

Diseño de Robot Móvil para tareas de Desminado Humanitario

Gutiérrez, Nelson^{1*}; Espinoza, David¹

¹Universidad UTE, Facultad de ciencias de la ingeniería e industrias, Quito, Ecuador

Resumen:

En el presente trabajo se muestra el diseño de una plataforma móvil con desplazamiento automático para la detección de metales. El dispositivo tiene una geometría cuadrada con un área de 5 m², el cual tiene la finalidad de ayudar a los especialistas para la detección de minas explosivas, reduciendo el tiempo de detección de explosivos y disminuyendo el riesgo de accidentes. La plataforma consta de cuatro columnas de apoyo, cada una tiene un sistema de poleas y cabrestantes que se sujetan a un actuador final mediante cordeles, donde se instala un sensor para la detección de elementos metálicos posicionado en sentido horizontal y paralelo al terreno, con movimiento en dos planos sin tocar el piso, reduciendo la posibilidad de detonación de una mina. También incluye un programa que genera una trayectoria de exploración del terreno para ubicar los metales de forma intuitiva, con un mecanismo de marcado por pintura aerosol. Para el diseño del sistema se utilizó la metodología en V lo que facilita el diseño concurrente.

Palabras clave: Robot móvil, mina explosiva, detector de metales, ruta planificada, sistema mecatrónico.

Recibido: 25 de noviembre de 2022. Aceptado: 20 de febrero de 2023

Received: November 25th, 2022. Accepted: February 20th, 2023

Design of Mobile Robot for Humanitarian Demining Tasks

Abstract:

In the present work the design of a mobile platform with automatic displacement for the detection of metals is shown. The device has a square geometry with an area of 5 m², which is intended to help specialists for the detection of explosive mines, reducing the detection time of explosives and reducing the risk of accidents. The platform consists of four support columns, each one has a system of pulleys and winches that are attached to a final actuator by means of ropes, where a sensor is installed for the detection of metal elements positioned horizontally and parallel to the ground, with movement in two planes without touching the floor, reducing the possibility of detonation of a mine. It also includes a program that generates an exploration path of the terrain to locate the metals intuitively, with a marking mechanism by spray paint. For the design of the system, the V methodology was used, which facilitates concurrent design.

Keywords: Mobile robot, explosive mine, metal detector, planned route, mechatronic system.

(*) Nelson.gutierrez@ute.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

Las **minas explosivas** de uso militar que fueron utilizadas en los distintos enfrentamientos bélicos a lo largo de la historia moderna de la humanidad, que se vio con mayor frecuencia en el siglo XX tanto en la Primera como en la Segunda Guerra Mundial, también conflictos más cercanos como la Guerra del Cenepa o la Guerra de las Malvinas donde este tipo de dispositivos bélicos fueron diseminados por grandes extensiones de tierra. Este tipo de dispositivos tienen una vida útil prolongada ya que fueron diseñados para la guerra, pero una vez que terminan los conflictos resultan ser potencialmente letales para civiles inocentes o ganado (Espinoza et al., 2022).

2. MARCO TEÓRICO

El Comité Internacional de la Cruz Roja manifiesta que la problemática de las minas antipersonal es de carácter generalizado alrededor del mundo. En el caso de Ecuador, las zonas que aún presentan minas se encuentran en tres provincias fronterizas con Perú, éstas son: Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe (Castiblanco et al., 2020). En estos lugares hay aproximadamente más de 126.824 personas que se encuentran afectadas ya que viven en una zona de riesgo y se limita el aprovechamiento del suelo en estos sectores como se observa en la Figura 1.



Figura 1. Mapa de zonas minada en Ecuador (Jiménez, 2017).

Para el diseño del robot se ha determinado que la opción mas adecuada consiste de un mecanismo vinculado a cuatro postes los cuales tienen motores y poleas que están unidas a los cordeles, los que a su vez están conectados a los vértices de una plataforma que es el efector final que está ubicada en forma paralela al suelo. Hay aplicaciones utilizadas en la practica como sistemas de cámaras utilizadas en los estadios de futbol (Skycam) (Echevarría, 2019). Un aspecto crítico es determinar el sistema de control para poder establecer la ruta mas adecuada para garantizar que se cubre totalmente el terreno que se quiere analizar (Ismail et al., 2014), para lo cual se desarrollo un sistema de rutas en 3 dimensiones (Rachkov et al., 2005).

Entre los dispositivos explosivos que detecta, se tiene los que hayan sido fabricados con componentes metálicos entre ellos se tiene: M15, TYPE95, OZM-72, AC NM AE T1 Y TAB-1 (Hemapala, 2017), no obstante existe la posibilidad de encontrar metales comunes en el terreno minado como por

ejemplo: monedas, latas de aluminio o residuos metálicos de cualquier tipo, para poder discernir si se está ante la presencia de una mina o simplemente basura se considerará la marca de la frecuencia de una mina mediante espectroscopia por inducción electromagnética (Acar et al., 2001).

3. METODOLOGÍA

Para este trabajo se ha optado por una metodología de Modelo en V como se observa en la Figura 2 que brinda una noción generalizada acerca del proyecto.

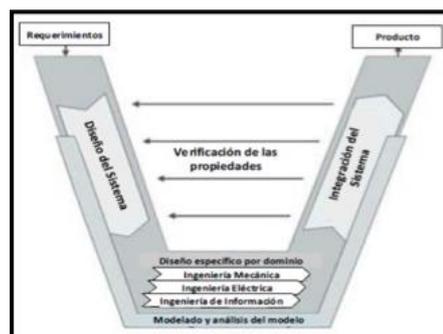


Figura 2. Modelo en V para el diseño de Sistemas Mecatrónicos (Fernández, 2010)

3.1 Requerimientos

Para el diseño del sistema se han determinado los siguientes requerimientos:

- El sistema debe medir la distancia entre el plato del detector de metales y el suelo.
- El dispositivo será capaz de detectar metales enterrados o no a una profundidad de 10 cm.
- El dispositivo deberá mantener una posición paralela al suelo.
- El sistema debe moverse de forma bidimensional.
- El sistema debe ser capaz de marcar el suelo indicando la presencia de metales enterrados.
- El sistema debe sostener el efector final compuesto de un plato detector de metales y su estructura.
- Al inicio y al final del barrido del área determinada el efector final, parte y regresará a una posición de inicio.

3.2 Diseño del sistema

3.2.1 Diseño mecánico

Para el desarrollo de estos sistemas se propone la configuración de cuatro postes con sus respectivas bases; las cuales contuvieron todo el mecanismo que tira y trae los cordeles para provocar el movimiento del efector final. A continuación, se presenta en la Figura 3 el marco del mecanismo.

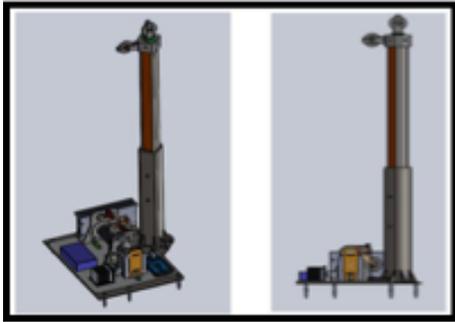


Figura 3. Marco del mecanismo

3.2.1.1 Sistema de carrete

Este sistema fue el responsable de transmitir el movimiento al efector final mediante los cordeles, por lo tanto, en este sistema lo que se busca es que pueda suministrar cordel de forma continua y a una velocidad constante, para ello se tomó en consideración la ventaja que ofrecen los motores a pasos, tanto en el torque como en el control de la velocidad angular como se muestra en la Figura 4.

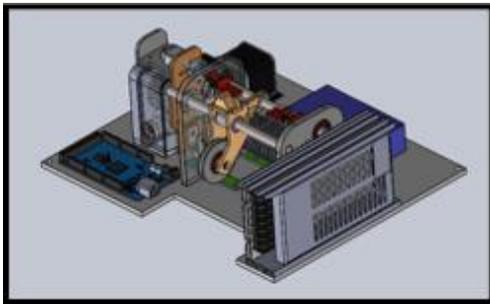


Figura 4. Sistema de carrete

3.2.2. Diseño electrónico

El sistema de control se implementó con una red I2C que está constituida por un maestro y cuatro esclavos con base en Arduino, por este motivo es necesario 3 tipos modelos de PCB, estos fueron: la del maestro, la de los esclavos y por último la de la pintura, estas placas de circuitos integrados fueron diseñadas para facilitar la conexión de los componentes y algunos periféricos, se optó por el uso de conectores Molex.

Para el esclavo no fue necesario una gran cantidad de entradas y salidas por lo tanto se utilizó un Arduino Nano y al saber que prácticamente se utilizaron las mismas conexiones de los sensores y periféricos que utiliza el Maestro, pero con la diferencia que las conexiones entre los esclavos se realizaron puentes para pudieran conectarse entre ellos como se observa en la Figura 6.

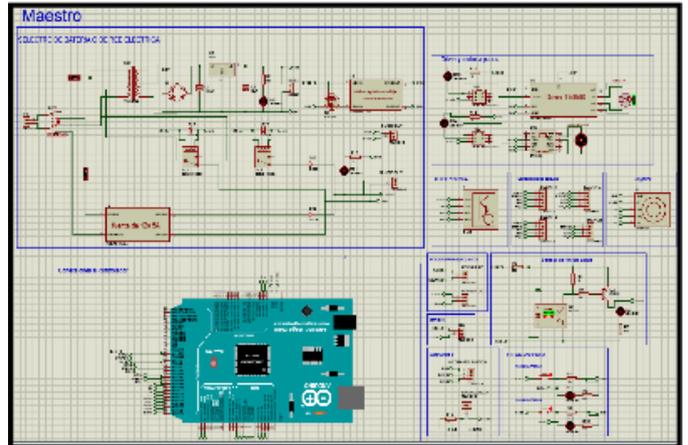


Figura 5. Diagrama esquemático del Maestro

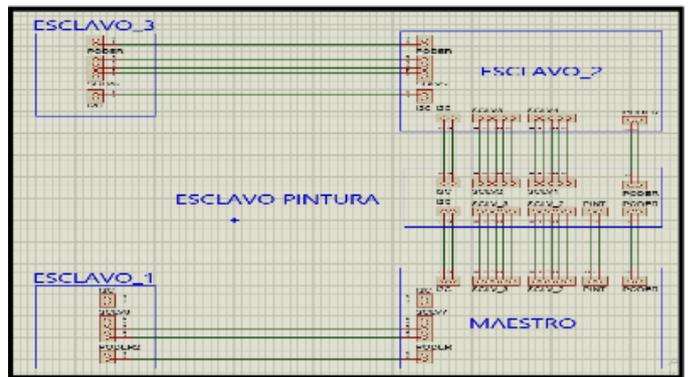


Figura 6. Conexión entre maestro y esclavos

3.2.3 Diseño cinemático

En esta sección se planteó la creación de los algoritmos de control para el dispositivo, para lo cual fue necesario resolver la cinemática directa e inversa como también la dinámica.

3.2.3.1 Espacio de trabajo

Para este tipo de robots hay que tomar en cuenta el espacio de trabajo ya que por la naturaleza del mecanismo tensionado por cables existen posiciones en el área comprendida por los marcos del mecanismo que están en los vértices del cuadrado que se llaman singularidades, como se puede observar en la Figura 7. En otras palabras, el efector final que en este caso tuvo un movimiento en dos grados de libertad que fueron en el eje x y el eje y, pero al llegar a una posición de singularidad el efector final gana o pierde un grado de libertad provocando que los controladores sean incapaces de controlar la posición del mismo, por este motivo estas posiciones de singularidades no deben estar en el espacio de trabajo, para ello se utilizó como referencia la misma geometría del robot (Aguas, 2019).

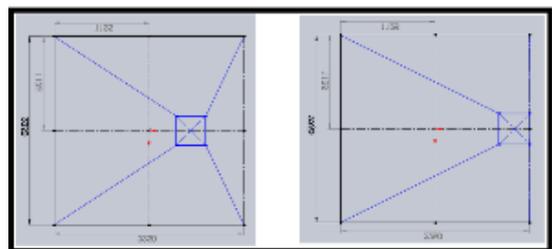


Figura 7. Singularidades

3.2.3.2 Cinemática inversa

Para realizar el estudio cinemático inverso se consideró al efector final y que “todos los cables se encuentran en tensión”, se tomó como punto de origen el centro del cuadrado o también denominado como centroide, se lo denominara como: $X_0 = [x_0 \ y_0] = [0 \ 0]$ (Acar et al., 2003). Con respecto al área de trabajo que fue un cuadrado y su lado tuvo un valor de L_B . Para los marcos del mecanismo que se encuentran en los vértices se los denominaran A_i y están ubicados en las posiciones $A_i = [A_{ix} \ A_{iy}]$; las longitudes de los cables estarán dadas por L_i y con respecto a los ángulos serán θ_i y la variable i toma los valores de $i = 1,2,3,4$ y por último, la posición del efector final que estará dada por $X_e = [x_e \ y_e]^T$, así se muestra en la Figura 8.

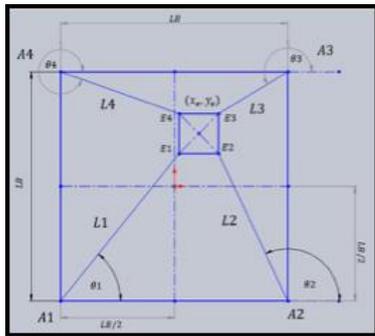


Figura 8. Esquema cinemático

El objetivo de la cinemática inversa en este caso es conociendo la posición del efector final $X_e = [x_e \ y_e]^T$ es encontrar la longitud de los cables mediante el módulo o norma del vector formado por la posición del marco del mecanismo A_i y el efector final.

$$A_i = [x_{Ai}, y_{Ai}]$$

$$E_i = [x_{Ei}, y_{Ei}]$$

$$L_i = \sqrt{(x_{Ei} - x_{Ai})^2 + (y_{Ei} - y_{Ai})^2} \quad (1)$$

Donde:

- x_{Ei} : coordenada en el eje x del vértice del efector final
- y_{Ei} : coordenada en el eje y del vértice del efector final
- x_{Ai} : coordenada en el eje x del punto A_i
- y_{Ai} : coordenada en el eje y del punto A_i
- L_i : longitud del cable

Con respecto al ángulo del cable se tomó como punto de origen A_i de cada vértice como se muestra en la Figura 9.

$$\theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{y_{Ei} - A_{iy}}{x_{Ei} - A_{ix}} \right) + [\sigma_i] \quad (2)$$

Donde:

- σ_i : es el ángulo que se le debe sumar según el cuadrante

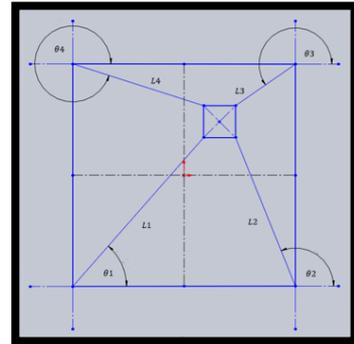


Figura 9. Ángulos de los cables

3.2.3.3. Cinemática directa

El objetivo de la cinemática directa es “obtener la posición del efector final $X_e = [x_e \ y_e]^T$ a partir de las longitudes de los cables” (Doroftei et al., 2008), para esto se tomó como punto de partida el centro del cuadrado o centroide donde las longitudes de los cables son iguales, es decir, en la posición $X_0 = [x_0 \ y_0]^T$. También se debe considerar la longitud de los cables L_1 y L_2 que corresponden a los vértices A_1 y A_2 que están ubicados en las posiciones $A_1 = [0 \ 0]^T$ y $A_2 = [L_B \ 0]^T$, para encontrar la posición del efector final se tomó la idea de la intersección de dos circunferencias con origen en A_1 y A_2 respectivamente y sus radios fueron L_1 y L_2 como se muestra en la Figura 10.

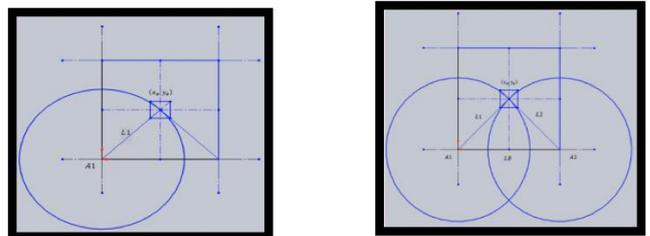


Figura 10. Diagrama para cinemática directa.

Tomando en cuenta la Figura 10, se procedió a resolver la geometría buscando el punto de intersección de las dos circunferencias que se encuentran dentro del espacio de trabajo en la posición (x_e, y_e) para ello se dividió el problema en dos partes. Una vez identificadas las dos partes se procedió a encontrar las ecuaciones de ambas circunferencias, como se puede ver en la figura anterior donde se tiene que el origen de la circunferencia está en el origen del sistema, por lo tanto, se puede utilizar la Ecuación canónica de la circunferencia con centro en el origen.

$$x_e^2 + y_e^2 = L_1^2 \quad (3)$$

Donde:

- x_e : coordenada en el eje x del origen de la circunferencia
- y_e : coordenada en el eje y del origen de la circunferencia
- L_1 : radio de la circunferencia

Para la Figura 10 se utilizó la ecuación canónica general de una circunferencia como se muestra a continuación.

$$(x_c - h)^2 - (y_c - k)^2 = r_c^2 \quad (4)$$

Donde:

- x_c : coordenada en el eje x del origen de la circunferencia
- y_c : coordenada en el eje y del origen de la circunferencia
- L_B : desplazamiento del origen de la circunferencia en el eje x
- K : desplazamiento del origen de la circunferencia en el eje y

rc : radio de la circunferencia

Se reemplaza con las variables de la Figura 10:

$$\begin{aligned} (x_e - LB)^2 - (y_e - 0)^2 &= L2^2 \\ (x_e - LB)^2 + y_e^2 &= L2^2 \\ 2x_e - 2x_e LB + LB^2 + y_e^2 &= L2^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Por último, se eliminan los términos semejantes y se multiplica por -1 a la expresión anterior para poder despejar x_e obteniendo la siguiente ecuación:

$$x_e = \frac{LB^2 + L1^2 - L2^2}{2LB} \quad (6)$$

Y, para obtener y_e se despeja:

$$y_e = \pm\sqrt{L1^2 - x_e^2} \quad (7)$$

3.2.3.4. Cinemática de velocidad

Lo que se buscó en este estudio fue la relación entre la velocidad del efector final con la velocidad de cambio de longitudes de los cables, para esto se utilizó una ecuación que denote la posición del efector final en cualquier posición, la misma que se verá a continuación (Colon et al., 2008):

$$[x_e \ y_e]^T = [Ai_x + Li \cos(\theta_i) \quad Ai_y + \text{sen}[\theta_i]]^T \quad (8)$$

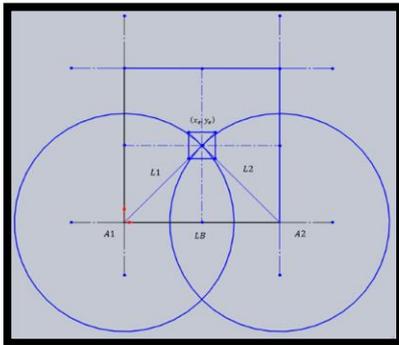


Figura 11. Diagrama para cinemática directa.

3.2.3.5. Modelo dinámico del sistema.

Para resolver la dinámica se dividió el problema, en esta sección se los integrará combinado las ecuaciones de la dinámica del efector final, ecuación del carrito móvil y la cinemática inversa, con las cuales se busca una expresión que satisfaga a la ecuación de la robótica.

$$M(X_e)\ddot{X}_e + N(X_e, \dot{X}_e)\dot{X}_e = S[X_e]\tau \quad (9)$$

Donde:

$M(X_e)$: matriz de inercia

$N(X_e, \dot{X}_e)$: matriz de Coriolis

$S[X_e]$: matriz Jacobiana estática

τ : vector de torque

Para el modelo dinámico del sistema se tuvo como referencia los ángulos de los carretes móviles β_i en función de la posición del efector final X_e para el estudio se tomaron los ángulos de los carretes como cero, cuando el efector final se encuentre en el centro del espacio de trabajo y esté elevado del piso, se tomó como giro positivo de los carretes el sentido horario, lo cual produjo el enrollamiento del cordel dando como resultado un cambio en la longitud del cordel de forma negativo como se muestran en la Figura 12.

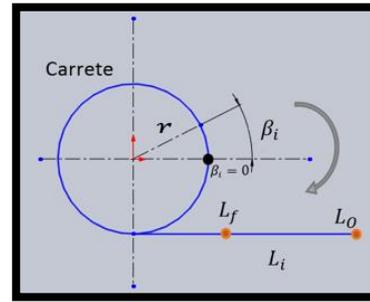


Figura 12. Diagrama del movimiento del carrito.

La ecuación: $\ddot{X}_e = M(X_e)^{-1} + (S\tau - N(X_e, \dot{X}_e)\dot{X}_e)$ muestra el modelo dinámico del robot accionado por cuatro cables donde las entradas son los torques y la salida es la aceleración del efector final como se muestra en la Figura 13.

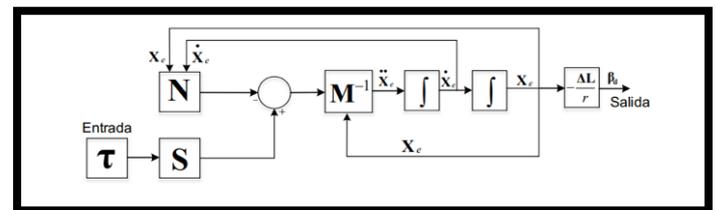


Figura 13. Diagrama de bloques dinámico del sistema

3.2.3.6 Movimiento del dispositivo.

Como se ha visto anteriormente, este dispositivo se mueve gracias a la acción de los motores del carrito giratorio, los mismos recogen o seden cable según el movimiento deseado para este proyecto. Se desarrolló únicamente movimientos en línea recta como son: adelante, atrás, izquierda y derecha, que corresponden a los ejes X y Y como se observa en la Figura 14.

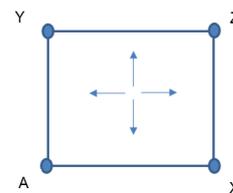


Fig. 14. Distribución de los motores.

Hay una característica importante en el estilo de estos dispositivos, es que para realizar un movimiento se deben accionar los cuatro motores simultáneamente y poder controlarlos independientemente, tanto en su velocidad angular como su sentido de giro, para esto se utilizaron los controladores anteriormente mencionados, que solo necesitan dos datos de entrada que son la frecuencia para la velocidad del motor PAP que mediante prueba y error esta frecuencia fue 0.001173Hz y el sentido de giro como se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 1. Sentido de giro de los motores.

	Motor A	Motor Y	Motor Z	Motor X
Adelante	1	0	0	1
Atrás	0	1	1	0
Derecha	1	1	0	0
Izquierda	0	0	1	1

Hay que tomar en cuenta que, para recoger el cordel, el sentido de giro del motor es horario y para ceder cable será anti horario, para facilitar en la programación se denomina al sentido horario como 0 y anti horario como 1.

3.2.3.7. Detección de metales.

Tomando en consideración que en las secciones anteriores ya se escogió el detector de metales MINELAB F3 (Mori et al., 2005). La señal del sensor se procesó mediante un filtro de pasa bajos, también se hace uso de la herramienta Simulink para facilitar la programación y la obtención de la señal como se muestra en la Figura 15.

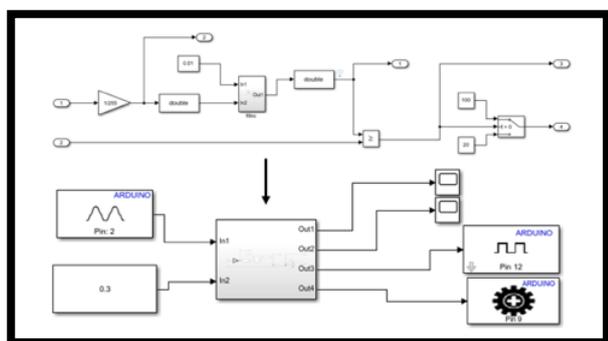


Fig. 15. Programa del detector metales.

3.2.3.8. Compensador de altura.

El compensador de altura corresponde a componentes adicionales mejorar el funcionamiento del dispositivo y está conformado de dos partes: la estructura que se llamó como cúpula y el mecanismo de compensación.

Cúpula.

La cúpula no es un componente crítico con respecto a su material así que se diseñó con un perfil cuadrado de dimensiones de 20mm de lado y 2mm de espesor de acero ASTM 36 y ya que su finalidad es dar un punto fijo donde se pueda colocar una polea, para este trabajo se decidió que este punto sea el centroide del área de trabajo, pero proyectado a una altura perpendicular al suelo, como se ve en la siguiente Figura.

3.2.3.9. Compensador de altura.

El compensador de altura corresponde a componentes adicionales mejorar el funcionamiento del dispositivo y está conformado de dos partes: la estructura que se llamó como cúpula y el mecanismo de compensación.

3.2.3.10. Cúpula.

La cúpula no es un componente crítico con respecto a su material así que se diseñó con un perfil cuadrado de dimensiones de 20mm de lado y 2mm de espesor de acero ASTM 36 y ya que su finalidad es dar un punto fijo donde se pueda colocar una polea, para este trabajo se decidió que este punto sea el centroide del área de trabajo, pero proyectado a una altura perpendicular al suelo, como se ve en la siguiente Figura.

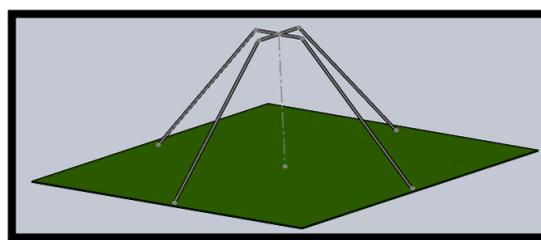


Figura 16. Cúpula

3.2.3.11. Mecanismo de compensación.

Este mecanismo consiste en un variación del tambor rotatorio que se diferencia del diseñado en las secciones anteriores, no necesita de estriado ni una guía para el cordel, también cambió la dimensión del tambor a tres pulgadas y el mecanismo de reducción fue hecho por medio de engranajes rectos con una relación 3:1. Por este motivo el motor que acciona el tambor se cambió a un servo motor de 360 grados, por su torque se utilizó el MG995-360 que tiene 1.078 Nm y el cordel se mantiene en lo 3mm, todo el sistema integrado se muestra en la Figura 17.

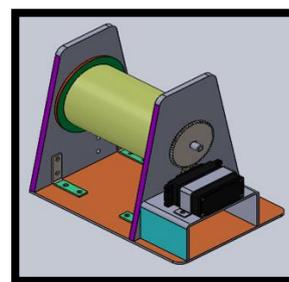


Figura 17. Mecanismo de compensación

3.2.3.12. Integración del sistema

El ensamble completo del sistema diseñado con todos los componentes se muestra en la Figura 18.

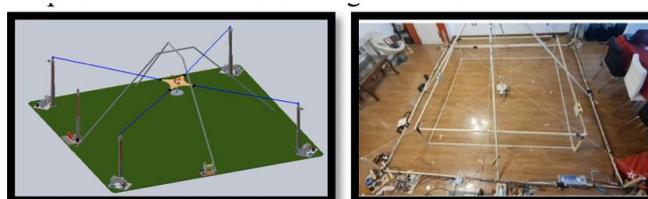


Figura 18. Integración de los sistemas del robot móvil

4. RESULTADOS Y/O DISCUSIÓN

Para la validación del dispositivo se realizó distintas pruebas para comprobar si el dispositivo se comporta de la forma esperada para ello se dividen en tres pruebas: la primera es el seguimiento de la trayectoria, la segunda es la compensación de altura y la tercera es la detección de metales.

4.1 Seguimiento de trayectoria.

Para realizar las pruebas de seguimiento de trayectoria se realizaron ensayos con el prototipo, utilizando la base del

efector final acoplada a un marcador para de dibujarse en una cartulina blanca, con esta prueba se deseaba comprobar si el efector era capaz de seguir la trayectoria programada.

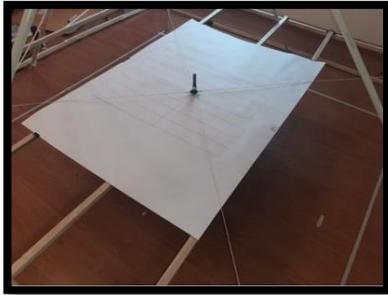


Figura 19. Prueba de seguimiento de trayectoria

4.2 Prueba del controlador de altura.

Consiste en la comprobación del controlador para corroborar si realizaba las acciones correspondientes para que el efector final mantenga una altura en lo posible constante y que de ninguna forma este toque el suelo, después de calibrarlo, a través de la medición de la altura de la plataforma.

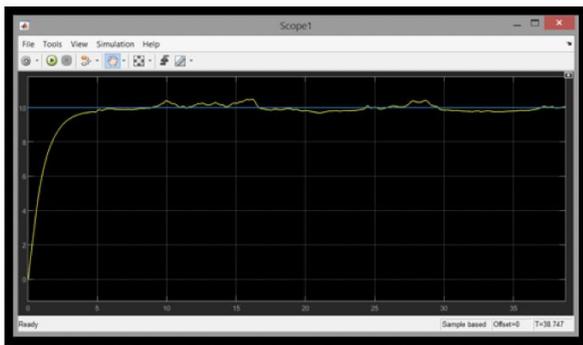


Figura 20: Medición de Altura del dispositivo

5. CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema mecatrónico con la capacidad de un movimiento bidimensional sin tocar el piso, mediante un robot accionado por cordeles paralelo; el cual tuvo un efector final que contaba con un plato detector de metales, el mismo que tuvo la capacidad de barrer un terreno especificado siguiendo una trayectoria, y al encontrarse en presencia de un metal generó una señal que se usó para accionar un mecanismo que roseó pintura sobre el terreno, así marcado la posición relativa de un metal enterrado.

Se diseñó un algoritmo de control para que el efector final mantuviera una altura constante en el recorrido de la trayectoria con base en un control ON-OFF de lazo cerrado y con lógica pseudo Fuzzy.

Se escogió un detector de metales de uso militar F3 el mismo que fue la base del diseño mecánico de este trabajo.

Se construyó un prototipo con materiales económicos, pero con las medidas y datos calculados en este trabajo para validar el funcionamiento del robot accionado por cordeles paralelos, el cual con una buena calibración cumplió con las trayectorias deseadas.

REFERENCIAS

- Acar, E., Choset, H., Zhang, Y., Schervish, M. (2003). Path Planning for Robotic Demining: Robust Sensor-Based Coverage of Unstructured Environments. *The International Journal of Robotics Research*. Vol. 22. <https://doi.org/10.1177/02783649030227002>
- Acar, E., Zhang, Y., Choset, H., Schervish, M., Costa, A., Melamud, R., Lean, D., Graveline, A. (2001). Path Planning for Robotic Demining and Development of a Test Platform. Carnegie Mellon University. Pittsburgh. Disponible en https://www.ri.cmu.edu/pub_files/pub4/acar_ercan_2001_3/a_car_ercan_2001_3.pdf.
- Aguas, X., Herrera, M., Sotomayor, N., Camacho, O. (2019). Prototipo de robot paralelo accionado por cuatro cables: resultados experimentales. *Enfoque UTE*. Vol. 10. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n1>
- Castiblanco, D., Prada, M., Reyes, C., Tocaría, D. (2020). Fíjate bien dónde pisas. Efectos del Desminado Humanitario en Colombia: ¿menos coca y más desarrollo? Bogotá, D. C: Universidad de los Andes. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/41114>.
- Colon, E., De Cubber, G., Ping, H., Habumuremyi, J.C., Sahli, H., Baudoin, Y. (2007). Integrated robotic systems for Humanitarian Demining. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. Vol. 4(2). <https://doi.org/10.5772/5694>
- Doroftei, D., Colon, E., De Cubber, G. (2008). A Behaviour-Based Control and Software Architecture for the Visually Guided Robodem Outdoor Mobile Robot. *Journal of Automation Mobile Robotics and Intelligent Systems*, Vol. 2. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/229138838_A_behaviour-based_control_and_software_architecture_for_the_visually_guided_Robodem_outdoor_mobile_robot
- Echevarría, I. (2019). Modelo de calibración para un robot de cables autoinstalable. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Disponible en: http://oa.upm.es/56323/1/TFG_INAKI_ECHEVARRIA_HERERA.pdf

Espinoza, D., Gutiérrez N. (2022). Diseño de una plataforma móvil detectora de metales para desminado humanitario. Universidad UTE. Quito.

Fernández, V. (2010). Desarrollo de Sistemas de Información, una Metodología Basada en el Modelado. España. Ediciones de la UPC, S.L.

Hemapala, M. U. (2017). Robots for Humanitarian Demining. Robots Operating in Hazardous Environments. London, United Kingdom: IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.70246

Ismail, A., Elmogy, M.M., El-Bakry, H.M. (2014). Landmines detection using autonomous robots: A survey. Materials science. Disponible en: <https://www.ijettcs.org/pabstract.php?vol=Volume3Issue4&pid=IJETTCS-2014-08-08-92>

Jiménez, D. El desminado humanitario en el Ecuador: la convención de Ottawa sobre minas antipersonales (1998-2014). (2017) La Universidad de postgrado del Ecuador, Quito, Ecuador. Disponible en: <http://repositorio.iaen.edu.ec/handle/24000/4603>

Mori, Y., Takayama, K., Adachi, T., Omote, S., Nakamura, T. (2005). Feasibility Study on an Excavation-Type Demining Robot. Autonomous Robots. Vol. 18. <https://doi.org/10.1007/s10514-005-6839-4>

Rachkov, M., Marques, L., De Almeida, A. (2005). Multisensor Demining Robot. Autonomous Robots. Vol. 18. Pp. 275-291. <https://doi.org/10.1007/s10514-005-6840-y>