimientos según los parámetros que se estaban calificando.

Debido a la situación que se vive en el país debido al pandemia covid-19, solo se puede proponer los dispositivos electrónicos necesarios que permitirían establecer el diagrama de conexiones funcional del robot, ya que es difícil hacer pruebas debido a las restricciones como lo fue el confinamiento y aislamiento social. Es por lo que se hizo una propuesta electrónica con componentes adquiridos



antes de la pandemia por los autores para el desarrollo del proyecto.

Finalmente, en Webots se logra la interacción entre la mayoría de los sistemas diseñados para el robot, resaltando que Webots no permite simular la desactivación o manejo de explosivos, el sistema disruptor seleccionado no fue simulado en este software. Una vez aclarado esto la simulación efectuada en Webots nos permite validar la teleoperación, movilidad de robot y la integridad del modelo desarrollado. Para esto se realizaron pruebas de manejo en donde se efectuaba movimientos de la plataforma móvil, pequeños movimientos hacia adelante y atrás, giros en ambos sentidos, permitieron detectar una pequeña inestabilidad al momento de romper la inercia. Respecto a la posición del manipulador se logra variar su posición siempre y cuando este en una posición estable, ya que al efectuar movimientos del manipulador cuando la plataforma móvil se encuentra realizando un desplazamiento puede incurrir en inestabilidad que logran causar volcamientos. La teleoperación fue lograda por la vinculación de una cámara en el robot y por el uso externo de un mando de Xbox, donde el operador logra observar en primera persona de lo que el robot estaría viendo, y haciendo uso del mando logra los desplazamientos deseados y orientación del efector final del manipulador.

## 5. REFERENCIAS

- Aguilar, A. (2012). Diseño, impresión, montaje y control de un manipulador robótico. Universidad Carlos III de Madrid, 78. [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16922/TFG\\_Alejandro\\_Aguilar\\_Romero.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16922/TFG_Alejandro_Aguilar_Romero.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Aguilera, S., Torres-Torriti, M., & Auat, F. (2014). Modeling of skid-steer mobile manipulators using spatial vector algebra and experimental validation with a compact loader. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Iros, 1649–1655. <https://doi.org/10.1109/IROS.2014.6942776>
- Andaluz, V. H., Sásig, E. R., Chicaiza, W. D., & Velasco, P. M. (2017). Linear algebra applied to kinematic control of mobile manipulators. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 449, 297–306. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-6451-7\\_35](https://doi.org/10.1007/978-981-10-6451-7_35)
- Andaluz, V. H., Varela-aldás, J., Chicaiza, F. A., & Quevedo, W. X. (2019). Teleoperación de un manipulador móvil con retroalimentación de fuerzas para evasión de obstáculos. 291–305.
- Andrews, C. (2010). How to... Defuse a Bomb. 52–54.
- Andy, T., & Andrew, J. (2020). Control Based on Linear Algebra for Mobile Manipulators. 1–8.
- Angulo, C., Ponsa, P., & Raya, C. (2006). Construcción modular de robots móviles. Proyecto basado en portafolio para estudiantes de grado. *Revista Iberoamericana de Tecnologías Del Aprendizaje*, 1(1), 19–26.
- Arencibia, G., Hernandez, F., Menéndez, J., Rodríguez, J., & Pérez, A. (2020). ESTIMACIÓN DE ORIENTACIÓN, BASADA EN FILTRO DE KALMAN, USANDO UNIDAD DE MEDICIÓN MEDICIÓN INERCIAL SIN MAGNETÓMETRO. 41(3), 369–378.
- Chantrasmi, T., Tansuwanarat, S., & Vallikul, P. (2015). Compact counter-recoil design of water cannon using a single nozzle with backward spray. *ACDT 2015 - Proceedings: The 1st Asian Conference on Defence Technology*. <https://doi.org/10.1109/ACDT.2015.7111576>
- Clavijo, J. P. B., Morales, S. C., & Cárdenas, H. A. P. (2016). Análisis comparativo de las pruebas físicas del personal naval, región costa y sierra. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 45(4), 1–16.
- COLOMBIA, D. D. (2017). Estándares Nacionales de Desminado Humanitario Antipersonal en Colombia . Está permitido reproducir , guardar o transmitir el documento o partes del mismo , por fuente . Este documento y su contenido no pueden ser comercializados . Estándares Nacionales d. 1–33.
- Corke, P. (2020). Robotics Toolbox. *Robotics Toolbox for Matlab*, 10, 437. [http://petercorke.com/Robotics\\_Toolbox.html](http://petercorke.com/Robotics_Toolbox.html)
- Correa, M. (2010). EVALUACIÓN DE LA SALUD MENTAL EN MILITARES HERIDOS EN COMBATE DEL EJÉRCITO NACIONAL DE COLOMBIA. - INTERVENCIÓN COGNITIVO CONDUCTUAL-. 9(1), 76–99. <https://doi.org/10.1558/jsrnc.v4i1.24>
- Darío, G., & Olga, R. (2016). Sistema Teledirigido De Un Brazo Robótico De 4 Grados De Libertad Aplicando Visión De Máquina. 571, 121–129.
- De Fazio, R., Cafagna, D., Marcuccio, G., Minerba, A., & Visconti, P. (2020). A multi-source harvesting system applied to sensor-

based smart garments for monitoring workers' bio-physical parameters in harsh environments. *Energies*, 13(9).  
<https://doi.org/10.3390/en13092161>

Díaz, H., & Isabel, G. (2003). Minas antipersonales (M.A) en Colombia costo físico y emocional. *Umbral Científico*, 2, 0.

Díaz-cacho, M., Ing, E., Informatica, S., Ing, E., Informatica, S., & Barreiro, A. (2012). Plataforma de telerrobótica para laboratorios docentes.

Dueñas, J. (2009). VEHICULO EXPLORADOR PARA EL RECONOCIMIENTO DE ARTEFACTOS EXPLOSIVOS. *Society*, 3, 464.

Enke, T. (2015). Manual De Seguridad Sobre Explosivos De Guerra Y. 3, 126.

Fong, T., & Thorpe, C. (2001). Vehicle teleoperation interfaces. *Autonomous Robots*, 11(1), 9–18.  
<https://doi.org/10.1023/A:1011295826834>

Fong, T., Thorpe, C., & Baur, C. (2001). Advanced interfaces for vehicle teleoperation: Collaborative control, sensor fusion displays, and remote driving tools. *Autonomous Robots*, 11(1), 77–85.

<https://doi.org/10.1023/A:1011212313630>

Goldenerg, A., Kircanski, N., Dickie, S., Scott, G., & Grynieswski, L. (2000). EXPLOSIVES DISPOSAL ROBOT -

Patent Number:6,113,343.

González, R., Rodríguez, F., & Guzmán, J. L. (2015). Robots móviles con orugas. Historia, modelado, localización y control. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 12(1), 3–12.  
<https://doi.org/10.1016/j.riai.2014.11>.