



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**ROBOT EXPLORADOR TELEOPERADO, EQUIPADO CON UN
MANIPULADOR PARA TOMAR MUESTRAS**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

ANDRES DARIO VILLAVICENCIO MANOSALVAS

DIRECTOR: PhD. DANIEL MIDEROS

Quito, Agosto 2016

© Universidad Tecnológica Equinoccial 2016.
Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1717879751
APELLIDO Y NOMBRES:	VILLAVICENCIO MANOSALVAS ANDRÉS DARÍO
DIRECCIÓN:	POMASQUI
EMAIL:	vmad31410@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	023447802
TELÉFONO MOVIL:	0992765782

DATOS DE LA OBRA	
TITULO:	ROBOT EXPLORADOR TELEOPERADO, EQUIPADO CON UN MANIPULADOR PARA TOMAR MUESTRAS
AUTOR O AUTORES:	ANDRÉS DARÍO VILLAVICENCIO MANOSALVAS
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	DR. DANIEL MIDEROS
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA

RESUMEN:

El presente trabajo describe la construcción de un prototipo de robot explorador teleoperado, equipado con un manipulador para tomar muestras. Gracias a sus características, este robot puede ser empleado para actividades de inspección, y toma de muestras en terreno. El dispositivo teleoperado, es un robot que trabaja con cuatro motores en su plataforma móvil, los cuales proporcionan la tracción necesaria para su desplazamiento en terrenos irregulares. El robot está equipado con un manipulador de cinco grados de libertad que permiten tomar, levantar y trasladar objetos de un peso máximo de 100gr, dichos objetos pueden ser de forma rectangular o cuadrangular, de superficie lisa o rugosa, de textura sólida, de hasta 45mm de longitud. El sistema de teleoperación se compone de una cámara inalámbrica montada sobre la muñeca del manipulador que transmite la señal de video a la estación de control. Desde esta estación, el usuario puede visualizar en tiempo real el entorno en que se desplaza el robot, así como de los objetos que toma en su camino. El campo de visión que proporciona el prototipo al momento de su traslado es de 300° de forma vertical y 270° de forma horizontal. El sistema permite guardar toda esta información para futuras revisiones. Además de la cámara inalámbrica, como sistema de teleoperación se incorpora un control remoto de mando tanto para la plataforma móvil como para el manipulador. Los cuales permiten al operador maniobrar el robot a distancia y tomar objetos en cualquier momento. El control inalámbrico tanto de la plataforma móvil como del manipulador

	<p>funciona a radiofrecuencia. La distancia máxima a la cual se puede controlar el robot con sus tres subsistemas integrados es de 15m.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>ROBOT EXPLORADOR, MANIPULADOR, SISTEMA DE VISUALIZACIÓN, RADIOFRECUENCIA.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>This paper describes the construction of a rover prototype teleoperated equipped with a manipulator to take samples. Thanks to its features, this robot can be used for inspection and collect samples in field. The teleoperated device is a robot that works with four motors on its mobile platform, which provides the necessary traction for movement on uneven terrain. The robot is equipped with a manipulator of five degrees of freedom that allows to take, lift and move objects. The maximum weight of the objects is 100 g. These objects can be rectangular or square, with smooth or rough surface and solid body, with a maximum length of 45mm. The teleoperation system consists of a wireless camera mounted on the wrist of the manipulator which transmits the video signal to the control station. From this station, the user can view in real-time the environment in which the robot moves as well as the objects that take on its way. The field of view that the prototype provides at the time of its movement is 300 ° vertically and 270 ° horizontally. The system allows saving this information for future revisions. In addition to the wireless camera as teleoperation system, both the mobile platform and the manipulator have incorporated a remote control, which allows the robot operator to remotely</p>

	maneuver and take objects at any time. The wireless controls of the mobile platform and the manipulator work with radiofrequency. The maximum distance at which the robot can be controlled is 15m, with the three subsystems integrated.
KEYWORDS	ROBOT EXPLORER, MANIPULATOR, DISPLAY SYSTEM, RADIOFREQUENCY

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: 

VILLAVICENCIO MANOSALVAS ANDRÉS DARÍO

1717879751

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, ANDRES DARIO VILLAVICENCIO MANOSALVAS, CI: 1717879751 autor del proyecto titulado: Robot explorador teleoperado, equipado con un manipulador para tomar muestras, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 22 de agosto del 2016.



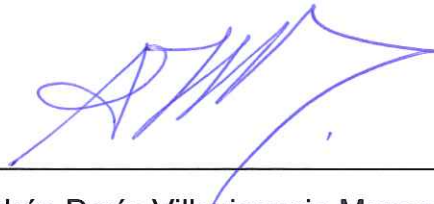
Andrés Darío Villavicencio Manosalvas

C.I: 1717879751

DECLARACIÓN

Yo ANDRES DARIO VILLAVICENCIO MANOSALVAS, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Andrés Darío Villavicencio Manosalvas

C.I: 1717879751

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título "Robot explorador teleoperado, equipado con un manipulador para tomar muestras", que, para aspirar al título de Ingeniero Mecatrónico fue desarrollado por Andrés Villavicencio, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Daniel Mideros

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1713177325

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi madre Anita Jacqueline, quien es la mujer que me hace llenar de tanto orgullo y admiración, te quiero y no va haber manera de devolverte tanto que me has ofrecido. Este trabajo es un logro más que lo llevo a cabo y sin lugar a duda ha sido en gran parte gracias a ti, no sé en donde me encontraría de no ser por tu ayuda, compañía y tu amor.

Te doy mis sinceras gracias, amada madre.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme a tantas grandes personas que colaboraron para la realización del presente trabajo, a mi familia y sobre todo un agradecimiento muy especial a mi madre Anita Jacqueline, que tiene mi continuo esfuerzo motivado por todo el amor que a ella le merezco, sin su continuo apoyo y paciencia, el culminar tan arduo trabajo no hubiese sido posible.

Mis más sinceros agradecimientos a todos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
1. INTRODUCCIÓN	
2. MARCO TEÓRICO	
2.1. ROBOTS MÓVILES.....	3
ROBOTS MÓVILES TELEOPERADOS.....	3
COMPONENTES DE UN SISTEMA TELEOPERADO.....	4
2.1.1.MANIPULADORES ROBÓTICOS.....	5
TIPOS DE MANIPULADORES ROBÓTICOS.....	6
2.2. ROBOTS EXPLORADORES.....	9
3. METODOLOGÍA Y DISEÑO	
3.1. REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO.....	15
PLATAFORMA MÓVIL.....	15
MANIPULADOR.....	16
SISTEMA DE VISUALIZACION.....	19
3.2. DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA.....	20
3.3. DISEÑO ESPECÍFICO DE LA PLATAFORMA MÓVIL.....	21
LLANTAS.....	24
MOTORES.....	25
CONTROL DE POTENCIA PARA LOS MOTORES.....	27

INTERFAZ DE CONTROL PARA LOS MOTORES.....	28
DRIVER DE CONTROL DE POTENCIA PARA LOS MOTORES...	31
3.4. MANIPULADOR.....	34
DIMENSIONES Y PESO DEL MANIPULADOR.....	34
ÁREA DE TRABAJO.....	35
ANGULO DE MOVIMIENTO DE CADA ARTICULACIÓN.....	36
PESO MÁXIMO, TAMAÑO Y FORMA DE LOS OBJETOS A LEVANTAR.....	36
MOTORES.....	37
SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL MANIPULADOR.....	38
CONTROL DE POTENCIA DE LOS MOTORES.....	39
INTERFAZ DE COMUNICACIÓN PARA EL CONTROL DE LOS MOTORES.....	40
INTERFAZ GRÁFICA DE CONTROL PARA LOS MOTORES DEL MANIPULADOR.....	41
3.5. SISTEMA DE VISUALIZACIÓN.....	44
CAMPO VISUAL.....	45
INTERFAZ DE COMUNICACIÓN.....	45
INTERFAZ DE VISUALIZACIÓN.....	46
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. PLATAFORMA MÓVIL.....	48
4.2. MANIPULADOR.....	49
4.3. SISTEMA DE VISUALIZACIÓN.....	51

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55
ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Detalles técnicos de las llantas del prototipo.	25
Tabla 2. Detalles técnicos de los motores acoplados a la plataforma móvil del prototipo.	26
Tabla 3. Detalles técnicos de la batería usada para alimentar a los motores de la plataforma móvil del prototipo.	27
Tabla 4. Detalles técnicos del emisor.	28
Tabla 5. Detalles técnicos del receptor.	29
Tabla 6. Sentencias de activación de los motores para el movimiento de la plataforma móvil.	30
Tabla 7. Detalles técnicos del driver de control de potencia para los motores de la plataforma móvil.	32
Tabla 8. Detalles técnicos de los motores del manipulador.	37
Tabla 9. Detalles técnicos de la batería usada para alimentar a los motores de la plataforma móvil del prototipo.	38
Tabla 10. Detalles técnicos del módulo bluetooth utilizado para el control de movimiento de los motores.	40
Tabla 11. Tiempos de respuesta del receptor respecto a la señal emitida por el control remoto.	48
Tabla 12. Resultado de la plataforma móvil al escalar gradas de distinta altura.	48
Tabla 13. Resultado de la plataforma móvil al trasladarse por terrenos con distinto grado de inclinación.	49

Tabla 14. Tiempos de respuesta del receptor respecto a la señal emitida por el emisor para la activación de motores.	49
Tabla 15. Forma y peso de los objetos sujetos a prueba de agarre, levantamiento y transporte por parte del manipulador y los resultados obtenidos.	50
Tabla 16. Forma y tamaño de los objetos sujetos a prueba de agarre, levantamiento y transporte por parte del manipulador y los resultados obtenidos.	50
Tabla 17. Calidad de visualización de video en distintos ambientes.	51
Tabla 18. Recepción de señal, calidad de video a distintas distancias.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Manipulador robótico.....	5
Figura 2. Semejanza de un manipulador robot con la anatomía humana.	6
Figura 3. Manipulador cartesiano.....	6
Figura 4. Manipulador de tipo cilíndrico.	7
Figura 5. Manipulador de tipo polar.....	7
Figura 6. Manipulador de tipo esférico.	8
Figura 7. Manipulador de tipo mixto.	8
Figura 8. Manipulador de tipo paralelo.....	9
Figura 9. Robot OFRO.	10
Figura 10. Robot RHex.	11
Figura 11. Robot Athlete.	12
Figura 12. Robot TMR1.....	13
Figura 13. Robot Talon.	13
Figura 14. Norma VDI 2206, para sistemas Mecatrónicos.....	14
Figura 15. Dimensiones tentativas de la plataforma móvil.	15
Figura 16. Área de trabajo del manipulador.	17
Figura 17. Dimensiones del manipulador – L:largo; W:ancho; H:alto.....	18
Figura 18. Formas y tamaños de los objetos que el manipulador podrá tomar.....	18
Figura 19. Grado del campo visual de la cámara del prototipo.	19

Figura 20. Estructura básica de un sistema mecatrónico.....	20
Figura 21. Estructura básica de un sistema mecatrónico adaptado al prototipo de un robot teleoperado con un manipulador. A) Plataforma móvil, B) Manipulador, C) Sistema de visualización.	21
Figura 22. Vista superior de la plataforma móvil.	22
Figura 23. Vista frontal de la plataforma móvil.	23
Figura 24. Vista lateral de la plataforma móvil.	24
Figura 25. Llantas utilizadas para el prototipo.....	25
Figura 26. Motores utilizados en el prototipo.....	26
Figura 27. Batería utilizada para la alimentación de los motores de la plataforma móvil.....	27
Figura 28. Emisor – Control a radio frecuencia utilizado para el accionamiento de los motores y proporcionar movimiento a la plataforma móvil.	28
Figura 29. Receptor utilizado para el accionamiento de los motores y proporcionar movimiento a la plataforma móvil.....	29
Figura 30. Nomenclatura de los motores.	30
Figura 31. Driver de control de potencia para los motores de la plataforma móvil.....	31
Figura 32. Diagrama de conexión eléctrica de los componentes del sistema de control de la plataforma móvil.	33
Figura 33. Manipulador acoplado a la plataforma móvil.	34
Figura 34. Dimensiones del manipulador L: largo; W: ancho; H: altura.	35
Figura 35. Dimensiones del manipulador.	35
Figura 36. Movimientos de manipulador y sus ángulos respectivamente. ...	36

Figura 37. Motor y caja de engranajes del manipulador.	37
Figura 38. Batería utilizada para la alimentación de los motores de la plataforma móvil.....	38
Figura 39. Módulo L298N utilizado para el control de potencia de los motores del manipulador.	39
Figura 40. Módulo bluetooth utilizado para el control de movimiento de los motores.	41
Figura 41. Interfaz gráfica de control para los motores del manipulador.....	42
Figura 42. Diagrama de conexión eléctrica de los componentes del sistema de control del manipulador.	43
Figura 43. Cámara integrada al prototipo, utilizada como sistema de visualización.....	44
Figura 44. Campo visual en sentido horizontal.	45
Figura 45. Campo visual en sentido vertical.	45
Figura 46. Interfaz de visualización de la cámara acoplada al manipulador.	46
Figura 47. Diagrama de conexión de los componentes del sistema de visualización del prototipo.....	47

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. Prototipo construido de robot explorador teleoperado, equipado con un manipulador para tomar muestras.....	59
ANEXO 2. Vista superior del prototipo construido.	59
ANEXO 3. Vista frontal del prototipo construido.	60
ANEXO 4. Vista lateral del prototipo construido.	60

RESUMEN

El presente trabajo describe la construcción de un prototipo de robot explorador teleoperado, equipado con un manipulador para tomar muestras. Gracias a sus características, este robot puede ser empleado para actividades de inspección, y toma de muestras en terreno. El dispositivo teleoperado, es un robot que trabaja con cuatro motores en su plataforma móvil, los cuales proporcionan la tracción necesaria para su desplazamiento en terrenos irregulares. El robot está equipado con un manipulador de cinco grados de libertad que permiten tomar, levantar y trasladar objetos de un peso máximo de 100gr, dichos objetos pueden ser de forma rectangular o cuadrangular, de superficie lisa o rugosa, de contextura sólida, de hasta 45mm de longitud. El sistema de teleoperación se compone de una cámara inalámbrica montada sobre la muñeca del manipulador que transmite la señal de video a la estación de control. Desde esta estación, el usuario puede visualizar en tiempo real el entorno en que se desplaza el robot, así como de los objetos que toma en su camino. El campo de visión que proporciona el prototipo al momento de su traslado es de 300° de forma vertical y 270° de forma horizontal. El sistema permite guardar toda esta información para futuras revisiones. Además de la cámara inalámbrica, como sistema de teleoperación se incorpora un control remoto de mando tanto para la plataforma móvil como para el manipulador. Los cuales permiten al operador maniobrar el robot a distancia y tomar objetos en cualquier momento. El control inalámbrico tanto de la plataforma móvil como del manipulador funciona a radiofrecuencia. La distancia máxima a la cual se puede controlar el robot con sus tres subsistemas integrados es de 15m.

Palabras claves: robot explorador, manipulador, sistema de visualización, radiofrecuencia.

ABSTRACT

This paper describes the construction of a rover prototype teleoperated equipped with a manipulator to take samples. Thanks to its features, this robot can be used for inspection and collect samples in field. The teleoperated device is a robot that works with four motors on its mobile platform, which provides the necessary traction for movement on uneven terrain. The robot is equipped with a manipulator of five degrees of freedom that allows to take, lift and move objects. The maximum weight of the objects is 100 g. These objects can be rectangular or square, with smooth or rough surface and solid body, with a maximum length of 45mm. The teleoperation system consists of a wireless camera mounted on the wrist of the manipulator which transmits the video signal to the control station. From this station, the user can view in real-time the environment in which the robot moves as well as the objects that take on its way. The field of view that the prototype provides at the time of its movement is 300 ° vertically and 270 ° horizontally. The system allows saving this information for future revisions. In addition to the wireless camera as teleoperation system, both the mobile platform and the manipulator have incorporated a remote control, which allows the robot operator to remotely maneuver and take objects at any time. The wireless controls of the mobile platform and the manipulator work with radiofrequency. The maximum distance at which the robot can be controlled is 15m, with the three subsystems integrated.

Keywords: robot explorer, manipulator, display system, radiofrequency.

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia el hombre ha tenido la necesidad de perfeccionar el empleo de recursos y materiales que se encuentran en su entorno y procesarlos de la manera más segura posible, motivo por el cual se ha visto la necesidad de automatizar varias tareas mediante la invención de máquinas. Entre este grupo de máquinas se encuentran los robots, los cuales fueron creados con el fin de servir a la humanidad en el cumplimiento de tareas ya sea por sí solos u operados por una persona de manera remota. La robótica como área de investigación y desarrollo posee un conjunto extenso de aplicaciones útiles y diversas en asistencia y servicio, dando como resultado que hoy en día el empleo de los robots sea de carácter popular y de uso masivo en diferentes campos, dado que son excelentes auxiliares en trabajos que impliquen un grado de alto riesgo o que conllevan una extrema precisión, pudiendo realizar tareas monótonas y repetitivas durante un sin número de horas sin bajar su rendimiento.

El uso de robots de tipo móvil toma una gran importancia en tareas que involucren algún riesgo como lo es el manejo de sustancias radioactivas, tóxicas e incluso explosivas. Utilizados comúnmente en actividades que se desarrollan en lugares poco o aún inaccesibles para el hombre (Ollero Baturne, 2006).

Es aquí donde el proyecto surge, ante la problemática de la parcial o total inaccesibilidad para el hombre en determinados lugares o la manipulación de ciertas sustancias u objetos peligrosos para el mismo. Por lo anterior descrito, para el presente trabajo se planteó el siguiente objetivo general:

Construir un robot explorador teleoperado, equipado con un manipulador para tomar muestras.

Para lo cual se trazaron los siguientes objetivos específicos:

- Implementar la parte mecánica de la plataforma móvil para adecuarlo como un robot de explorador.
- Implementar el sistema de control lógico y de potencia para el movimiento de la plataforma móvil.

- Implementar el sistema de control lógico y de potencia para movimiento de las articulaciones del manipulador.
- Implementar un dispositivo para la manipulación a distancia de los movimientos de la plataforma móvil.
- Implementar una interfaz gráfica para la manipulación a distancia de los movimientos del manipulador.
- Instalar una cámara inalámbrica sobre el robot explorador para obtener imágenes y video del lugar remoto en tiempo real.

2. MARCO TEÓRICO

La robótica es la ciencia y la tecnología de los robots. Se encarga del diseño, fabricación y aplicaciones de los robots. La robótica aplica diversas disciplinas como son: la mecánica, la electrónica, la informática y los sistemas de control.

Podríamos definir a la robótica también como la técnica que se utiliza en el diseño y la construcción de robots y aparatos que realizan operaciones o trabajos, generalmente en instalaciones industriales y en sustitución de la mano de obra humana.

Es así que en base a distintos criterios y puntos de investigación se construyen los robots exploradores con el fin de solucionar problemas de inspección, monitoreo ya sea en el espacio, aplicaciones militares, o de rescate en zonas abiertas al ambiente o en lugares de difícil acceso.

Según el Instituto de Robots de América, un robot es un manipulador reprogramable y multifuncional concebido para transportar materiales, piezas, herramientas o sistemas especializados con movimientos variados y programados con la finalidad de ejecutar tareas diversas (Ruiz & Sánchez, 2007).

Según la Federación Internacional de Robótica (IFR) es “Aquel que trabaja de manera parcial o totalmente autónoma desarrollando servicios útiles para el bienestar de los humanos y equipos. Pueden ser móviles y con capacidad de manipulación”.

2.1. ROBOTS MÓVILES

Se describe como robot móvil a una máquina que posee la destreza de trasladarse dentro de un ambiente, capaz de realizar diversas operaciones para cumplir una tarea específica (Chavez Gonzales, 2012).

ROBOTS MÓVILES TELEOPERADOS

Un robot móvil teleoperado es una máquina controlada por un usuario desde una estación remota. Este tipo de control supone una ventaja desde el punto

de vista de la seguridad y protección del usuario, ya que en el caso de efectuar trabajos en ambientes inseguros, desconocidos o con sustancias peligrosas como los son químicos o explosivos, no se arriesga su seguridad física (Ceron Correa, 2005).

COMPONENTES DE UN SISTEMA TELEOPERADO

La manera más fácil de describir un sistema teleoperado es mediante un operador que envía comandos al robot de forma remota, el cual cumplirá las órdenes correspondientes y enviara información de su estado y del entorno en que se encuentra. Esta información realimentada al operador es la que permite cerrar el bucle de control del sistema teleoperado.

Dentro de este ciclo existen elementos que intervienen y que son de suma importancia para el funcionamiento del sistema (Bogado Torres, 2007).

De acuerdo con (Camacho Rios & Perez Serrano, 2008), un sistema de teleoperación consta de los elementos descritos a continuación:

Operador o teleoperador

Se define como al ser humano que a distancia realiza el control de la operación. Su acción puede ir desde un control continuo o una intervención intermitente, con la que únicamente se encarga del monitoreo y de fijar objetivos y planes cada cierto tiempo.

Dispositivo Teleoperado

Se refiere a la máquina que trabaja en la zona remota y es controlada por el operador. Estos pueden ser un manipulador, un robot, un vehículo o dispositivo similar.

Control supervisado

La mayor parte del control se encuentra en el lado el dispositivo teleoperado y en este caso el robot puede realizar parte de las tareas autónomamente mientras el operador monitorea y da comandos de alto nivel.

2.1.1. MANIPULADORES ROBÓTICOS

Los manipuladores robóticos son dispositivos que han ganado gran aceptación en el medio industrial gracias a su capacidad de llevar a cabo un número variado de tareas con rapidez y precisión.

La definición más comúnmente aceptada posiblemente sea la de la Asociación de Industrias de Robótica (RIA, Robotic Industry Association), según la cual: "Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas".

Esta definición, ligeramente modificada, ha sido adoptada por la Organización Internacional de Estándares (ISO) que define al robot industrial como: "Manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas". (Figura 1).



Figura 1. Manipulador robótico.
(Arqhys.com, 2016)

A los manipuladores robóticos se les suele denominar también brazos de robot por la analogía que se puede establecer, en muchos casos, con las extremidades superiores del cuerpo humano, como podemos observar en la figura 2.

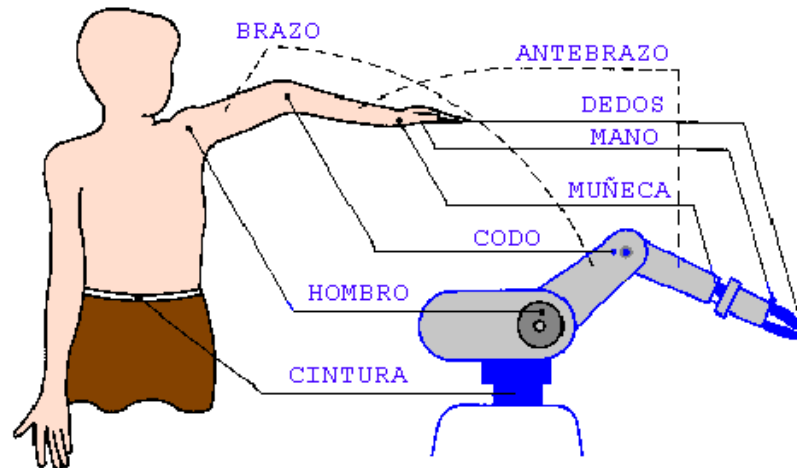


Figura 2. Semejanza de un manipulador robot con la anatomía humana.
(Platea.pntic.mec.es, 2016)

TIPOS DE MANIPULADORES ROBÓTICOS

Según la geometría de su estructura mecánica, un manipulador puede ser:

Cartesiano: su posicionamiento en el espacio se lleva a cabo mediante articulaciones lineales. (Figura 3).

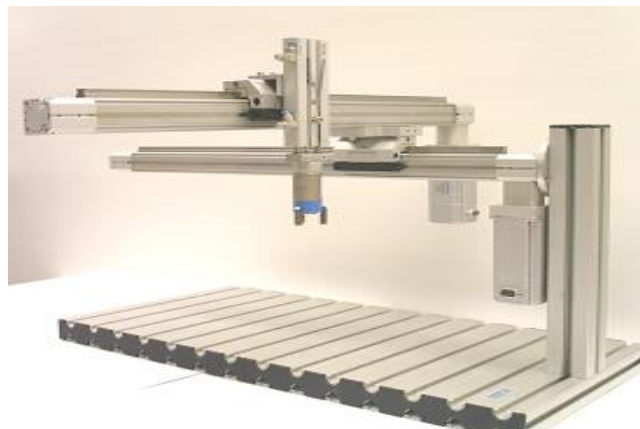


Figura 3. Manipulador cartesiano.
(Festo, 2016)

Cilíndrico: posee una articulación rotacional sobre una base y articulaciones lineales para el movimiento en altura y en radio. (Figura 4).



Figura 4. Manipulador de tipo cilíndrico.
(Becerra, Castro, López, López, Morocho, & Ramón, 2009)

Polar: cuenta con dos articulaciones rotacionales y una lineal. (Figura 5).



Figura 5. Manipulador de tipo polar.
(González, 2002)

Esférico (o de brazo articulado): con tres articulaciones rotacionales. (Figura 6).



Figura 6. Manipulador de tipo esférico.
(González, 2002)

Mixto: posee varios tipos de articulaciones, combinaciones de las anteriores. Es destacable la configuración SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm). (Figura 7).



Figura 7. Manipulador de tipo mixto.
(Tegruposete7, 2016)

Paralelo: posee brazos con articulaciones prismáticas o rotacionales concurrentes. (Figura 8).



Figura 8. Manipulador de tipo paralelo.
(Directindustry.es, 2016)

2.2. ROBOTS EXPLORADORES

La evolución de la tecnología ha permitido avanzar cada vez más en la ejecución y construcción de robots móviles teleoperados. Aprovechando la movilidad como su principal ventaja, han sido construidos este tipo de sistemas con la finalidad de ser usados en varias aplicaciones y facilitar labores e inconvenientes que surgen en la vida cotidiana.

La aplicación más relevante para este tipo de sistemas teleoperados es la de inspeccionar y vigilar lugares remotos. Para esto se han construido y desarrollado distintos tipos de robots móviles que permiten al usuario efectuar la tarea de inspeccionar diferentes lugares sin necesidad de exponer su integridad física.

Los robots móviles utilizados en los sistemas de teleoperación pueden distinguirse entre otras cosas por el tipo de locomoción que utilizan al momento de trasladarse de un lugar a otro, como por ejemplo el Robot OFRO (Robowatch Technologies, 2016) (Figura 9), el cual fue construido con la finalidad de brindar patrullaje y vigilancia perimetral en ambientes

exteriores. El robot está constituido por un sistema de transmisión tipo oruga para su desplazamiento, esto hace que pueda realizar tareas en terrenos irregulares.

El robot está equipado con acceso a redes inalámbricas. Posee la capacidad de analizar el aire constantemente ya tiene incorporado sensores para detectar sustancias nocivas para el ser humano.

Gracias a su cámara incorporada puede detectar la presencia de alguien en lugares donde está restringido el acceso para persona alguna.

Puede moverse mediante control remoto o marcándole una ruta fija con la finalidad de hacer rondas periódicas en determinadas zonas. Dicho robot puede alcanzar velocidades de hasta 7,2 km/h.



Figura 9. Robot OFRO.
(De.engadget.com, 2008)

Por otro lado se han desarrollado sistemas teleoperados con robots móviles que utilizan patas como medio de locomoción, este es el caso del RHex. (Figura 10), creado por la empresa Boston Dynamics (Boston Dynamics, 2016), el cual es un robot móvil de tipo hexápodo con actuadores en cada

una de sus patas controladas individualmente que le permiten una extraordinaria movilidad en terrenos de difícil acceso, incluyendo ambientes húmedos, puede escalar pendientes mayores a 45° e incluso subir gradas, alcanzando una velocidad promedio de 9,72 km/h.

Una de las características primordiales de este tipo de robots es la forma en que las patas giran para trasladar a su cuerpo sobre los distintos tipos de terrenos, está equipado con cámaras que proveen de video y es controlado remotamente.



Figura 10. Robot RHex.
(Boston Dynamics, 2016)

Inclusive han sido desarrollados robots móviles teleoperados con medios de locomoción que combinan las ventajas de poseer ruedas y patas en una misma estructura, este es el caso del robot Athlete (Kawasaki, 2003) (Figura 11), el cual es un robot teleoperado que presenta una llanta acoplada a cada una de sus seis patas, haciendo que este pueda trasladarse ya sea por medio de sus llantas o sus patas dependiendo de las condiciones del terreno, posee 36° de libertad y está equipado con una cámara para transmisión de video.

Este robot fue diseñado para misiones en la luna y puede ser controlado desde la Tierra o por astronautas desde el espacio.



Figura 11. Robot Athlete.
(Futuristicnews, 2016)

Tras llevar a cabo proyectos de desarrollo de robots móviles teleoperados con distintos tipos de locomoción como son: ruedas, orugas, patas o combinación de estas, se los ha provisto también de distintas clases de herramientas con el propósito de incrementar sus aplicaciones, tal es el caso del robot TMR-1, (Figura 12) (González Pino & Durán Acevedo, 2009).

Este es un robot teleoperado capaz de utilizar ruedas u orugas como su medio de locomoción. Como extra posee un brazo manipulador y pinzas de sujeción dentro de su estructura mecánica los cuales permiten levantar y transportar objetos de forma fácil y rápida.

Al estar equipado con un sistema de cámaras, este robot puede ser utilizado para manipular y transportar sustancias peligrosas tales como químicos, elementos radioactivos o explosivos, o en ciertos casos para reconocimiento de ambientes hostiles o cubrimiento de zonas de alto riesgo de desastre.



Figura 12. Robot TMR1.
(González Pino & Durán Acevedo, 2009)

El Robot Talon (Figura 13) (Army-technology.com, 2016), es otro ejemplo de robot móvil teleoperado, fabricado por Foster-Miller, este es de uso militar y se asemeja a un pequeño tanque de guerra, además de poseer un sistema de cámaras, es capaz de ser equipado con armas de fuego, ametralladoras, lanzagranadas, inclusive de un lanzador de cohetes antitanque. Algo característico de este tipo de robots es su gran maniobrabilidad a velocidades de 8.3 km/h mediante un control remoto. Su sistema de locomoción es mediante orugas lo que le permite superar obstáculos. Su estructura está fabricada con un material antibalas lo que hace de este robot capaz de aguantar el fuego enemigo sin que este dañe sus sistemas de navegación.



Figura 13. Robot Talon.
(Army-technology.com, 2016)

3. METODOLOGÍA Y DISEÑO

El desarrollo de sistemas mecatrónicos se basa en la norma VDI 2206 (Ingenieure, 2004), consta de las siguientes etapas: diseño del sistema, diseño específico según la disciplina, la integración del sistema y por último describe el proceso de desarrollo multidisciplinario de productos mecatrónicos, como se puede observar en la figura 14.

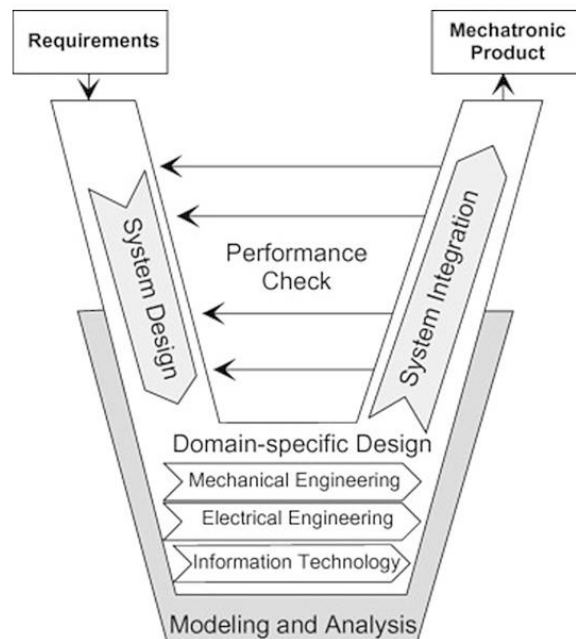


Figura 14. Norma VDI 2206, para sistemas Mecatrónicos.
(Abdelhameed, 2014)

En el diseño del sistema, el concepto de producto se basa en los requerimientos y se describe en forma de la denominada solución concepto. Es necesario que todas las disciplinas estén igualmente involucradas, puesto que aquí se realizan las primeras determinaciones. La solución concepto describe el producto de manera integral y debe ser clara y comprensible para todos los involucrados.

En la especificación del sistema, además de la descripción de la estructura básica y el modo de acción se encuentra la descripción de la conducta en primer plano. La descripción completa de la solución concepto se divide en ocho aspectos: requerimientos, características, escenarios de aplicación, estructura activa, medio, la forma, el comportamiento y el sistema de destino. Internamente se representan estos aspectos por medio de modelos

parciales. Esto puede tener diferencias significativas entre ellos, las cuales corresponden a diferentes disciplinas. Dado que los modelos parciales de la solución concepto representan diferentes vistas del mismo producto (García Negrín, 2013).

3.1. REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

Para el diseño de un robot explorador equipado con un manipulador y con un sistema de visualización, es necesario dividir los requerimientos en 3 subsistemas que son:

Plataforma móvil

Manipulador

Sistema de visualización

Los requerimientos de cada uno de los sistemas se señalan a continuación:

PLATAFORMA MÓVIL

Dimensiones.

Al ser una plataforma de un vehículo explorador el cual se desplazara sobre terrenos irregulares de distinto tipo y con el propósito que este pueda evitar la mayoría de obstáculos, las dimensiones de la plataforma móvil deberán ser 40x30x70cm. (Figura 15).

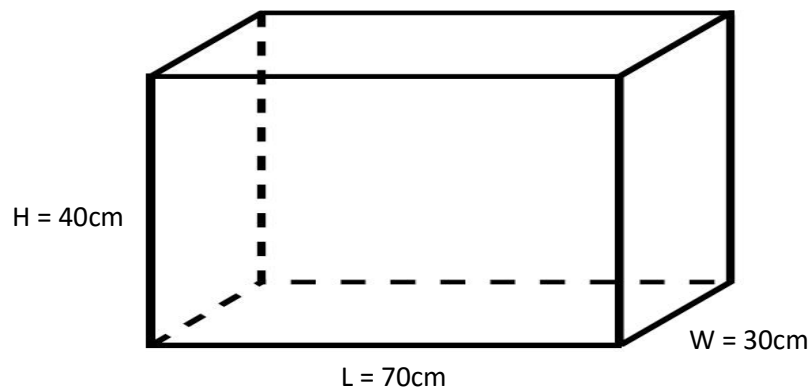


Figura 15. Dimensiones tentativas de la plataforma móvil.

Llantas

Las ruedas deben ser de caucho, más no sólidas, con esto se reducirá la vibración y así se evitara desconexión accidental o daño de los componentes eléctricos y electrónicos que serán parte del prototipo.

Deben ser de diámetro considerable con esto se dará altura a la base de la plataforma móvil y se logrará evitar cierto tipo de obstáculos que se encuentren en el camino, deberán ser labradas, así se facilitará el desplazamiento del prototipo en terrenos irregulares. Deberán ser capaces de soportar todo el peso del sistema.

Tipo de terreno e inclinación

El prototipo deberá ser capaz de desplazarse en terrenos irregulares de tipo bosque sin volcarse y con la mayor estabilidad posible.

El grado de inclinación del terreno no deberá sobrepasar los 45° para garantizar un óptimo desplazamiento del prototipo.

Peso que soporta

La plataforma móvil debe soportar el peso de todos los componentes que conforman el sistema, a más de resistente debe ser de un material ligero para facilitar el trabajo y su desplazamiento.

Batería – Tiempo útil

La batería debe tener una autonomía de al menos 20 a 30 minutos, la cual debe suministrar el voltaje y amperaje necesario para alimentar todo el sistema, aproximadamente 12V - 4A.

MANIPULADOR

Grados de libertad

El manipulador debe poseer al menos cuatro grados de libertad, con 4 motores independientes, debe permitir rotación de la base, el movimiento del

codo y de la muñeca y la apertura y cierre de la pinza. Deberá agarrar, liberar, levantar, bajar y girar.

Área de trabajo

El área de trabajo del manipulador debe estar comprendida entre 100 y 320 mm. Con esto se lograra dar alcance y tomar objetos a nivel de piso sin inconvenientes, tomando en cuenta que el manipulador deberá estar situado en el extremo frontal de la plataforma móvil.

Este deberá tener un grado de rotación no menor a 180° desde su base. (Figura 16).

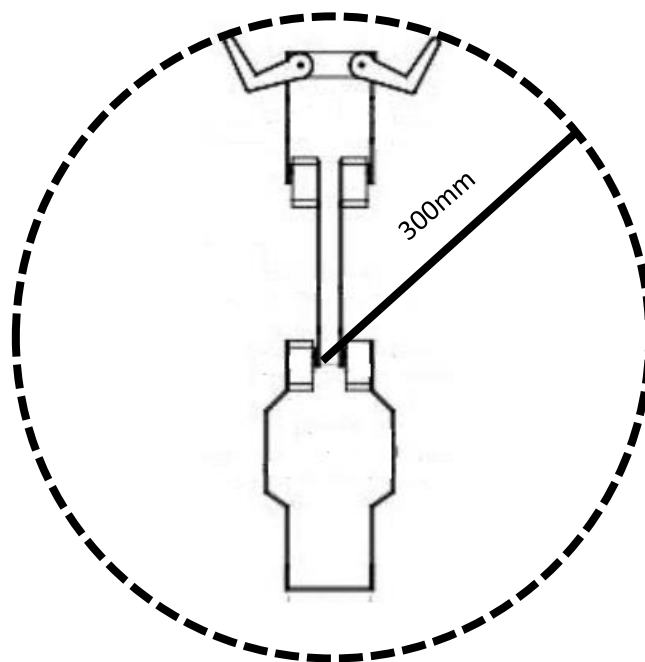


Figura 16. Área de trabajo del manipulador.

Dimensiones y peso del manipulador

Las dimensiones del manipulador no podrán ser menores a 220(L) x 150 (W) x 300 (H) mm. El peso del manipulador no deberá ser mayor a 700g, considerando la posición en la cual estará ubicado el manipulador evitando que este provoque desestabilidad la plataforma móvil. (Figura 17).

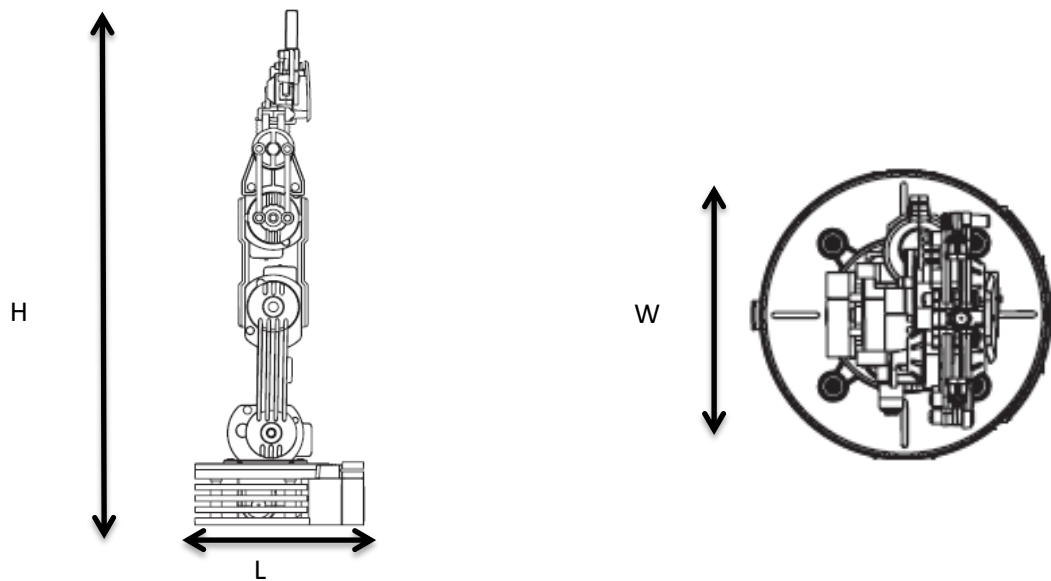


Figura 17. Dimensiones del manipulador – L: largo; W: ancho; H: alto.
(Electan.com, 2016)

Objetos, formas y tamaños

Deberá ser capaz de tomar objetos de forma rectangular o cuadrangular, de superficie lisa o rugosa, de contextura sólida. El tamaño de los objetos no podrá sobrepasar dimensiones referentes a 40mm en largo, ancho y altura. No podrá levantar objetos cilíndricos de contextura maciza excepto los que tengan forma de anillo de ancho no mayor a 40mm. Esto debido al diseño de su efector final en forma de tenaza. Un ejemplo claro de lo descrito se puede observar en la figura 18.

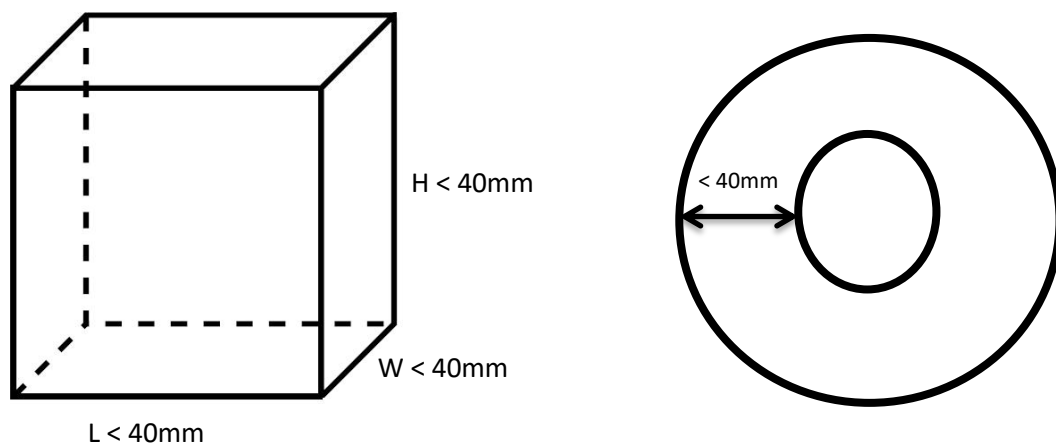


Figura 18. Formas y tamaños de los objetos que el manipulador podrá tomar.

Peso máximo de carga para transporte de objetos

El peso máximo que debe soportar el manipulador al tomar, levantar y transportar objetos será de 100gr.

SISTEMA DE VISUALIZACION

La cámara acoplada a la plataforma móvil deberá ser de tipo inalámbrica con el fin de transmitir en tiempo real las imágenes del lugar por donde se desplaza el prototipo. Al menos deberá tener un alcance de 20m de comunicación entre el emisor y receptor.

El tipo de codificación o formato de grabación en el cual se tramitará el video deberá ser Moving Picture Experts Group (MPEG), el cual es un formato estándar para la transmisión de video. Deberá poseer una definición mínima de 300K pixeles.

El campo visual de la cámara deberá ser al menos de 150° (Figura 19), con esto se tendrá un panorama claro del ambiente por donde se traslada la plataforma móvil.

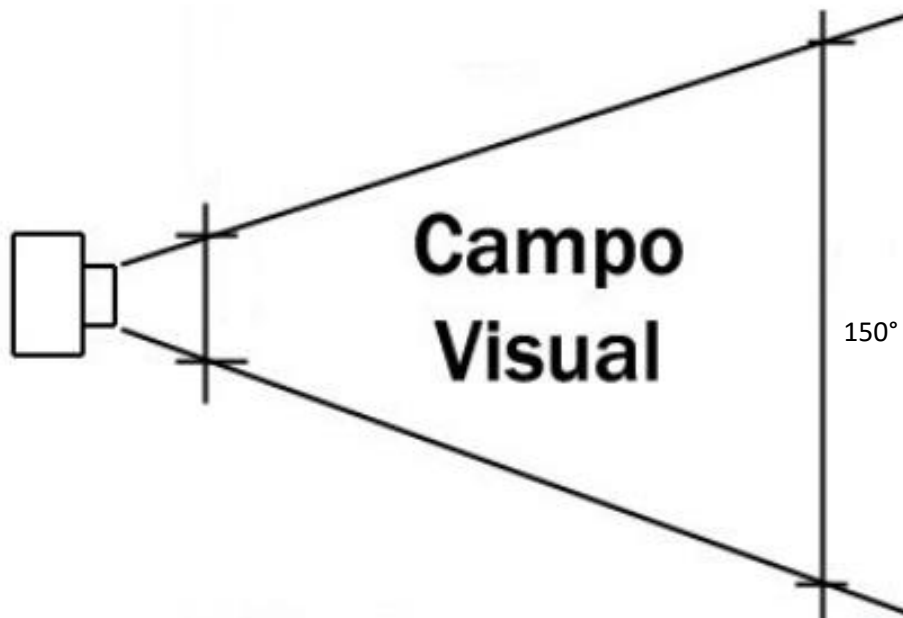


Figura 19. Grado del campo visual de la cámara del prototipo.

3.2. DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA

Según la norma VDI 2206, la estructura fundamental de un sistema mecatrónico consta de: fuente, actuadores, sensores, procesamiento de la información, ambiente y usuario, como se lo puede observar en la figura 20.

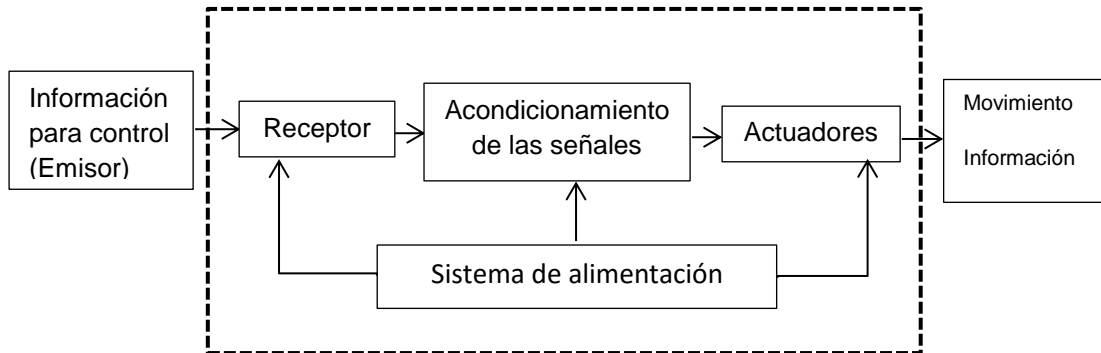
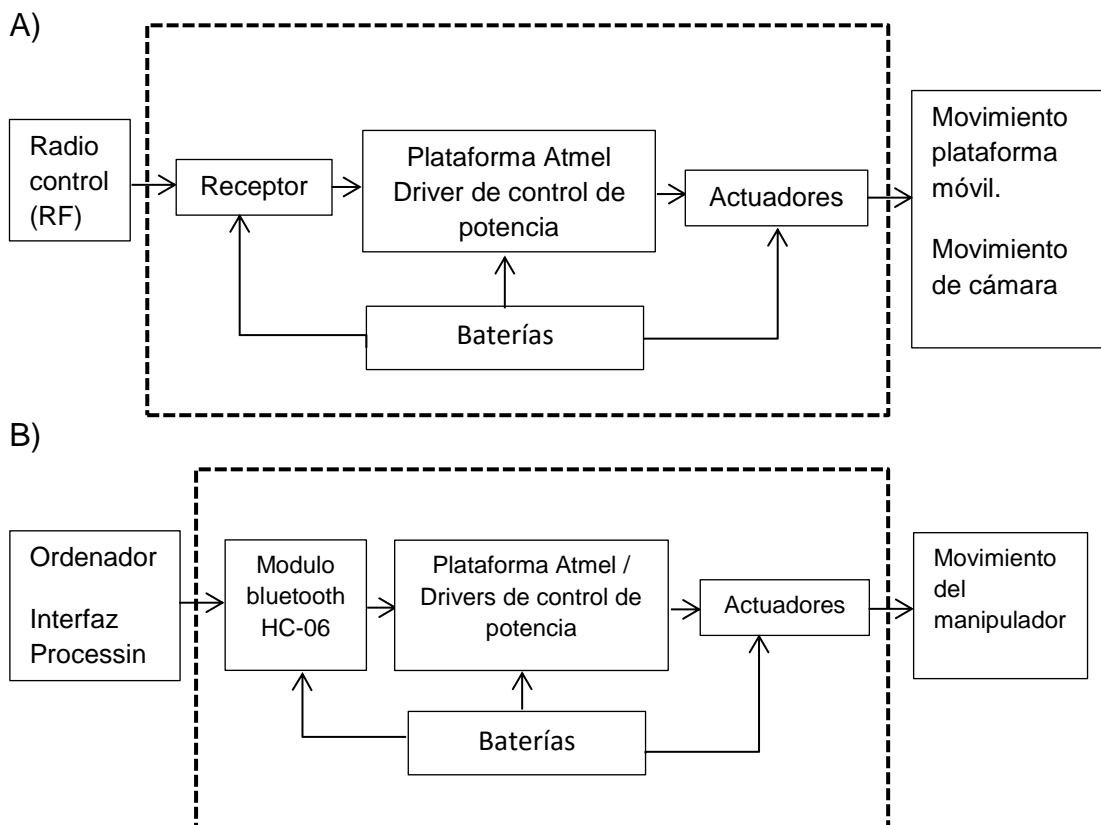


Figura 20. Estructura básica de un sistema mecatrónico.

Basándose en esta estructura y ajustándolo al proyecto daría como resultado lo descrito en la figura 21.



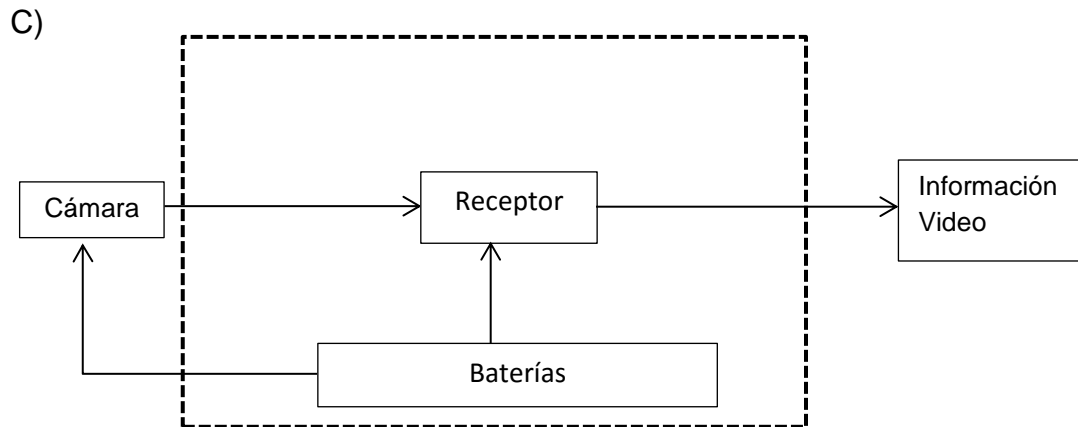


Figura 21. Estructura básica de un sistema mecatrónico adaptado al prototipo de un robot explorador teleoperado equipado con un manipulador. A) Plataforma móvil, B) Manipulador, C) Sistema de visualización.

3.3. DISEÑO ESPECÍFICO DE LA PLATAFORMA MÓVIL

Para el diseño de la plataforma móvil se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

Dimensiones.

Las medidas están diseñadas acorde a los componentes del sistema como son motores, sistemas de control de potencial, manipulador, baterías, etc. Las dimensiones son: ancho: 445mm, alto: 318mm y largo: 708mm.

Fuerza

La fuerza de tracción está dada por los cuatro motores acoplados a cada una de sus llantas. El torque de los motores oscila entre (9.5 – 15)N.m, dependiendo el tipo de terreno. (Liso, Tierra, Césped).

Estabilidad

Al ser una plataforma de forma rectangular, el centro de gravedad se encuentra en la parte central de la misma, esto es a 125mm sobre el suelo y 250mm desde el extremo.

Materiales

Está construido con materiales resistentes y livianos como son madera, acrílico, y aluminio.

Estos ayudan a soportar todo el peso de los componentes del sistema. La estructura de la plataforma móvil se diseñó esta manera con el fin de proporcionar estabilidad y soporte a todos los componentes del sistema al momento del desplazamiento.

De lo mencionado anteriormente se detalla el diseño de los planos y su descripción:

Vista superior

En la figura 22 se muestra la vista superior de la plataforma móvil, consta de un soporte construido en madera aglomerada de 15mm en la base y dos paredes de acrílico de 5mm de espesor, las medidas del soporte son: 95mm de ancho, y 500mm de largo, aquí se alojan todos los componentes electrónicos y de potencia así como el manipulador y fuentes de alimentación.

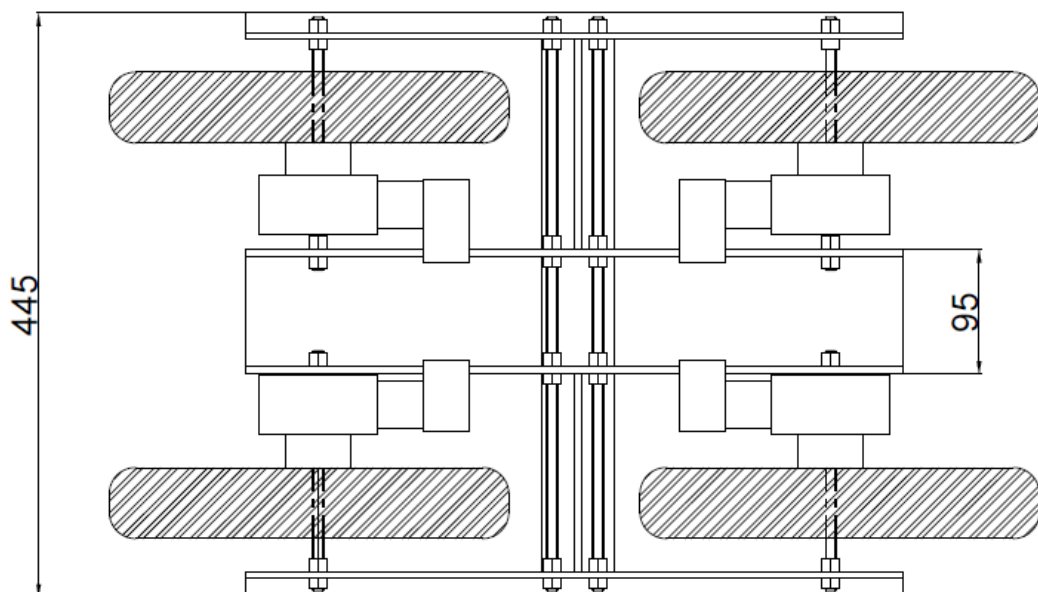


Figura 22. Vista superior de la plataforma móvil.

Dichos componente en la plataforma ocupan un espacio total de 90x450mm. Cuenta con dos varillas de aluminio de 5mm de diámetro y dos perfiles de aluminio de refuerzo de 25mm ubicados a 250mm desde el extremo de la plataforma.

Los dos componentes sirven de soporte y estabilidad al prototipo. Su centro de gravedad se encuentra en la parte central plataforma, esto es a 125mm sobre el suelo y 250mm desde el extremo.

Vista frontal

En la figura 23 se puede observar los dos soportes de acrílico de 120mm de alto y 5mm de ancho, ubicados en los extremos del prototipo, estos sirven de sujeción para las varillas y perfiles de aluminio, así como de soporte para los ejes de las llantas.

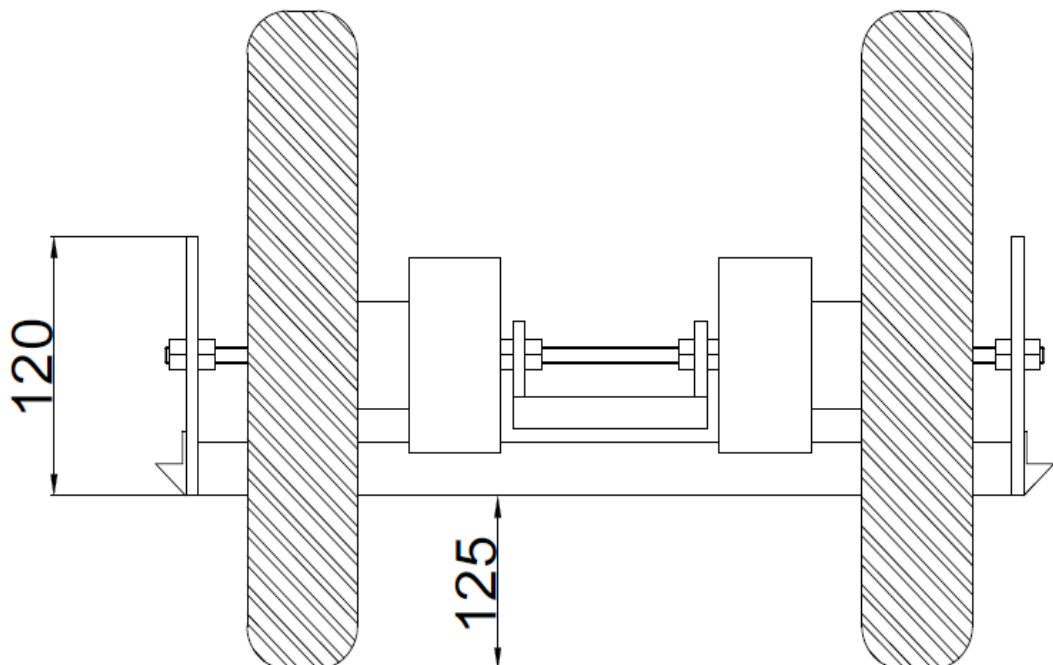


Figura 23. Vista frontal de la plataforma móvil.

Vista lateral

En la figura 24 se observa claramente uno de los dos soportes de aluminio de 500mm de largo, que sirven de sujeción y soporte a las varillas y perfiles de aluminio además de los ejes de las llantas.

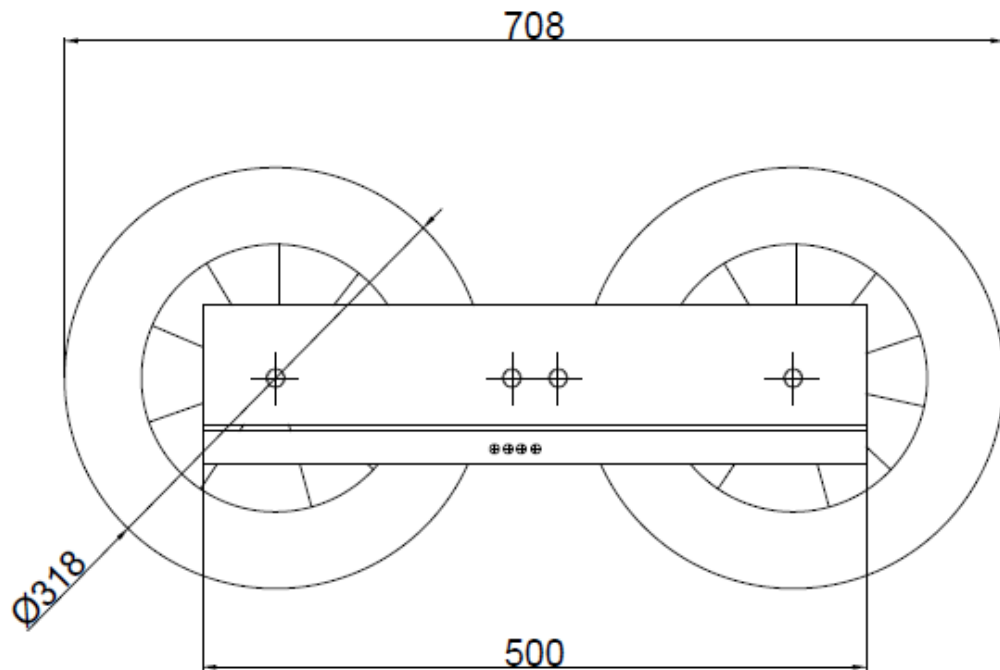


Figura 24. Vista lateral de la plataforma móvil.

LLANTAS

Según los requerimientos del prototipo, se escogió llantas de bicicleta, fabricadas en caucho, de contextura labrada para mayor fijación en el terreno, de dimensiones $12 \frac{1}{2} \times 2 \frac{1}{4}$ (54-203) (Figura 25), dichas medidas facilitan el traslado en terrenos irregulares ya que brindan una altura de 150mm desde el suelo a la base de la plataforma evitando así atrapamiento con obstáculos menores a esta altura.

Su particularidad de soportar un peso apreciable (40kg), hace que estas a su vez sirvan de suspensión para el sistema generando las fuerzas laterales

necesarias para el equilibrio y el giro. Las especificaciones técnicas de las llantas del prototipo se describen a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Detalles técnicos de las llantas del prototipo.

Detalles técnicos de la llanta		
Carga que soporta	40 Kg	
Presión interna	40 psi	
Marcado Internacional		
Descripción	mm	
Ancho	54	
Diámetro interno	203	
Marcado Británico		Pulgadas
Diámetro exterior	~ 317,5	12 ½
Ancho	~ 57	2 ¼



Figura 25. Llantas modelo 12 ½ x2 ¼ (54-203).

MOTORES

Los motores utilizados son de tipo elevadores de vidrio (Figura 26), de alto torque, con caja reductora – tornillo sin fin, dando así mayor tracción a las llantas al momento de desplazarse por terrenos irregulares. Se utilizaron 4

motores, uno por cada llanta, convirtiendo a la plataforma móvil en 4x4. Los motores funcionan a 12 V DC, mas especificaciones técnicas de los motores empleados en el prototipo podemos observar en la tabla 2.

Tabla 2. Detalles técnicos de los motores acoplados a la plataforma móvil del prototipo.

Datos técnicos	
Voltaje nominal	DC 12V
Corriente sin carga	$\leq 2A$
Corriente de bloqueo	$\leq 25A$
Corriente con carga	$\leq 7.5A$
Velocidad sin carga	90 +- 10rpm
Velocidad con carga	60 +- 10rpm
Torque nominal	3.5 N.m
Torque de bloqueo	9.5 - 15N.m
Ruido	$\leq 55 Db$



Figura 26. Motores tipo elevadores de vidrio.

CONTROL DE POTENCIA PARA LOS MOTORES

Para la alimentación de los cuatro motores DC, se escogió una batería de polímero de Litio de 4 celdas – 4000mAh (Figura 27). Esto en base a los detalles técnicos proporcionados en la tabla 2 anteriormente descrita. Esta batería proporcionara 14.8 V DC necesarios para el correcto funcionamiento de los motores. Detalles técnicos de la batería acoplada al prototipo se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Detalles técnicos de la batería usada para alimentar a los motores de la plataforma móvil del prototipo.

Datos técnicos de la batería	
Capacidad mínima (mAh)	4000
Voltaje (v)	14.8
Peso (g)	347
Longitud (mm)	144
Altura (mm)	50
Ancho C(mm)	22
Tiempo de trabajo útil (min)	30

(Hobbyking.com, 2016)



Figura 27. Batería utilizada para la alimentación de los motores de la plataforma móvil.
(Hobbyking.com, 2016)

INTERFAZ DE CONTROL PARA LOS MOTORES

La interfaz utilizada para el control y accionamiento de los motores es a través de un control remoto a radio frecuencia de 2.4GHz (Figura 28), la señal enviada desde el control remoto al receptor acoplado en la plataforma móvil (Figura 29), será la encargada de activar a cada uno de los motores según sea la necesidad de movimiento de la plataforma móvil. A continuación se exponen las especificaciones técnicas del emisor y receptor en las tablas 4 y 5 respectivamente.

Tabla 4. Detalles técnicos del emisor.

Datos técnicos del emisor	
Codificador:	7 canales sistema de micro ordenador
Frecuencia :	2,4 GHz DSSS
Potencia de salida	≤ 100mW
Consumo de corriente	≤ 230mA (100 mW)
Fuente de alimentación:	5 # 8X1.5V batería NiMH o 8X1.2V1600-2000mAh
Impulso de salida:	1000-2000Ms (1500 Neutro).

(Moses-modellbau, 2016)



Figura 28. Emisor – Control a radio frecuencia utilizado para el accionamiento de los motores y proporcionar movimiento a la plataforma móvil.

(Moses-modellbau, 2016)

Tabla 5. Detalles técnicos del receptor.

Datos técnicos del receptor	
Tipo:	2,4 GHz 7 canales
Sensibilidad:	105dbm
Peso :	11,6 g
Dimensión :	43X28X16mm
Batería del receptor :	4.8-6V1300mAh

(Moses-modellbau, 2016)



Figura 29. Receptor utilizado para el accionamiento de los motores y proporcionar movimiento a la plataforma móvil.

(Moses-modellbau, 2016)

Se debe aclarar que la plataforma no cuenta con un sistema de dirección mecánico, para el giro y movimiento de la plataforma, para esto se utiliza el control de los 4 motores.

Los motores ubicados en las llantas laterales (A1 – A2), (B1 – B2) (Figura 30), se encuentran ligados entre sí, y conectados a cada uno de los dos canales del driver de potencia.

La plataforma ATmega acoplada al driver de potencia contiene la programación que determina el accionamiento de cada motor dependiendo del giro o movimiento que se necesite, como se muestra en la Tabla 6.

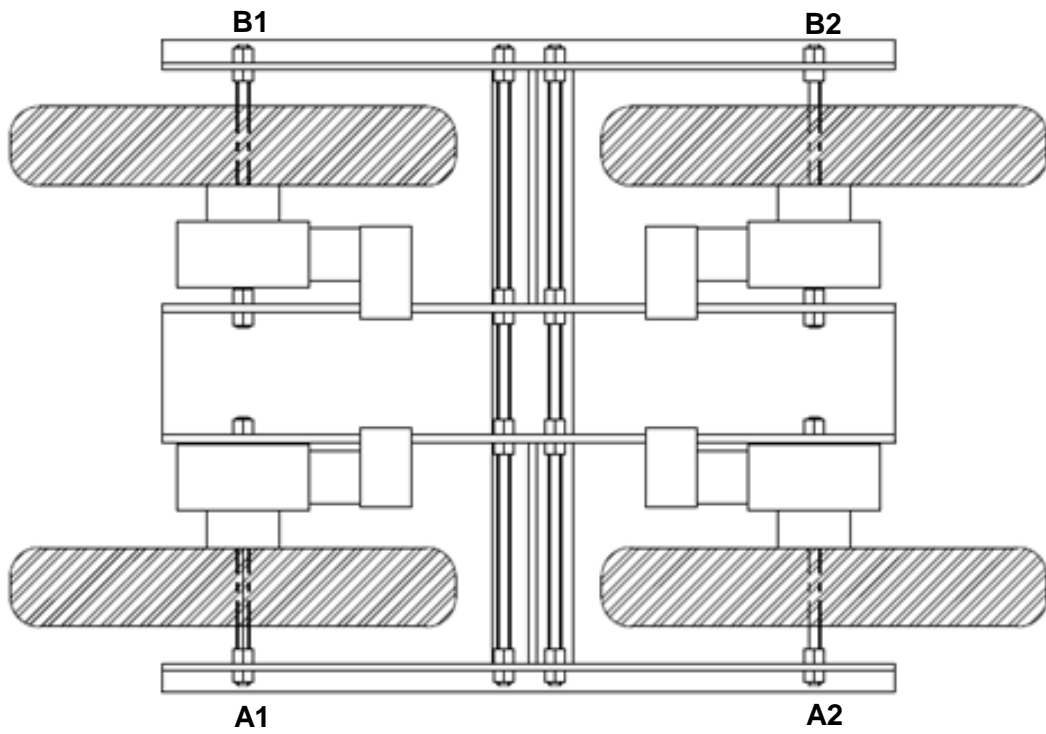


Figura 30. Nomenclatura de los motores.

Tabla 6. Sentencias de activación de los motores para el movimiento de la plataforma móvil.

Movimiento	Motor	Encendido	Dirección
Adelante	A1	SI	↑
	A2	SI	
	B1	SI	
	B2	SI	
Atrás	A1	SI	↓
	A2	SI	
	B1	SI	
	B2	SI	
Derecha	A1	SI	↑
	A2	SI	
	B1	SI	↓
	B2	SI	
Izquierda	A1	SI	↓
	A2	SI	
	B1	SI	↑
	B2	SI	

DRIVER DE CONTROL DE POTENCIA PARA LOS MOTORES

Acorde a los requerimientos anteriormente mencionados y sobresaltando el amperaje que necesitan los motores, se eligió como driver de control de potencia al módulo marca Elechouse (Figura 31), que soporta una carga de 50A, con doble canal de salida, compatible con plataformas ATmega.

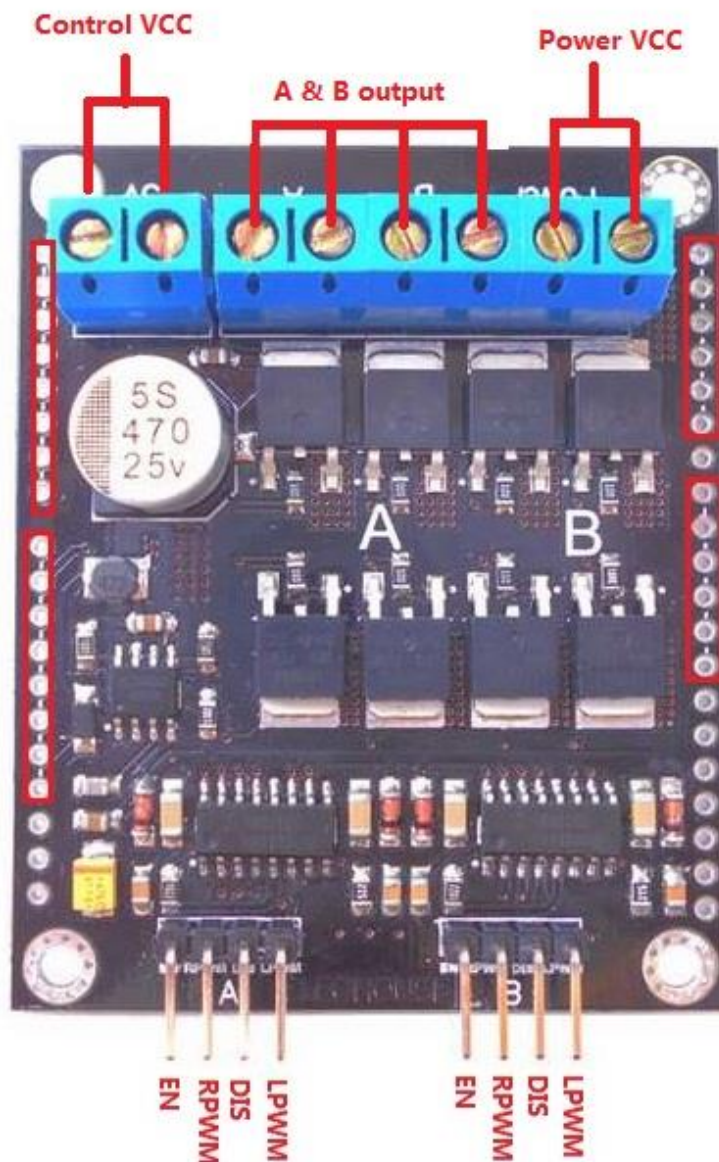


Figura 31. Driver de control de potencia para los motores de la plataforma móvil.
(Elechouse.com, 2016)

El bucle de control del sistema es el siguiente: el emisor (control remoto) envía una señal de radio frecuencia hacia el receptor, este la toma y la transforma a una señal analógica que es enviada a la plataforma ATmega acoplada al driver de potencia y es aquí donde esta señal se transforma de analógica a digital obteniendo una señal PWM como salida para control de velocidad de los motores.

Los detalles técnicos del driver de potencia se encuentran descritos en la Tabla 7.

Tabla 7. Detalles técnicos del driver de control de potencia para los motores de la plataforma móvil.

Datos técnicos del driver de control de potencia	
Pico de corriente (de carga):	100A
Carga máxima de trabajo por canal:	25A
Voltaje VCC (Carga):	0V~30V
VCC de alimentación recomendada (carga):	12V ~ 26V
Pico de corriente (de carga):	100A
Carga máxima de trabajo por canal:	25A

(Elechouse.com, 2016)

En la figura 32 descrita a continuación, se detalla un diagrama de la conexión eléctrica de todos los componentes que conforman el sistema de control de la plataforma móvil.

Estos son: plataforma ATmega, driver de potencia, sistema de alimentación, emisor, receptor, motores.

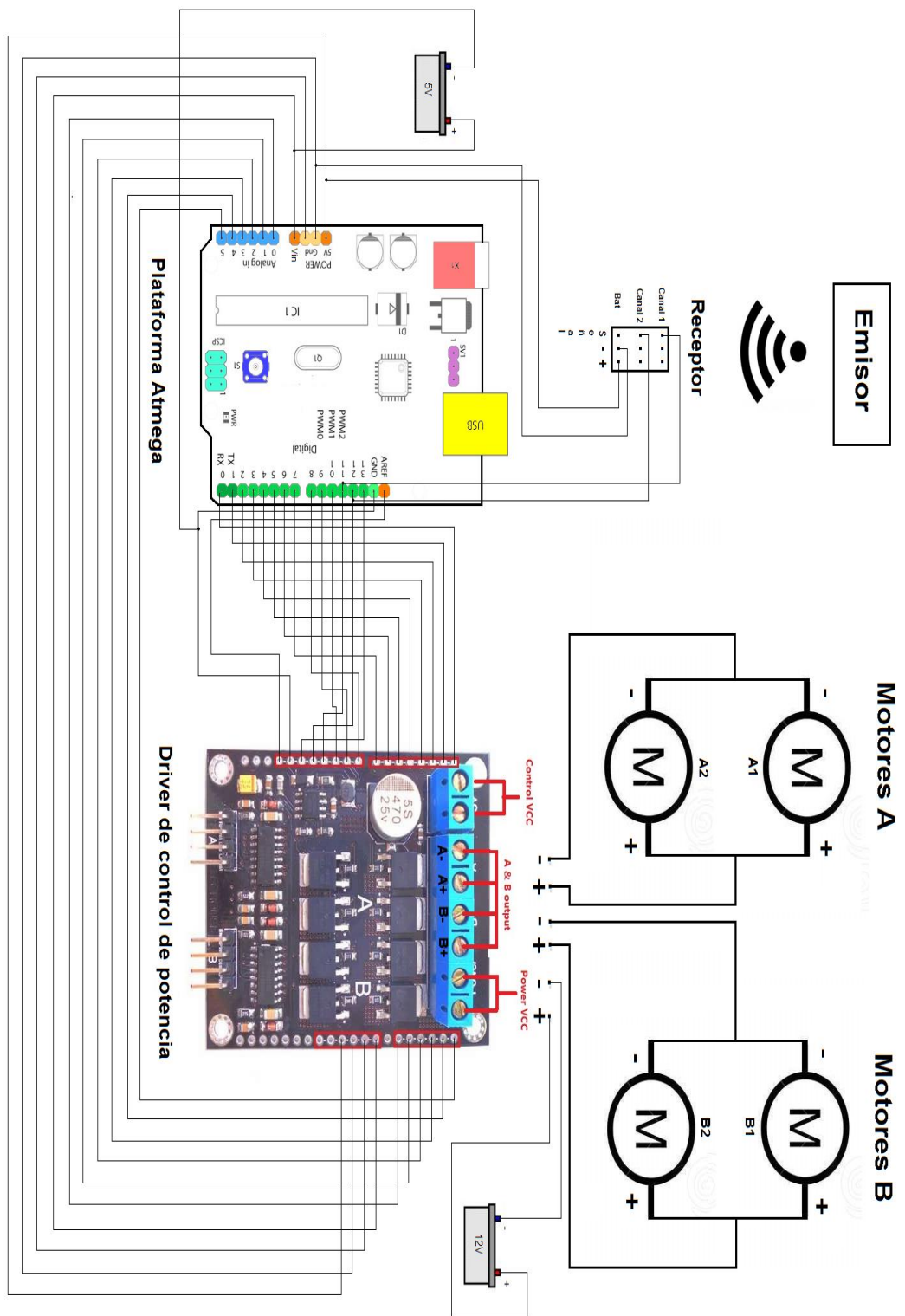


Figura 32. Diagrama de conexión eléctrica de los componentes del sistema de control de la plataforma móvil.

3.4. MANIPULADOR

El manipulador acoplado a la plataforma móvil es de marca CEBEKIT, modelo C-9895 (Figura 33), posee cinco grados de libertad y está equipado con cinco motores independientes para brindar movimiento y rotación de la base, el movimiento del codo y muñeca así como de la apertura y cierre de la pinza.



Figura 33. Manipulador acoplado a la plataforma móvil.
(Interempresas.net, 2016)

DIMENSIONES Y PESO DEL MANIPULADOR

Sus dimensiones son 229(L) x 160 (W) x 381 (H) mm, (Figura34). Su peso total es de 660gr.

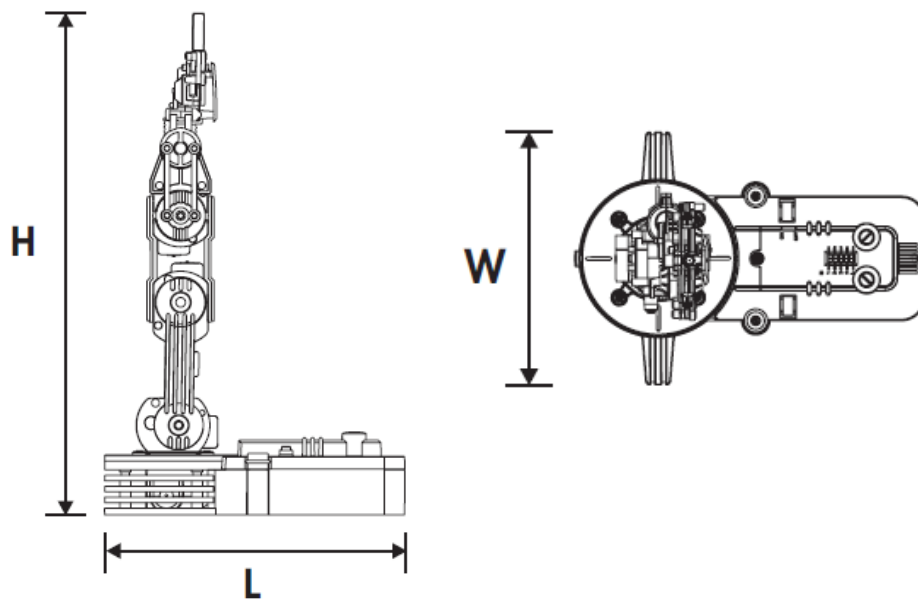


Figura 34. Dimensiones del manipulador L: largo; W: ancho; H: altura.
(Electan.com, 2016)

ÁREA DE TRABAJO

El área de trabajo del manipulador tiene un radio de 320mm desde su base como se muestra en la figura 35.

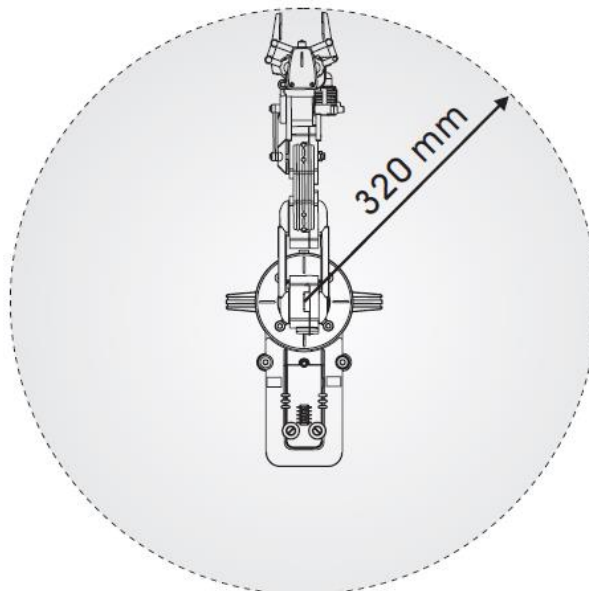


Figura 35. Dimensiones del manipulador.
(Electan.com, 2016)

ANGULO DE MOVIMIENTO DE CADA ARTICULACIÓN

En la figura 36, se muestra los tipos de movimiento que tiene el manipulador y sus ángulos respectivamente.

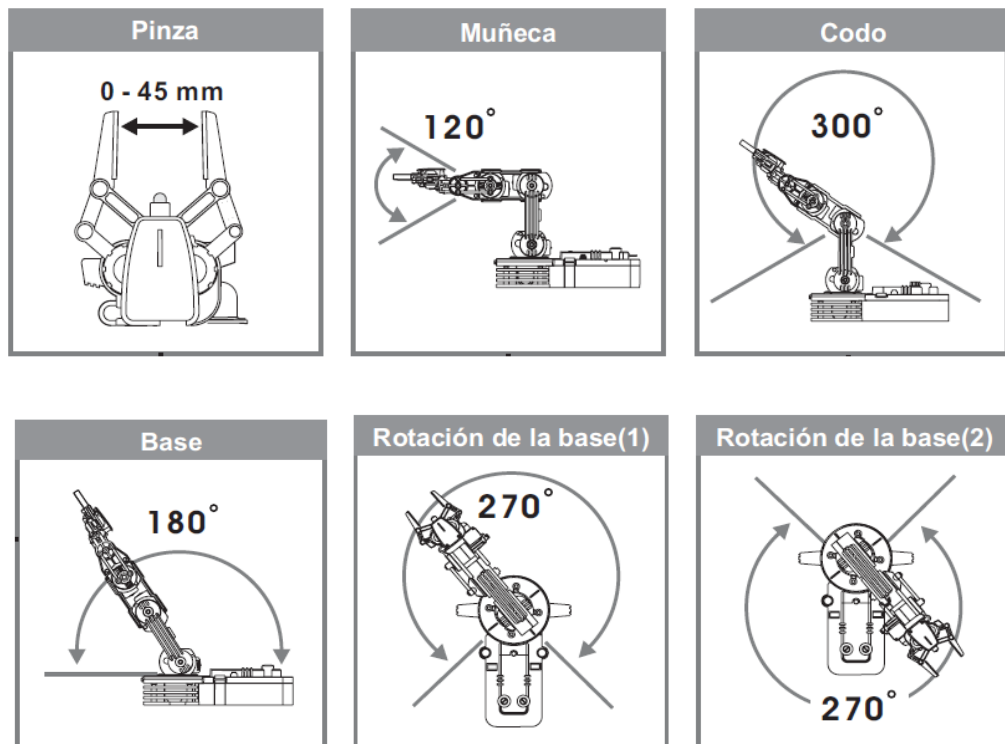


Figura 36. Movimientos de manipulador y sus ángulos respectivamente.
(Electan.com, 2016)

PESO MÁXIMO, TAMAÑO Y FORMA DE LOS OBJETOS A LEVANTAR

El peso máximo que soporta el manipulador al tomar, levantar y transportar objetos es de 100gr.

Es capaz de tomar objetos de forma rectangular o cuadrangular, de superficie lisa o rugosa, de contextura sólida, de hasta 45mm de longitud.

No puede tomar objetos forma cilíndrica y de contextura maciza excepto los que tienen forma de anillo de ancho no mayor a 45mm.

MOTORES

Los motores instalados en cada una de las articulaciones del manipulador son de tipo DC de imán permanente a 5v, poseen caja de engranajes de plástico (Figura 37), cada una equipada con un engrane de seguridad, el cual emite un sonido de alerta cuando el manipulador abre, cierra, sube, baja o gira una articulación más de su ángulo definido. Detalles técnicos descritos en la Tabla 8.

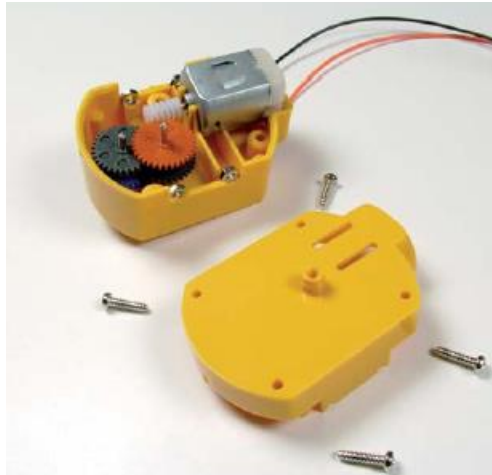


Figura 37. Motor y caja de engranajes del manipulador.
(Electan.com, 2016)

Tabla 8. Detalles técnicos de los motores del manipulador.

Datos técnicos de los motores del manipulador	
Voltaje de operación nominal:	5 V
Rango de voltaje de operación:	1 V a 7 V
Velocidad de operación:	< 15000 rpm
Velocidad con carga:	11600 rpm
Carga recomendada:	0.49 mN·m
Rango de cargas de operación:	0.1 mN·m a 0.98 mN·m
Corriente con carga a (5 V, 0.49 mN·m):	270 mA máx.

(Electan.com, 2016)

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL MANIPULADOR

Para la alimentación de los cinco motores DC, se escogió una batería de polímero de Litio de 2 celdas – 2200mAh (Figura 38). Esta batería proporcionara 7.4 V DC necesarios para el correcto funcionamiento de cada motor, esto en base a lo descrito anteriormente en la tabla 8.



Figura 38. Batería utilizada para la alimentación de los motores de la plataforma móvil. (Hobbyking.com, 2016)

Detalles técnicos de la batería acoplada al manipulador se muestran en la Tabla 9 descrita a continuación.

Tabla 9. Detalles técnicos de la batería usada para alimentar a los motores de la plataforma móvil del prototipo.

Datos técnicos de la batería	
Capacidad mínima (mAh)	2200
Voltaje (v)	7.4
Peso (g)	160
Longitud (mm)	104
Altura (mm)	35
Ancho C(mm)	22
Tiempo de trabajo útil (min)	30

(Hobbyking.com, 2016)

CONTROL DE POTENCIA DE LOS MOTORES

Para el sistema de control de potencia se utilizaron tres módulos L298N (Figura 39). Este módulo basado en el chip L298N permite controlar dos motores de corriente continua de hasta 2 amperios.

Cuenta con jumpers de selección para habilitar cada una de las salidas del módulo (A y B). La salida A está conformada por OUT1 y OUT2 y la salida B por OUT3 y OUT4. Los pines de habilitación son ENA y ENB respectivamente.

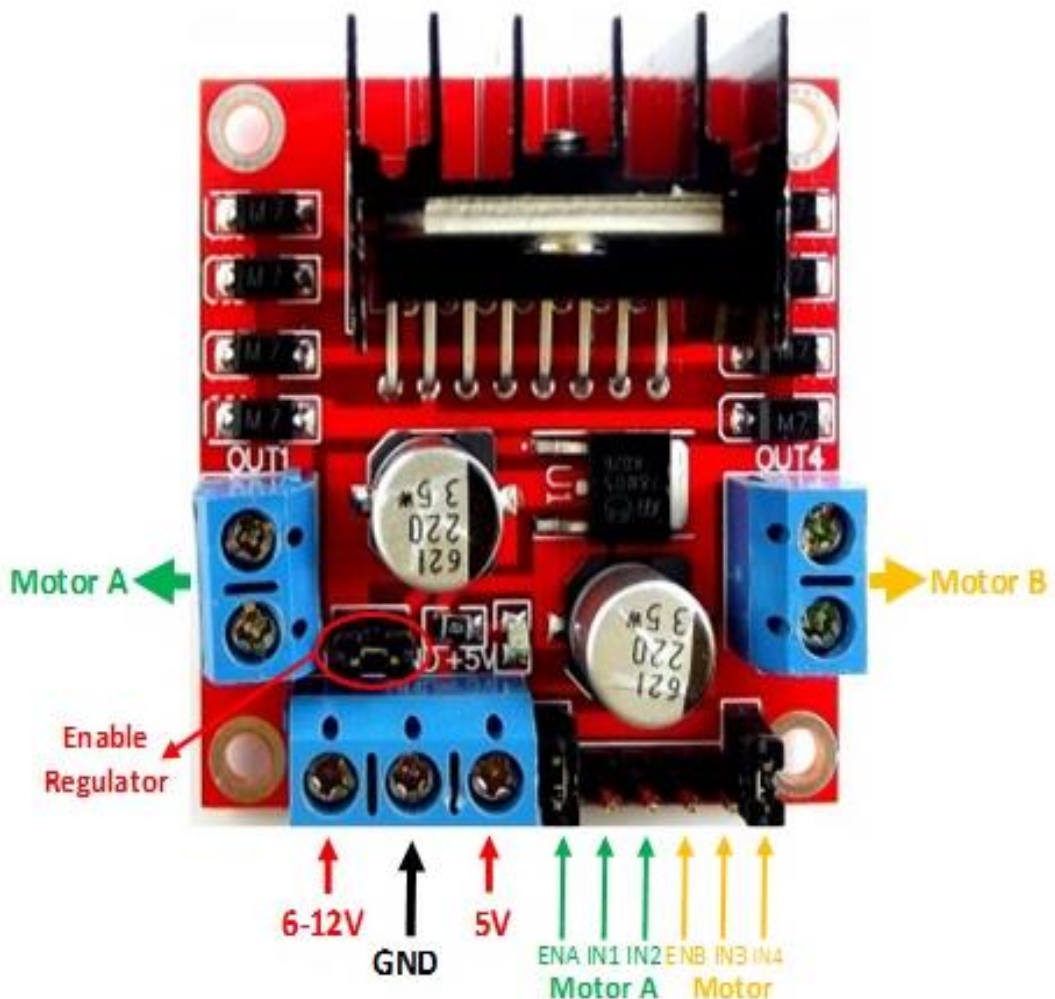


Figura 39. Módulo L298N utilizado para el control de potencia de los motores del manipulador.

(Naylampmechatronics.com, 2016)

Con el jumper de selección de 5V activo, el módulo permite una alimentación de entre 6V a 12V DC. Como el regulador se encuentra activo, el pin marcado como +5V tendrá un voltaje de 5V DC. Este voltaje es usado para alimentar la parte de control del módulo que en este caso es una plataforma ATmega.

INTERFAZ DE COMUNICACIÓN PARA EL CONTROL DE LOS MOTORES

Como interfaz de comunicación se utilizó el módulo bluetooth HC06 (Figura 40), por poseer una buena transmisión y recepción de datos. Con un alcance de 10m de comunicación entre emisor y receptor. Este módulo está conectado a una plataforma ATmega, la cual contiene la programación para el control de movimiento del manipulador.

A continuación en la Tabla 10, se detallan las características técnicas del módulo.

Tabla 10. Detalles técnicos del módulo bluetooth utilizado para el control de movimiento de los motores.

Datos técnicos del módulo bluetooth HC06	
Protocolo bluetooth:	Bluetooth especificación V2.0+EDR
Compatible con el protocolo Bluetooth	V2.0.
Potencia de emisión:	<4dBm, clase 2
Sensibilidad:	<-84dBm a 0.1% BER
Frecuencia:	2.4Ghz
Rango de baudios ajustable	9600 a 115200bps
Voltaje alimentación:	3.3V a 6VDC
Corriente de operación:	< 40 mA
Corriente modo sleep:	< 1mA
Distancia bluetooth:	10 metros

(Techmake.com, 2016)



Figura 40. Módulo bluetooth utilizado para el control de movimiento de los motores.
(Techmake.com, 2016)

INTERFAZ GRÁFICA DE CONTROL PARA LOS MOTORES DEL MANIPULADOR

La interfaz gráfica de control se desarrolló en Processing, por ser este un lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de código abierto. De fácil uso, basado en Java y con la particularidad de ser compatible con plataformas ATmega.

La interfaz gráfica consta de 10 botones en total, 2 para cada articulación: movimiento y rotación de la base, movimiento del codo, muñeca y pinza, como se muestra en la figura 41 descrita a continuación.

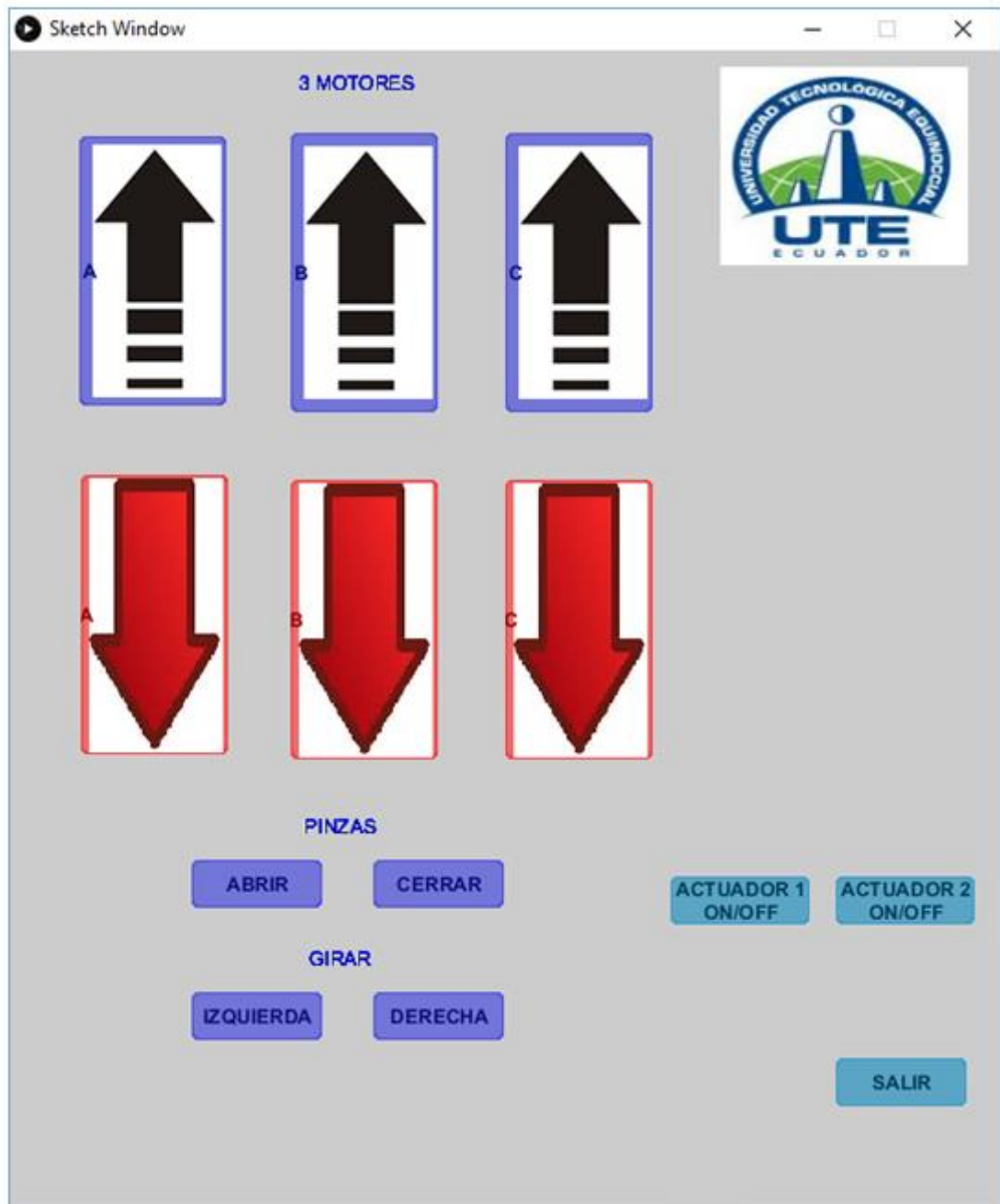


Figura 41. Interfaz gráfica de control para los motores del manipulador.

En la figura 42 representada a continuación, se detalla un diagrama de la conexión eléctrica de todos los componentes que conforman el sistema de control del manipulador. (Plataforma ATmega, drivers de control de potencia, sistema de alimentación, emisor, receptor, motores).

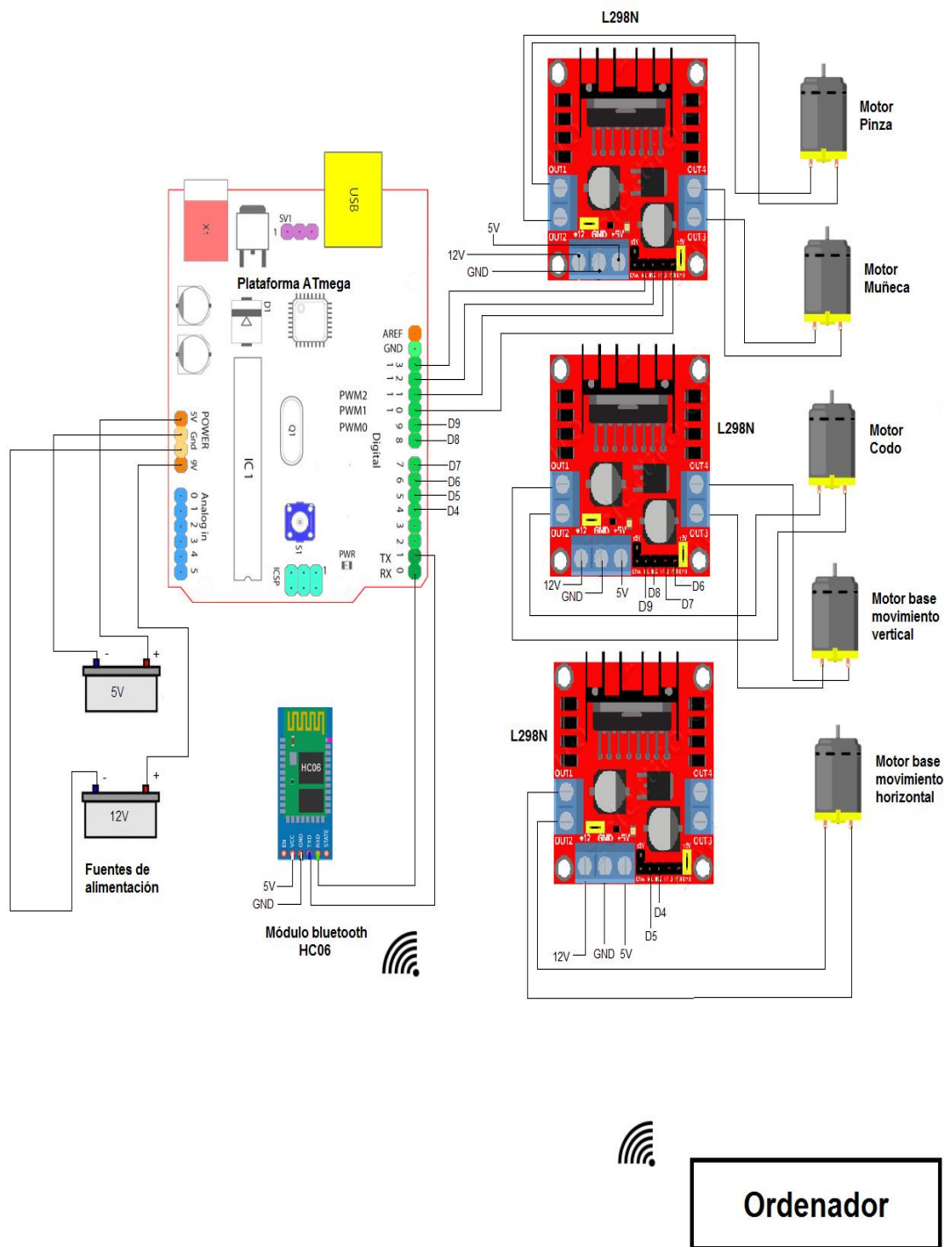


Figura 42. Diagrama de conexión eléctrica de los componentes del sistema de control del manipulador.

3.5. SISTEMA DE VISUALIZACIÓN

Por tratarse de un móvil que se desplazará a distancia controlado desde un lugar remoto, se necesita de un dispositivo que facilite visualizar el entorno que lo rodea y por donde se traslada, para esto, el prototipo posee una cámara inalámbrica marca Ápex, modelo AP-WC101 (Figura 43), de transmisión de datos a través de radio frecuencia (2.4Ghz) en tiempo real, consta de un receptor tipo USB para ser conectado a un puerto del computador. Su alcance de comunicación entre emisor y receptor es de 30m, con 300k pixeles de definición y formato de video MJPG.

Funciona a 5V DC, posee una batería recargable con un tiempo útil de operación de 30 minutos de duración aproximadamente.

La cámara esta acoplada en la parte superior de la muñeca del manipulador, de este modo se logra visualizar los objetos que serán tomados por su efector final.



Figura 43. Cámara integrada al prototipo, utilizada como sistema de visualización.

CAMPO VISUAL

La cámara al estar acoplada a la muñeca del manipulador, adquiere el ángulo de visión al que rotan el resto de articulaciones, siendo así: 300° de visión en forma vertical y 270° de visión en forma horizontal, tal como se indica en las figuras 44 y 45 respectivamente.

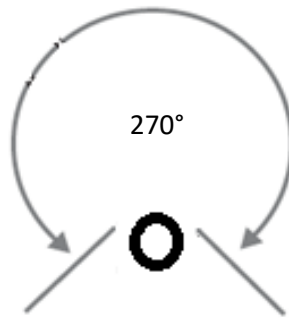


Figura 44. Campo visual en sentido horizontal.

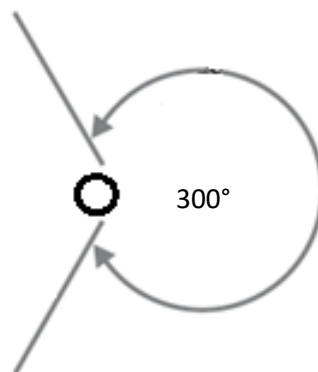


Figura 45. Campo visual en sentido vertical.

INTERFAZ DE COMUNICACIÓN

La interfaz de comunicación es mediante un emisor y un receptor, el receptor es de tipo USB que debe ser conectado a un puerto de computador,

el cual recibe la imagen enviada en tiempo real desde la cámara acoplada al manipulador.

INTERFAZ DE VISUALIZACIÓN

La interfaz de visualización que utiliza la cámara es por medio del programa AveoMonitor, que incluye el dispositivo.

Este programa muestra la imagen en tiempo real, en formato de video MJPG, ofrece distintos tamaño de salida de video, tales como: 640x480, 160x120, 320x240. Permite dar ajustes de contraste, brillo, nitidez, saturación a la imagen (Figura 46).

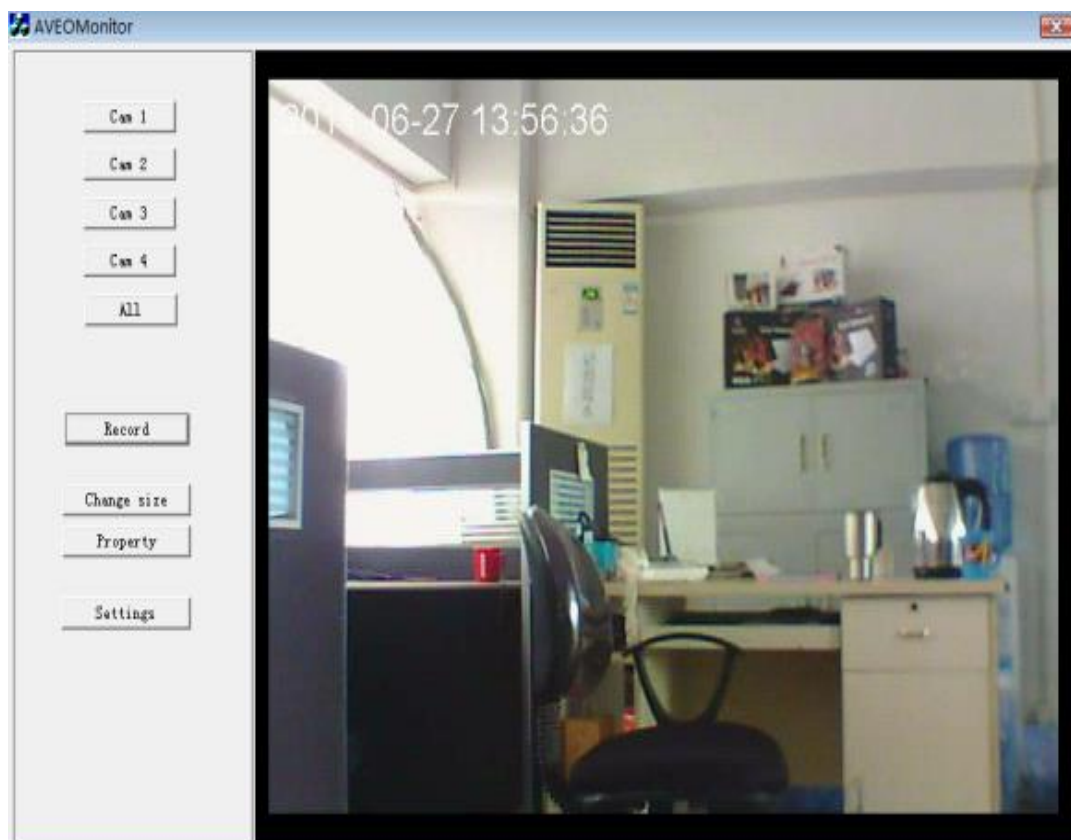


Figura 46. Interfaz de visualización de la cámara acoplada al manipulador.

En la figura 47 descrita a continuación, se detalla un diagrama de la conexión de todos los componentes que conforman el sistema de visualización del prototipo.

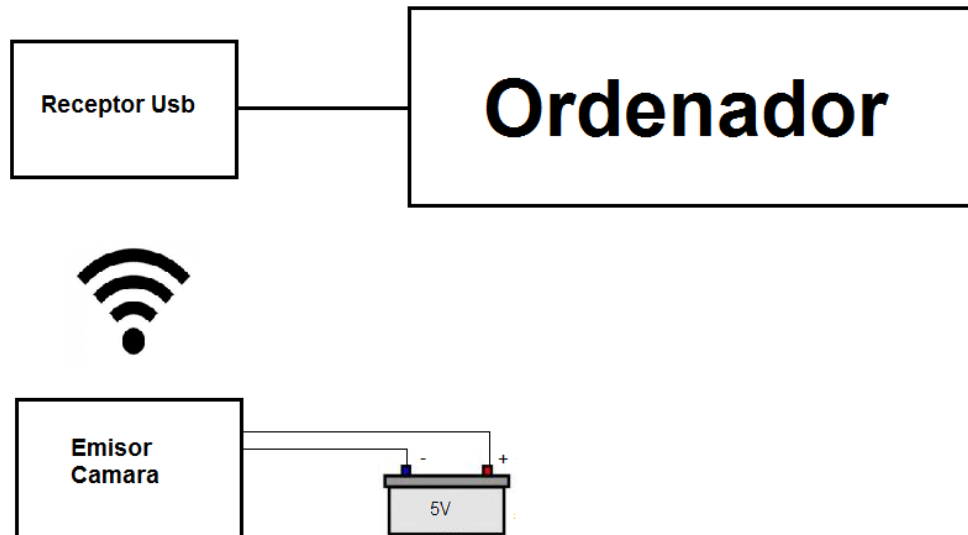


Figura 47. Diagrama de conexión de los componentes del sistema de visualización del prototipo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La etapa de pruebas fue necesaria para la evaluación de la funcionalidad del prototipo construido. Se aplicaron pruebas utilizando todos los mecanismos de hardware y software. Las pruebas fueron realizadas de manera independiente en cada uno de los subsistemas.

4.1. PLATAFORMA MÓVIL

Las pruebas de movilidad de la plataforma móvil se realizaron sobre terrenos lisos, de césped y de tierra. A una distancia comprendida entre 30 y 50 metros. Durante este proceso, no se observó problemas de comunicación entre el emisor y receptor, el tiempo de reacción a la señal emitida, prácticamente fue inmediata. Al superar esta distancia y llegar a los 75 metros el tiempo de respuesta aumento de 1 a 2 segundos. Todo esto en campo abierto. El resultado de estas pruebas se describe en la Tabla 11.

Tabla 11. Tiempos de respuesta del receptor respecto a la señal emitida por el control remoto.

Tipos de terreno	Distancia (m).	Tiempo de respuesta
	10	Al instante
	20	Al instante
	30	Al instante
Liso, Césped, Tierra	40	Al instante
	50	Al instante
	60	1 s.
	70	2 s.
	80	2 s.

El prototipo fue capaz de escalar y descender obstáculos tipo gradas de altura no mayor a 20 centímetros (Tabla 12).

Tabla 12. Resultado de la plataforma móvil al escalar gradas de distinta altura.

Obstáculos	Altura (cm).	Resultado al escalar
	5	Lo logra
	10	Lo logra
Tipo gradas	15	Lo logra
	20	Lo logra con dificultad
	25	No lo logra

Pudo ascender por terrenos con una pendiente máxima de inclinación de 45° sin sufrir volcamiento o problemas de tracción (Tabla 13).

Tabla 13. Resultado de la plataforma móvil al trasladarse por terrenos con distinto grado de inclinación.

Tipos de terreno	Grado de inclinación	Resultado al ascender
	~ 10°	Asciende sin problema de tracción o volcamiento
	~ 20°	Asciende sin problema de tracción o volcamiento
	~ 25°	Asciende sin problema de tracción o volcamiento
Liso, Césped, Tierra	~ 35°	Asciende sin problema de tracción o volcamiento
	~ 45°	Asciende sin problema de tracción o volcamiento
	~ 50°	Asciende con problema de tracción sin sufrir volcamiento
	~ 70°	Sufre volcamiento

El tiempo de duración de la batería en las pruebas realizadas fue de 30 minutos aproximadamente, luego de este tiempo se produjo fallo en la comunicación.

4.2. MANIPULADOR

La distancia óptima de comunicación entre dispositivos (emisor y receptor) fue de 9 metros, al exceder esta distancia hubo pérdida de señal y los motores permanecieron activados. El tiempo de respuesta para la reacción de los motores estuvo comprendido entre 1 y 2 segundos aproximadamente en un área comprendida entre 1 y 9 metros de distancia de separación entre dispositivos, tal y como se muestra en la tabla 14 descrita a continuación.

Tabla 14. Tiempos de respuesta del receptor respecto a la señal emitida por el emisor para la activación de motores.

Articulaciones	Distancia (m).	Tiempo de respuesta
	1	Al instante
	3	Al instante
Muñeca,	5	Al instante
pinza,	7	Al instante
Codo,	9	Al instante
base	10	1 - 2 s.
	11	No existe respuesta

El manipulador pudo tomar, levantar y mover objetos con un peso máximo de 100gr sin que este los suelte como se detalla en la Tabla 15.

Tabla 15. Forma y peso de los objetos sujetos a prueba de agarre, levantamiento y transporte por parte del manipulador y los resultados obtenidos.

Forma de objetos	Peso (gr).	Resultado
	20	Toma, levanta y transporta
	40	Toma, levanta y transporta
Cuadrangular o tipo anillo	70	Toma, levanta y transporta
	80	Toma, levanta y transporta
	100	Toma, levanta y transporta
	120	Toma pero no levanta
	30	Toma, levanta y transporta
Esféricos	50	Toma, levanta, pero no transporta
	90	Toma, pero no levanta
	115	Toma pero no levanta

Los objetos a tomar fueron de forma cuadrangular y esférica, de dimensiones comprendidas entre 10 a 40 milímetros de longitud y diámetro, obteniendo como resultado que a diferencia de los objetos cuadrangulares, al momento de levantar los objetos esféricos, la pinza los soltó en algunos casos, como se describe en la Tabla 16.

Tabla 16. Forma y tamaño de los objetos sujetos a prueba de agarre, levantamiento y transporte por parte del manipulador y los resultados obtenidos.

Forma de objetos	Tamaño de objetos (mm). Longitud o diámetro respectivamente	Resultado (Peso no mayor a 100gr.)
	10	Toma, levanta y transporta
	15	Toma, levanta y transporta
Cuadrangular o tipo anillo	20	Toma, levanta y transporta
	35	Toma, levanta y transporta
	40	Toma, levanta y transporta
	50	No logra tomarlos
	10	Toma, levanta y transporta
Esféricos	15	Toma, levanta pero no transporta
	35	Toma, pero no levanta
	45	No logra tomarlos

El tiempo de duración de la batería en las pruebas realizadas fue de 25 minutos aproximadamente.

4.3. SISTEMA DE VISUALIZACIÓN

Las pruebas de funcionamiento fueron desarrolladas en ambientes de día y noche, la calidad de video fue satisfactoria al momento del día, mientras que en la noche la calidad bajo a regular, debido a la falta de un sistema de iluminación en el prototipo. Los resultados se indican en la Tabla 17 descrita a continuación.

Tabla 17. Calidad de visualización de video en distintos ambientes.

Ambiente	Calidad de visualización	Observaciones
Día	Buena	La calidad de video es satisfactoria.
Noche	Regular	La calidad de video es regular por falta de un sistema de iluminación en el prototipo.

La distancia óptima para no tener perdida de señal fue de 15 metros a campo abierto y de 10 metros con obstáculos de tipo pared (Tabla 18).

Tabla 18. Recepción de señal, calidad de video a distintas distancias.

Ambiente	Distancia (m).	Recepción de señal	Calidad de recepción de video
Campo libre	5	Si	Excelente
	10	Si	Excelente
	15	Si	Buena
	20	Si	No existe
Obstáculos tipo pared	5	Si	Excelente
	10	Si	Buena
	15	No	No existe

Se observó un problema mínimo de distorsión de la señal al momento en que el móvil se desplazó por terrenos irregulares.

La duración de la batería en las pruebas realizadas fue de 45 minutos aproximadamente.

Es importante mencionar que al final de todo este proceso se realizó pruebas de funcionamiento del prototipo con todos los subsistemas integrados. La distancia de operación del prototipo se limitó a 10m, debido a que esta es la distancia óptima en la cual existe transmisión de señal por parte de la cámara.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un robot explorador teleoperado, equipado con un manipulador capaz de tomar, levantar y transportar objetos de forma rectangular o cuadrangular, de superficie lisa o rugosa, de textura sólida, de hasta 45mm de longitud y de un peso máximo de 100 gr.
- Se implementaron interfaces de comunicación con cada uno de los subsistemas del prototipo. Para el control de la plataforma móvil se utilizó un radio control que funciona como emisor, logrando controlar hasta 80 metros de distancia del receptor. Para el control del manipulador se implementó una interfaz gráfica la cual brinda una distancia de control de 10 metros. El sistema de visualización proporciona una transmisión de imagen en tiempo real a una distancia máxima de 15 metros a campo libre y de 10 metros con obstáculos, siendo estas paredes. Todo esto controlado por medio de radiofrecuencia.
- Al tratar de controlar el movimiento de la plataforma móvil y del manipulador por medio de un radio control RF, se limitó el movimiento de las articulaciones del manipulador, de cinco grados de libertad a solamente dos, debido al carecimiento de canales que proporcionaba el radio control. Por tal motivo se determinó que la mejor opción para implementar la interfaz de comunicación y control del manipulador es hacerla por separado mediante bluetooth, así se logra obtener la movilidad de todas las articulaciones que presenta el manipulador. Se puede implementar todo el control de los subsistemas del prototipo desde un solo radio control RF si este tiene los canales necesarios, que son 7 en totalidad.
- El torque brindado por los motores, así como el diámetro y la textura de las ruedas de la plataforma móvil, fueron de vital ayuda al momento de ascender y trasladar al prototipo por terrenos irregulares. La plataforma logró ascender por terrenos con un ángulo de inclinación

aproximado de 45°. De la misma manera logró escalar obstáculos tipo grada de una altura máxima de 20 centímetros.

- Acoplar una cámara inalámbrica en la muñeca del manipulador ayudo a incrementar su utilidad, al estar enlazada en este lugar se logró obtener un campo visual más amplio debido a que el manipulador podía moverse en destinos ángulos. El campo de visión que se obtuvo fue de 300° en forma vertical y 270° de forma horizontal.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda añadir un sistema de iluminación a la estructura del prototipo. Esto proporcionará mejor visibilidad al momento de trasladar la plataforma en lugares de poca iluminación, inclusive en ambientes de noche.
- Se recomienda utilizar como sistema de visualización una cámara de mayor alcance y calidad de transmisión a la utilizada en este prototipo, de esta manera aumentaríamos el perímetro de exploración. Lo idóneo sería lograr un alcance de recepción de video similar al alcance de desplazamiento y control de la plataforma móvil.
- Con el fin de poseer una visión clara y poder distinguir elementos del entorno por el que se desplaza el prototipo, dicha cámara debe permitir realizar zoom.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdelhameed, M. M. (2014). VDI 2206. Obtenido de http://mct.asu.edu.eg/uploads/1/4/0/8/14081679/lect_04-mechatronics_2_vdi_model_example.pdf.
- Army-technology.com. (2016). Army-technology.com. Obtenido de TALON Tracked Military Robot, United States of America: <http://www.army-technology.com/projects/talon-tracked-military-robot>.
- Arqhys.com. (2016). Arqhys.com. Obtenido de Manipulador robotico - Arquitectura y construccion: <http://www.arqhys.com/articulos/manipulador-robotico.html>.
- Becerra, W., Castro, X., López, M., López, A., Morocho, L., & Ramón, S. (2009). Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de Características, funcionamientos y aplicaciones de los robots cilindricos industriales: <https://luisarmandomorochowikispaces.com/file/view/ROBOT+CILINDRICO.pdf>.
- Bishop, R. H. (2008). Mechatronic system control, logic, and data acquisition. Boca Raton FL: CRC press.
- Bogado Torres, J. M. (2007). Control bilateral de robots teleoperados por convergencia de estados. Obtenido de http://oa.upm.es/934/2/JUAN_MANUEL_BOGADO_TORRES.pdf
- Boston Dynamics. (2016). Rhex, devora los terrenos difíciles. Obtenido de http://www.bostondynamics.com/robot_rhex.html.
- Camacho Rios, A. L., & Perez Serrano, D. R. (2008). Diseño de un sistema robotico teleoperado para fines didacticos. Obtenido de <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/185/1/camachorios.pdf>.
- Ceron Correa, A. (2005). Sistemas roboticos teleoperados. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/911/91101505.pdf>.

- Chavez Gonzales, M. A. (Junio de 2012). Prototipo de robot movil teleoperado. Obtenido de <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12812/Tesis%20Prototipo%20de%20Robot%20M%C3%B3vil%20Teleoperado.pdf?sequence=3>.
- De.engadget.com. (8 de 8 de 2008). Obtenido de Deutsche Roboter bewachen die Olympischen Spiele in China: <http://de.engadget.com/2008/08/08/deutsche-roboter-bewachen-die-olympischen-spiele-in-china/>.
- Directindustry.es. (2016). Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/panasonic-factory-automation-company/product-16044-1584812.html>.
- Elechouse.com. (2016). Obtenido de http://www.elechouse.com/elechouse/index.php?main_page=product_info&products_id=2179.
- Electan.com. (2016). Obtenido de C-9895 . Electan: <http://www.electan.com/datasheets/cebek/C-9895.pdf>.
- Fernandez, R. (2013). Analisis y diseño de sistemas de control digital. Mexico DF: McGraw Hill.
- Festo. (2016). Manipulador eléctrico cartesiano de tres ejes (desplazamiento de carros). Obtenido de <http://www.festo-didactic.com/es-es/productos/manipulador-electrico-cartesiano-de-tres-ejes-desplazamiento-de-carros.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4Ljc2OS40NTMw>.
- Futuristicnews. (2016). Obtenido de The ATHLETE Moon Rover From NASA: <http://futuristicnews.com/the-athlete-moon-rover-from-nasa-2/>.
- García Negrín, V. M. (Septiembre de 2013). Metodos para el desarrollo eficiente de maquinas de procesamiento apoyado mediante simulacion,

pag 30. Obtenido de <http://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/521bd645569fe.pdf>.

- González, V. (03 de 2002). Estructura de un robot industrial. Obtenido de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/morfologia.htm.
- González Pino, M. A., & Durán Acevedo, C. M. (2009). Revista Colombiana de tecnologías de avanzada. Obtenido de El TMR-1. UN ROBOT MOVIL TELEOPERADO: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_17/recursos/01_general/26082010/01-14_volumen_cristhian_duran_.pdf.
- Hobbyking.com. (2016). Obtenido de http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/__9510__Turnigy_4000mAh_3S_30C_Lipo_Pack.html.
- Ingenieure, V. D. (June de 2004). Design methodology for mechatronic systems. Düsseldorf, Germany.
- Interempresas.net. (2016). Obtenido de <http://www.interempresas.net/Robotica/Articulos/30535-Cebek-incorpora-nuevos-modelos-a-su-amplia-gama-de-robots-educativos.html>.
- Kawasaki, K. (2003). Robotics System. Obtenido de The Athlete Rover: <https://www-robotics.jpl.nasa.gov/systems/system.cfm?System=11>.
- Laszlo, C. (2010). Manual de luminotecnia para interiores. Manual de luminotecnia para interiores. buenos aires, argentina.
- Moses-modellbau. (2016). Obtenido de <http://www.moses-modellbau.de/mediafiles/Anleitungen/DEVO/Manual%20of%20DEVO-7.pdf>.
- Naylampmechatronics.com. (2016). Obtenido de Tutorial de Uso del Módulo L298N - Naylamp Mechatronics:

http://www.naylampmechatronics.com/blog/11_Tutorial-de-Uso-del-M%C3%B3dulo-L298N.html.

- Ollero Baturne, A. (2006). Robotica: Manipuladores y robots moviles. Obtenido de <http://es.slideshare.net/carlospardo01/robotica-manipuladores-y-robots-mviles-ollero>.
- Pedrotti, F. L., & Pedrotti, L. S. (1993). Introduction to optics. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Platea.pntic.mec.es. (2016). Obtenido de Robots industriales: http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.html
- Reston, C. (2004). Transformerless Power Supplies: Resistive and Capacitive. USA.
- Robowatch Technologies. (2016). OFRO, La vigilancia al mas alto nivel. Obtenido de <http://www.asimo.pl/materialy/download/ofro-robot.pdf>.
- Ruiz, E., & Sánchez, V. (2007). Educatronica, Innovación en el aprendizaje de las ciencias y la tecnologia. Obtenido de <http://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479788223.pdf>.
- Techmake.com. (2016). Obtenido de Módulo bluetooth: <http://www.techmake.com/00109.html>.
- Tegruposete7. (2016). Obtenido de Classificação dos robôs: <https://tegruposete7.wordpress.com/classificacao-dos-robos/>.
- Turner, W. C., & Doty, S. (2007). Energy Managment Handbook. The Fairmont Press.
- Yoshihisa, T. (2009). Energy saving liehting efficiency technologies. Quarterly Review, 59-71.

ANEXOS

ANEXO 1. Prototipo construido de robot explorador teleoperado, equipado con un manipulador para tomar muestras.



ANEXO 2. Vista superior del prototipo construido.



ANEXO 3. Vista frontal del prototipo construido.



ANEXO 4. Vista lateral del prototipo construido.

