



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA
ROBÓTICA PARA EXTERIORES TELEOPERADA, PARA EL
LABORATORIO DE MANUFACTURA.**

**AUTORES: GUANO CHICAIZA, MARCO SANTIAGO
SEVILLA RIOFRÍO, ALEXIS WLADIMIR**

**DIRECTOR: MSC. LOZA, DAVID
CODIRECTOR: ING. ORTIZ, HUGO**

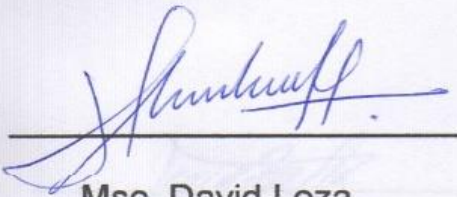
SANGOLQUÍ

2015

CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto titulado "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA
Certificamos que el presente proyecto titulado "DISEÑO Y
CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA PARA EXTERIORES
TELEOPERADA, PARA EL LABORATORIO DE MANUFACTURA", fue
realizado en su totalidad por los señores Guano Chicaiza Marco Santiago y
Sevilla Riofrío Alexis Wladimir; cumpliendo con los requerimientos de la
Universidad de las Fuerzas Armadas –ESPE, bajo nuestra dirección.

En virtud de esta declaración, las ideas, conceptos, procedimientos y
resultados verificados en el presente proyecto son de exclusiva
responsabilidad de los autores.



Msc. David Loza

DIRECTOR



Ing. Hugo Ortiz

CODIRECTOR

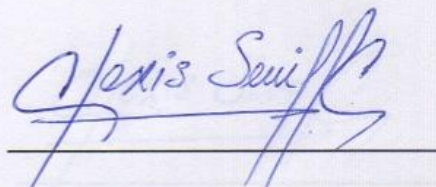
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

El presente proyecto titulado "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA PARA EXTERIORES TELEOPERADA, PARA EL LABORATORIO DE MANUFACTURA" ha sido desarrollado citando y respetando las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes, acotándolos respectivamente en el desarrollo del texto y en el registro bibliográfico.

En virtud de esta declaración, las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente proyecto son de exclusiva responsabilidad de los autores.



Guano Chicaiza Marco Santiago



Sevilla Riofrío Alexis Wladimir

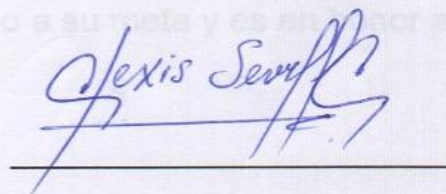
AUTORIZACIÓN

Nosotros, Guano Chicaiza Marco Santiago y Sevilla Riofrío Alexis Wladimir, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE a publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA PARA EXTERIORES TELEOPERADA, PARA EL LABORATORIO DE MANUFACTURA”, cuyo contenido, es de nuestra total autoría.

A una persona muy importante que se adelantó en su partida mi gran amigo y hermano Santiago Pérez, pero que desde el lugar que él se encuentra me ha llenado de fuerzas y sabiduría para culminar el sueño que en su momento tuvimos juntos y que hoy llego a su meta y es en honor a su memoria.



Guano Chicaiza Marco Santiago



Sevilla Riofrío Alexis Wladimir

DEDICATORIA

Este nuevo logro en mi etapa estudiantil se los dedico a mis padres Patricia y Marco quienes han sido el pilar fundamental en mi vida y las personas que siempre están a mi lado y nunca me han dejado caer a pesar de las adversidades, brindándome siempre su amor y confianza para salir adelante y que hoy día gracias a ellos culmino una meta más en mi vida, a mis hermanos José y Silvia que con su apoyo, cariño y confianza han sabido apoyarme en cada paso que doy y espero que este logro también sirva de motivación a ellos para que también alcancen sus metas que se han propuesto.

A una persona muy importante que se adelantó en su partida mi gran amigo y hermano Santiago Pérez, pero que desde el lugar que él se encuentre me ha llenado de fuerzas y sabiduría para culminar el sueño que en su momento tuvimos juntos y que hoy llego a su meta y es en honor a su memoria.

Marco Santiago Guano Chicaiza

DEDICATORIA

Dedico la culminación de este arduo trabajo a mis padres Olivia y Edgar, quienes me enseñaron a nunca rendirme sin importar los inconvenientes.

A mi hermana, Mafer, afirmándole que nuestra hermandad se fortalece cada día y decirle que siempre estaré con ella.

A mis amigos, quienes formaron parte muy importante de todo este trayecto, con quienes compartimos momentos de alegría y tristeza, diciéndoles esos momentos serán anécdotas inolvidables.

Sevilla Riofrío Alexis Wladimir

AGRADECIMIENTOS

A las personas que más amo en este mundo mi familia mi Padre Marco que gracias a sus consejos y paciencia, he sabido escoger el camino correcto para ser una persona de bien y teniendo siempre claro los principios moral y ética, a mi Madre Patricia que con su infinito amor ha estado siempre a mi lado brindándome su amistad más que de madre de una verdadera amiga riendo y llorando juntos las penas y alegrías, a mis hermanos José y Silvia con quienes día a día compartimos nuevas historias y quienes con su amor, amistad y cariño llenan mi ser haciéndome sentir capaz de salir adelante y de quienes también espero sigan el camino correcto siguiendo siempre sus sueños y metas.

A mis maestros de primaria, secundaria y universidad los cuales son las personas que han guiado este largo camino que no culmina hoy, sino es el inicio de nuevas metas por cumplir.

A mis compañeros y amigos, tanto de estudios como de la vida cotidiana, mis grandes amigos de aventuras y estudios de la ESPE, y a los inigualables INQUIETOS que, han sido mis hermanos desde que tengo memoria y con los cuales aprendí lo que es amistad, hermandad y unión sincera.

A mi novia Gaby, quien me brinda su amor desinteresado y que siempre me apoya en las metas que me propongo, con su amor y paciencia esta siempre ahí brindándome una sonrisa, palabras de aliento y estando a mi lado para no decaer cuando las cosas se complican.

Marco Santiago Guano Chicaiza

AGRADECIMIENTOS

Hacia mis padres, Olivia y Edgar quienes plantaron en mí valores de honestidad y nobleza no tengo más palabra que “gracias”, gracias por el esfuerzo realizado para que pueda conseguir esta meta tan anhelada, gracias por el apoyo incondicional, gracias por el amor que me tienen; por todo ello y mucho más les tengo una infinita gratitud.

A mi hermana Mafer, quien siempre me dio palabras de aliento, con su gran carisma me ayudó a superar obstáculos, enseñándome a ver siempre el lado positivo de las cosas y no decaer.

A mis amigos, con los cuales compartimos gratos momentos a lo largo de la vida universitaria, demostrando siempre valores de respeto y compañerismo. Recordando a amigos que tuvieron que abandonar la universidad por motivos adversos y a todos quienes durante varios años de amistad, siempre permanecimos unidos.

A los ingenieros David Loza y Hugo Ortiz, quienes brindaron el apoyo y seguimiento riguroso para la ejecución satisfactoria del presente proyecto.

Sevilla Riofrío Alexis Wladimir

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
RESUMEN	xxii
ABSTRACT	xxiii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Historia.....	1
1.1.2 Robótica móvil en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.....	6
1.2 Planteamiento del problema y motivación	7
1.3 Justificación e importancia	8
1.4 Objetivos	10
1.4.1 Objetivo General	10
1.4.2 Objetivos Específicos.....	10
1.5 Alcance	11

1.6 Resumen.....	11
CAPÍTULO 2.....	13
MARCO TEÓRICO	13
2.1 Generalidades.....	13
2.1.1 Robótica.....	13
2.1.2 Robótica Móvil	14
2.1.3 Desarrollos en robótica móvil.....	16
2.1.4 Robots autónomos y telerrobótica	16
2.2 Locomoción en robots móviles.....	17
2.2.1 Ruedas en robots móviles.....	18
2.2.2 Mecanismos para traslación de robots móviles	19
2.2.2.1 Conducción por rueda individual motriz	19
2.2.2.2 Desplazamiento diferencial	20
2.2.2.3 Desplazamiento síncrono.....	21
2.2.2.4 Sistema Ackerman	21
2.2.2.5 Sistema omnidireccional	22
2.2.3 Configuración automotriz para tracción	22
2.2.3.1 Tracción delantera	23
2.2.3.2 Tracción trasera	23
2.2.3.3 Tracción en las cuatro ruedas.....	24
2.3 Cinemática del robot móvil.....	24
2.3.1 Representación de posición de un robot móvil	24
2.3.2 Modelo de cinemática directa	27
2.3.3 Rueda fija estándar	28
2.3.4 Limitaciones cinemáticas del robot	29
2.3.5 Grado de movilidad	31

2.4 Percepción	32
2.4.1 Sensores.....	32
2.4.1.1 Sensores basados en la visión	33
2.4.1.2 Cámaras	34
2.5 Telerrobótica.....	35
2.5.1 Teleactuación.....	36
2.5.2 Diseño de sistemas de control de teleoperación.....	36
2.5.3 Sistemas de visión en teleoperación.....	37
2.5.4 Transmisión	37
2.5.5 Radio frecuencia	38
2.6 Resumen.....	40
CAPÍTULO 3.....	42
DISEÑO	42
3.1 Parámetros considerados para el diseño.....	42
3.2 Función de desarrollo de calidad o QFD.....	42
3.2.1 Beneficios que aporta el QFD	43
3.3 Despliegue de la función de calidad (QFD).....	43
3.3.1 Requerimientos.....	43
3.3.2 Características Técnicas.....	43
3.3.3 Resultados de la matriz QFD	45
3.4 Estructura funcional	45
3.5 Alternativas para diseño	46
3.5.1 Módulo 1. Tipo de motor	46
3.5.1.1 Motores.....	46
3.5.1.1.1 Motor DC con caja reductora	46
3.5.1.1.2 Motor paso a paso	47

3.5.1.1.3 Servomotor	47
3.5.1.2 Transmisión	47
3.5.1.2.1 Sistema Ackerman	48
3.5.1.2.2 Pistas de deslizamiento	48
3.5.1.2.3 Sistema Diferencial	48
3.5.2 Módulo 2. Software de programación	49
3.5.2.1 Software de programación.....	49
3.5.2.2 Sistema Operativo Robótico (ROS)	49
3.5.2.3 Labview.....	50
3.5.3 Módulo 3. Hardware de control	50
3.5.3.1 Placas de control.	50
3.5.3.2 Raspberry.	50
3.5.3.3 Arduino.....	51
3.5.3.4 PC-duino.....	51
3.5.4 Módulo 4. Teleoperación.....	52
3.5.4.1 Radiofrecuencia.	52
3.5.4.2 Bluetooth.....	52
3.5.4.3 WLAN.....	53
3.5.5 Módulo 5. Activación de motores	53
3.5.5.1 Sentido de giro en motores.....	53
3.5.5.2 Puente H con transistores.....	53
3.5.5.3 Driver puente H de alta potencia.....	54
3.5.5.4 Integrado puente H.	54
3.5.6 Módulo 6. Energía.....	54
3.5.6.1 Suministro energético.	54
3.5.6.2 Batería.....	55

3.5.6.3 Panel fotovoltaico.....	55
3.5.6.4 Conexión a corriente alterna por cableado.	55
3.5.7 Módulo 7. Material del chasis.....	56
3.5.7.1 Materiales.	56
3.5.7.2 Acero.....	56
3.5.7.3 Aluminio.	57
3.5.7.4 Madera.....	57
3.6 Evaluación y selección de alternativas para diseño	57
3.6.1 Módulo 1. Tipo de motor	58
3.6.2 Módulo 2. Software de programación	60
3.6.3 Módulo 3. Hardware de control	61
3.6.4 Módulo 4. Teleoperación.....	63
3.6.5 Módulo 5. Activación de motores	64
3.6.6 Módulo 6. Energía.....	65
3.6.7 Módulo 7. Material del chasis.....	66
3.7 Definición del diseño	67
3.7.1 Módulo 1. Tipo de motor	67
3.7.2 Módulo 2. Software de programación	71
3.7.3 Módulo 3. Hardware de control	73
3.7.4 Módulo 4. Teleoperación.....	74
3.7.5 Módulo 5. Activación de motores	76
3.7.6 Módulo 6. Energía.....	78
3.7.7 Módulo 7. Material del chasis.....	79
3.7.7.1 Análisis estático de la estructura.....	81
3.8 Resumen.....	83
CAPÍTULO 4.....	85

CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS.....	85
4.1 Construcción de plataforma robótica.....	85
4.1.1 Construcción del chasis.....	85
4.1.2 Fabricación de ejes.....	85
4.1.3 Instalación componentes para sujeción de ejes.....	86
4.1.4 Instalación de motores.....	87
4.1.5 Acople de neumáticos.....	88
4.1.6 Recubrimiento del chasis.....	89
4.1.7 Instalación de circuitos de control.....	89
4.1.8 Instalación de cámara para percepción del entorno.....	90
4.1.9 Suministro energético.....	91
4.1.10 Cableado.....	92
4.1.11 Instalación protecciones de seguridad.....	92
4.2 Pruebas y funcionamiento.....	92
4.2.1 Primera evaluación.....	93
4.2.1.1 Resultados.....	93
4.2.2 Segunda evaluación.....	93
4.2.2.1 Resultados.....	94
4.2.3 Tercera evaluación.....	94
4.2.3.1 Resultados.....	94
4.2.4 Cuarta evaluación.....	95
4.2.4.1 Resultados.....	95
4.2.5 Quinta evaluación.....	95
4.2.5.1 Resultados.....	95
4.3 Resumen.....	96
CAPÍTULO 5.....	97

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
5.1 Conclusiones	97
5.2 Recomendaciones	99
BIBLIOGRAFÍA.....	100
ANEXOS.....	103
A1: MATRIZ FUNCIÓN DE DESARROLLO DE CALIDAD O QFD	104
A2: PLANOS MECÁNICOS	105
A3: DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROGRAMACIÓN	106
A4: DIAGRAMAS ELECTRÓNICOS.....	107
A5: PROGRAMAS MÓDULO EMISOR Y RECEPTOR	108
A6: MANUAL DE USUARIO CÁMARA WANSCAM	109
A7: DATASHEETS.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Robot “Shakey” de Stanford Research Institute	2
Figura 2. Dante II – NASA	3
Figura 3. Robot Rover – NASA	4
Figura 4. AIBO de SONY	4
Figura 5. ASIMO de HONDA	5
Figura 6. AGV robot militar	6
Figura 7. Robots AGV - Industria	6
Figura 8. Robots móviles divididos por su sistema de locomoción. a) Robot móvil SUMMIT-X y b) WildCat	15
Figura 9. Robot autónomo AGVS de Robotnik	17
Figura 10. Rueda individual motriz (descripción de movimiento)	20
Figura 11. Desplazamiento diferencial (descripción de movimiento)	20
Figura 12. Desplazamiento síncrono	21
Figura 13. Sistema Ackerman	22
Figura 14. Ruedas Mecanum de 4"	22
Figura 15. Plano para representación de posición del robot.	25
Figura 16. Robot móvil alineado con los ejes globales	26
Figura 17. Parámetros de una rueda estándar fija	28
Figura 18. Centro inmediato de rotación de un sistema Ackerman	32
Figura 19. Tecnología CCD	33
Figura 20. Tecnología CMOS	34
Figura 21. Esquema punto - punto tecnología XBEE	38
Figura 22. Esquema punto - multipunto tecnología XBEE	39
Figura 23. Motor BOSCH CDP 50 W	71
Figura 24. ROS (Robot Operating System)	72

Figura 25. Arduino Mega Fuente: (ARDUINO, 2015)	74
Figura 26. XBEE pro serie 1	76
Figura 27. Driver VNH2SP30	77
Figura 28. Bateria de 12V - 24Ah	79
Figura 29. Conexión batería módulo monster motor shield	79
Figura 30. Modelo CAD chasis plataforma robótica de exteriores	80
Figura 31. Componentes para la plataforma robótica de exteriores	80
Figura 32. Distribución de fuerzas en la estructura	82
Figura 33. Resultado de simulación	82
Figura 31. Chasis para plataforma robótica de exteriores	86
Figura 32. Juego de ejes - acople motor neumático	86
Figura 34. Bocines para acople hacia los motores	87
Figura 33. Bocín para sujeción de eje. a) Bocín posterior izquierdo b) Bocín delantero izquierdo	87
Figura 35. Acople para transmisión motor – eje	88
Figura 36. Sistema de transmisión con acople a motores	88
Figura 37. Acople para neumático	88
Figura 38. Recubrimiento de chasis	89
Figura 39. Cobertura de pintura	89
Figura 40. Circuitos de control y cobertura	90
Figura 41. Instalación de cámara de video	91
Figura 42. Ubicación y anclaje de batería	91
Figura 43. Paro de emergencia y switch de encendido	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Plataformas robóticas existentes	9
Tabla 2. Clasificación de los robots según T.M. Knasel	14
Tabla 3. Requerimientos para matriz QFD	44
Tabla 4. Características técnicas para matriz QFD	44
Tabla 5. Resultados de la matriz QFD	45
Tabla 6. Módulos para diseño	46
Tabla 7. Ponderación de criterios de evaluación para motores en el módulo 1.	58
Tabla 8. Ponderación de potencia en motores para soluciones del módulo 1.	58
Tabla 9. Ponderación de control en motores para soluciones del módulo 1.	58
Tabla 10. Ponderación de adquisición de motores para soluciones del módulo 1.	59
Tabla 11. Conclusión en la selección de la alternativa en motores para el módulo 1.	59
Tabla 12. Ponderación de criterios de evaluación para sistemas de transmisión en el módulo 1.	59
Tabla 13. Ponderación de tracción en sistemas de tracción para soluciones del módulo 1.	59
Tabla 14. Ponderación de maniobrabilidad en sistemas de tracción para soluciones del módulo 1.	60
Tabla 15. Ponderación de implementación en sistemas de tracción para soluciones del módulo 1.	60
Tabla 16. Conclusión en la selección de la alternativa en sistemas de tracción para el módulo 1.	60

Tabla 17. Ponderación de criterios de evaluación para softwares de programación en el módulo 2.	60
Tabla 18. Ponderación de programación en softwares para soluciones del módulo 2.	61
Tabla 19. Ponderación de costo en softwares para soluciones del módulo 2.	61
Tabla 20. Ponderación en requerimientos de instalación en software para soluciones del módulo 2.	61
Tabla 21. Conclusión en la selección de la alternativa en softwares de programación para el módulo 2.	61
Tabla 22. Ponderación de criterios de evaluación para placas de control en el módulo 3.	61
Tabla 23. Ponderación de programación en placas de control para soluciones del módulo 3.	62
Tabla 24. Ponderación de I/O en placas de control para soluciones del módulo 3.	62
Tabla 25. Ponderación de disponibilidad en placas de control para soluciones del módulo 3.	62
Tabla 26. Conclusión en la selección de la alternativa en placas de control para el módulo 3.	62
Tabla 27. Ponderación de criterios de evaluación para teleoperación en el módulo 4.	63
Tabla 28. Ponderación de alcance en teleoperación para soluciones del módulo 4.	63
Tabla 29. Ponderación de implementación en teleoperación para soluciones del módulo 4.	63
Tabla 30. Ponderación de robustez en teleoperación para soluciones del módulo 4.	63

Tabla 31. Conclusión en la selección de la alternativa en teleoperación para el módulo 4.	64
Tabla 32. Ponderación de criterios de evaluación para sentido de giro en el módulo 5.	64
Tabla 33. Ponderación de potencia en sentido de giro para soluciones del módulo 5.	64
Tabla 34. Ponderación de control en sentido de giro para soluciones del módulo 5.	64
Tabla 35. Ponderación de implementación en sentido de giro para soluciones del módulo 5.	65
Tabla 36. Conclusión en la selección de la alternativa en sentido de giro para el módulo 5.	65
Tabla 37. Ponderación de criterios de evaluación para suministros energético en el módulo 6.	65
Tabla 38. Ponderación de portabilidad en suministros energéticos para soluciones del módulo 6.	65
Tabla 39. Ponderación de eficiencia en suministros energéticos para soluciones del módulo 6.	66
Tabla 40. Ponderación de capacidad energética en suministros energéticos para soluciones del módulo 6.	66
Tabla 41. Conclusión en la selección de la alternativa en suministros energéticos para el módulo 6.	66
Tabla 42. Ponderación de criterios de evaluación para materiales en el módulo 7.	66
Tabla 43. Ponderación de resistencia en materiales para soluciones del módulo 7.	67
Tabla 44. Ponderación de permeabilidad en materiales para soluciones del módulo 7.	67

Tabla 45. Ponderación de ensamblaje en materiales para soluciones del módulo 7.	67
Tabla 46. Conclusión en la selección de la alternativa en materiales para el módulo 7.	67
Tabla 47. Alternativas para solución a módulos	68
Tabla 48. Características motor BOSCH CDP 50 W	71
Tabla 49. Arduino Mega	74
Tabla 50. Configuración para módulos emisor – receptor	76
Tabla 51. XBEE Pro serie 1	76
Tabla 52. VNH2SP30	78
Tabla 53. Componentes plataforma robótica de exteriores	81

RESUMEN

El presente proyecto desarrolló el diseño y construcción de una plataforma robótica para exteriores teleoperada. La misma que tiene como características principales: gran movilidad, alta potencia, largo alcance en teleoperación y resistencia a factores externos ambientales. En la primera parte de este trabajo trata sobre los antecedentes de la robótica, haciendo énfasis en la robótica móvil, además se detalla de manera general los fundamentos más importantes para tener concepción acerca de este tipo de robótica. Se analiza los diferentes casos de locomoción, la cinemática que puede emplear un robot móvil, dando a conocer cuáles son los modelos o configuraciones más adecuados para plataformas móviles. Se exhibe la percepción que debe tener una plataforma robótica para poder operar en un entorno no estructurado, para lo que se implementó un control teleoperación con sistema de imagen en tiempo real, tomando en cuenta factores que pueden alterar el desempeño de este sistema. Se hace uso de la herramienta Función de desarrollo de calidad QFD para desarrollar las alternativas de diseño y su respectivo análisis en determinar la mejor opción a implementar. El siguiente capítulo detalla el proceso de construcción de todos los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos que conforman la plataforma. Así como también, el resultado de las pruebas realizadas para corroborar el funcionamiento, el mismo que está en congruencia con el alcance planteado. Finalizando con conclusiones y recomendaciones que aporten reflexión y conocimiento del trabajo realizado, además se expresa los posibles proyectos futuros teniendo como base esta plataforma.

PALABRAS CLAVES:

- **ROBÓTICA MÓVIL**
- **LOCOMOCIÓN**
- **PERSEPCIÓN**
- **TELEROBÓTICA**
- **TELEOPERACIÓN**

ABSTRACT

This project developed the design and construction of a teleoperated robotic platform for exteriors. Whose main characteristics are: high mobility, high power, long range remote operation and resistance to external environmental factors. In the first part of this paper deals with the history of robotics, with focus on mobile robotics also outlined broadly the more important to have understanding about this type of robotics fundamentals. Different cases of locomotion is analyzed, the kinematics can use a mobile robot, revealing which models or more suitable settings for mobile platforms are. The perception that you need a robotic platform to operate in unstructured environment, for which a teleoperation control system real-time image was implemented, taking into account factors that can alter the performance of this system is displayed. Use of quality function development tool QFD is made to develop design alternatives and their analysis in determining the best option to implement. The next chapter discusses the construction of all mechanical, electrical and electronic elements of the platform. As well, the result of tests to confirm the operation, it is consistent with the scope raised. Ending with conclusions and recommendations provide reflection and knowledge of the work, plus possible future projects on the basis of this platform is expressed.

KEYWORDS:

- **MOBILE ROBOTICS**
- **LOCOMOTION**
- **PERSEPCION**
- **TELEROBOTICS**
- **TELEOPERATION**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el capítulo se redacta sobre los antecedentes de la robótica haciendo enfoque en la robótica móvil, planteando una investigación cronológica de las plataformas creadas. Se plantea el problema que se desea resolver junto a la motivación por la cual se desarrolla el proyecto, además de presentar la justificación del mismo. Se definen los objetivos a cumplir junto al alcance a cubrir por la plataforma robótica.

1.1 Antecedentes

Las máquinas es la fascinación del hombre en la búsqueda de imitar funciones o movimientos, mejorar procesos productivos, hacerlos cada vez más avanzados y automatizados. En esta búsqueda se ha dado lugar a la robótica la cual satisface muchas de estas necesidades apoyándose en sistemas tanto mecánicos, eléctricos y computacionales.

Durante los siglos XV y XVI algunos de los más relevantes representantes del renacimiento se interesaron en crear máquinas que imiten la figura y movimientos de un ser humano. El *León mecánico* uno de ellos, construido por Leonardo Da Vinci (1452 - 1519). Los progenitores más directos de los robots fueron los *telemanipuladores* desarrollados en 1948 por R.C. Goertz del Argonne National Laboratoy (Fundamentos de Robótica, 1997). Por ende este es el inicio de la robótica actual y la apertura a nuevos diseños.

1.1.1 Historia

Desde la década de los 50 se han creado autómatas capaces de manipular elementos a conveniencia del ser humano (operador). En 1954 Goertz utilizando la tecnología electrónica y sustituyendo la transmisión mecánica por el servocontrol (Fundamentos de Robótica, 1997), desarrolló el primer telemanipulador con servocontrol bilateral.

La revolución de los telemanipuladores a lo largo de los últimos años no ha sido tan espectacular como la de los robots. Recluidos en un mercado selecto y limitado (industria nuclear, militar espacial, etc.). Hoy en día los robots se manejan por su propia concepción y apenas un control supervisado de un ser humano.

La robótica experimenta en la actualidad una notoria ampliación, saliendo de aplicaciones como talleres o líneas de fabricación, tomando posiciones fuera del taller y es así como se ha llegado a los robots de servicio y teleoperados. Dando lugar a la creación de varios modelos.

En 1970 fue construido el primer robot móvil por SRI (Stanford Research Institute) llamado “Shakey”, que tenía las siguientes características (Standford Research Institute, 2015):

- Capaz de encontrar un bloque y moverse hacia él.
- Cámara de video para localizar, un sensor laser para medir distancias, y codificadores en los motores para medir el desplazamiento.
- Tamaño muy grande y lento en su movimiento.
- Control por medio de una computadora

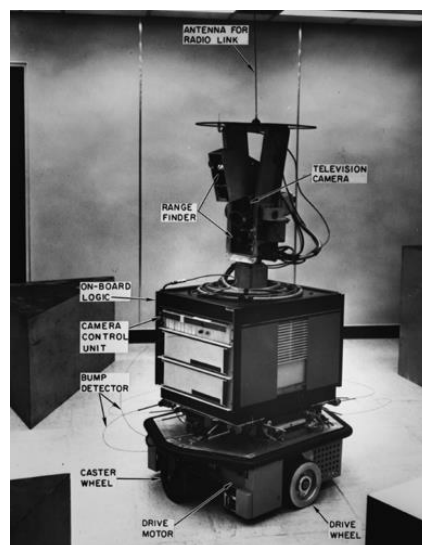


Figura 1. Robot “Shakey” de Stanford Research Institute

Fuente: (Standford Research Institute, 2015)

Para 1980 existió un desarrollo no muy pronunciado en cuanto a robótica móvil, pasando así a la décadas de 1990 y 2000 en la cual existe un auge en cuanto a esta área (Eidelman, A., 2008), creándose robots como:

- Dante II en 1994 (Carnegie Mellon University, 1994)

Dante II es capaz de descender por cráteres escarpados de una manera rappel (Figura 1), recopila y analizar los gases de alta temperatura del suelo del cráter. Además de contribuir a la ciencia volcánica, un objetivo principal del programa de Dante II es demostrar la exploración robótica en terrenos extremos, como las que se encuentran en las superficies planetarias.



Figura 2. Dante II – NASA

Fuente: (Carnegie Mellon University, 1994)

- Mars Pathfinder de la Nasa en 1997 (NASA, 2012)

Su principal meta científica, es la búsqueda y análisis de rocas y suelos que puedan contener pruebas de la presencia de agua en cualquier estado en la superficie Marciana (Figura 2). El Mars Exploration Rover es parte del programa de la NASA para la exploración de Marte, que ha logrado tres aterrizajes exitosos: las dos sondas Viking en 1976 y la sonda Pathfinder en 1997.

El robot contaba con un sistema de suspensión de seis ruedas, que le permitía al robot superar obstáculos de hasta 1,5 veces el diámetro de sus ruedas.



Figura 3. Robot Rover – NASA

Fuente: (NASA, 2012)

- Aibo de Sony en 1999 (SONY, 2015)

Un robot que maneja múltiples sensores (tacto, cámara, telémetro, el micrófono, aceleración, velocidad angular), un altavoz y actuadores (piernas, el cuello, la boca, la cola) (Figura 4). A medida que se desarrolló la serie, se añadieron más sensores y actuadores. Para la segunda generación, estaba disponible Wi-fi. La tercera y última familia contaba con múltiples sensores en la cabeza y cuerpo.



Figura 4. AIBO de SONY

Fuente: (SONY, 2015)

- Asimo de Honda en el 2000 (HONDA, 2015)

ASIMO fue concebido para funcionar en un entorno real de la vida humana (Figura 5).

Posee un tamaño y peso conveniente además tiene la capacidad de moverse libremente dentro de las condiciones de vida humana. Un robot concebido tras años de experimentación, con varios antecesores que otorgaron la experiencia y conocimientos para llegar a un modelo mucho más funcional.

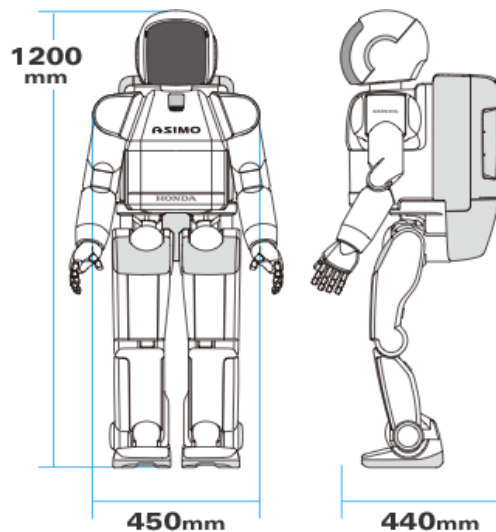


Figura 5. ASIMO de HONDA

Fuente: (HONDA, 2015)

En la actualidad existen robots móviles en distintas áreas, siendo una de ellas el servicio para trabajos en condiciones peligrosas, se encuentran también en la industria manufacturera, militares y entornos de seguridad. También aparecen como productos de consumo, para el entretenimiento o para realizar tareas con grandes dificultades.

Un ejemplo de un robot móvil que está en uso común hoy en día es el Vehículo guiado automático (AGV). El AGV es un robot móvil que siguen marcadores o cables colocados en la superficie donde debe desplazarse, o con posibilidades de utilizar sistemas de visión o láser (Figura 6).

Pueden seguir rutas predeterminadas y tener capacidad de programación, selección de paradas, bloqueos, y otras características que

requiere el control del sistema. Son vehículos equipados con sistemas de guiado automático, ópticos o electromagnéticos (Figura 7).



Figura 6. AGV robot militar
Fuente: (ROBÓTICA, 2014)

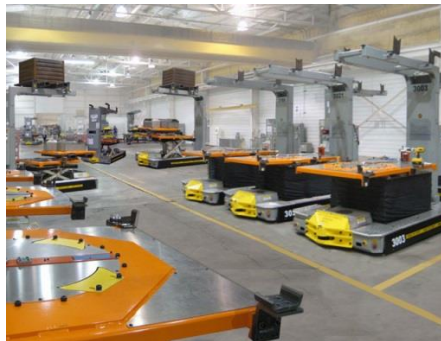


Figura 7. Robots AGV - Industria
Fuente: (Systems, 2015)

1.1.2 Robótica móvil en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE

Dentro de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, la robótica ha sido un tema de gran interés para varias generaciones de egresados en diferentes facultades como Electrónica o Mecatrónica. Se puede mencionar a manera de ejemplo dos proyectos encaminados en la misma línea de la robótica móvil:

- Diseño y construcción de un robot móvil experimental 8x8 articulado para salvar obstáculos (Diseño y construcción de un robot móvil experimental 8X8 articulado para saltar obstáculos., 2014)

Este robot dispone de dos vagones unidos por un par cilíndrico, sensores infrarrojos para detección de obstáculos; su locomoción es mediante transmisión por rodillos de fricción, servomotores en los mecanismos articulados que levantan las ruedas móviles y permiten salvar los obstáculos.

- Diseño y construcción de un robot todo terreno utilizando el sistema ROCKER-BOGIE y teleoperado inalámbricamente para el laboratorio de robótica de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE (Diseño y construcción de un robot todo terreno utilizando el sistema ROCKER-BOGIE y teleoperado inalámbricamente para el laboratorio de robótica de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, 2014).

El robot cuenta con un sistema de suspensión Rocker – Bogie, donde sus dos brazos basculantes conectados mediante un mecanismo diferencial lo ayudan a la movilidad en terrenos irregulares. Tiene capacidad de navegación autónoma, detectando y esquivando objetos; además de tener la posibilidad de una manipulación inalámbrica.

1.2 Planteamiento del problema y motivación

La robótica móvil es un tema de gran interés, la investigación desarrollada es muy extensa y mundialmente existe avances tecnológicos que hacen despejar la imaginación, dando la oportunidad a nuevas metas y creaciones.

En la comunidad ecuatoriana no se tiene grandes progresos en cuanto a robótica y en menor relevancia la robótica móvil. Siendo esto una motivación muy fuerte, nos da la apertura para profundizar en el tema y crear una plataforma funcional teniendo la distintiva de que en ella se puede integrar nuevos sistemas, consiguiendo con ello soluciones a problemáticas presentes en el entorno; con aplicación a necesidades peligrosas para el ser humano.

Con la ejecución de este proyecto se va a crear fuentes de investigación, dando iniciativas a la profundización y conjunción de nuevas tecnologías. Actualmente en el país el desarrollo de la robótica móvil no ha sido explotada adecuadamente, pero tomando en cuenta que la tecnología de este tipo va en progreso, se va a incursionar y crear una plataforma capaz de dar apertura a la implementación de nuevos proyectos.

Para dar forma al autómata planteado, se debe superar en primer lugar la movilidad, es decir cubrir la necesidad mecánica para que el prototipo a construir sea capaz de sortear terreno en condiciones difíciles; en segundo lugar encontrar la forma más eficiente de controlar la plataforma utilizando complementos electrónicos que deben ser procesados por un microcontrolador, de tal forma llegar al tercer punto que es la supervisión de todo el sistema mediante la implementación de un software robótico. Concluyendo con un aspecto diferenciador a otras plataformas robóticas que es la integración de un sistema de teleoperaje, permitiendo utilizar la plataforma robótica desde una estación de trabajo.

A continuación se presenta algunos módulos ya existentes en el mercado (Tabla 1). De los cuales se podrá captar diferentes ideas, para obtener un modelo propio que se ajuste a nuestras necesidades y dar cumplimiento al alcance.

Siendo la más relevante la plataforma Husky de la compañía Clearpath Robotics, donde se encuentran las características fundamentales hacia las que se desea llegar con la ejecución del proyecto.

1.3 Justificación e importancia

Como se ha mencionado previamente la robótica es una aplicación que centra e implementa el diseño mecánico, eléctrico y computacional. Siendo esto la síntesis de lo que conlleva la Ingeniería Mecatrónica. Por tanto se va a incorporar todo lo concerniente a robótica, buscar métodos que solucionen los problemas al momento de la elaboración de la plataforma robótica, utilizando todos los conocimientos adquiridos, conjugándolos y aplicándolo para conseguir la mayor eficiencia.

Plataformas robóticas existentes

Tabla 1. Plataformas robóticas existentes

NOMBRE	IMAGEN	PÁGINAS WEB DE REFERENCIA
Husky de la compañía 		http://www.clearpathrobotics.com/husky/
Pioneer / PowerBot		http://www.mobilerobots.com/Mobile_Robots.aspx
Segway RMP		http://rmp.segway.com/

En la actualidad los robots se usan de manera extensa en múltiples áreas, llegando a tal punto de ser indispensables dentro de cuantiosos procesos. Además de estar presente en aplicaciones muy novedosas como en sectores de la construcción, medicina, sector eléctrico, exploración, etc. Lo que da la iniciativa a que los robots se adapten a nuevos entornos, siendo la robótica móvil una de las más utilizadas para satisfacer estas necesidades cumpliendo actividades diversas, como:

- Agricultura y silvicultura
- Entornos peligrosos

- Espacio
- Minería
- Submarino
- Vigilancia y seguridad

La Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE mediante el presente proyecto, se plantea diseñar y construir una plataforma robótica móvil para exteriores, con capacidad de superar terrenos con un cierto grado de dificultades en cuestión a su accesibilidad. La plataforma debe tener la característica fundamental de ser controlada y monitoreada desde una estación de trabajo. Esto permitirá tener la plataforma con la capacidad de integrar nuevas ideas adaptables a la exploración y a la unificación de tecnologías vanguardistas en cuestión de navegación. Y consiguiendo con ello beneficiar a la sociedad tanto universitaria como ecuatoriana.

Para poder conseguir una plataforma flexible el proyecto busca implementar hardware y software de código abierto, consiguiendo con ello prestaciones a cambios relativamente sencillos, además de poderlos juntarlos y relacionarlos para que sincronicen el funcionamiento del robot.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar y construir una plataforma robótica para exteriores teleoperada.

1.4.2 Objetivos Específicos

Para poder cubrir el objetivo general se plantea objetivos específicos:

- Diseñar y construir la estructura mecánica de la plataforma.
- Implementar un sistema electrónico en la plataforma.
- Plantear y efectuar el sistema de control para la plataforma.
- Comunicar el módulo mediante sistemas de teleoperación.
- Realizar pruebas de funcionalidad.

1.5 Alcance

Este proyecto se basa en la construcción de una estructura resistente a factores ambientales, con capacidad de gran movilidad y potencia, soportando así implementar nuevos sistemas sobre ella. Para lo cual se va a cumplir características específicas como: capacidad de carga adicional sobre la plataforma de 40Kg, superar pendientes de mínimo 30°, resistencia al ambiente con presencia de polvo y agua, tamaño óptimo para sobrepasar obstáculos de 10 a 15 cm de alto y conseguir gran potencia para superar terrenos no estructurados.

Se debe realizar el control del módulo mecánica con la utilización de circuitos electrónicos que puedan usar software libre, para con ello poder tener una comunicación hacia el Sistema Operativo ROS; ya que en este sistema se provee librerías y herramientas para ayudar en el desarrollo de control sobre aplicaciones robóticas.

Mediante este sistema ROS se va a controlar los movimientos y en si todo el funcionamiento del módulo. El cual debe contar con un interfaz para conexión a una PC externa, donde se realizarán modificaciones en la programación y el monitoreo del módulo; además la plataforma contará con un sistema teleoperado para su ubicación y orientación.

1.6 Resumen

- La robótica es utilizada para el mejoramiento de procesos productivos, hacerlos cada vez más avanzados y automatizados. Nacieron por la fascinación del hombre en la busca de imitar funciones o movimientos.
- Desde la década de los 50 se han creado autómatas capaces de manipular elementos a conveniencia del ser humano (operador). Goertz utilizando la tecnología electrónica, desarrolló el primer telemanipulador. Dando paso a la creación del primer robot móvil por Stanford Research Institute llamado "Shakey" en 1970.
- Con la ejecución de este proyecto se creó fuentes de investigación, iniciativas a la profundización del tema y la conjunción de nuevas

tecnologías. Actualmente en el país el desarrollo de la robótica móvil es escasa, pero tomando en cuenta que los avances en esta ciencia crece aceleradamente, la plataforma es capaz de dar apertura a la implementación de nuevos proyectos.

- En la actualidad los robots se usan de manera extensa en múltiples áreas, llegando a tal punto de ser indispensables dentro de cuantiosos procesos. La robótica es una ciencia que centra e implementa el diseño mecánico, eléctrico y computacional, siendo esto la síntesis de la Ingeniería Mecatrónica, justificando así la construcción de la plataforma robótica de exteriores: contando con estructura resistente a factores ambientales, capacidad de una gran movilidad (potencia), implementación de circuitos electrónicos de control y comunicación a un software especializado en robótica de acceso libre.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En el capítulo se detalla de manera general los fundamentos más importantes para tener concepción acerca de la robótica móvil, la importancia del uso de ellos enfocándose hacia plataformas teleoperadas. Se analiza los diferentes casos de locomoción para dar solución a diferentes aspectos de movilidad y estabilidad, además la cinemática que puede emplear un robot móvil. Se presenta la percepción que debe tener una plataforma robótica para poder operar en un entorno. Por último, se describe la telerobótica explicando todo lo que conlleva este tipo de control.

2.1 Generalidades

2.1.1 Robótica

El término robótica se expresa como una técnica que aplica la informática al diseño de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales (Real Academia Española, 2014).

Al mencionar la palabra robot se viene a la mente escenarios de máquinas que usadas para realizar trabajos repetitivos, también imágenes de robots imitando movimientos o comportamiento de seres vivos. Para esto la robótica combina diversas disciplinas como son: la mecánica, la electrónica, la informática, la inteligencia artificial y sistemas de control. En un sentido más amplio un robot involucra diferentes componentes: sensores, actuadores, control automático computarizado; ayudando de esta forma al autómatas a tener la capacidad de relacionarse con el entorno a través de retroalimentación (feedback) sensorial, autoprogramación que dan la toma de decisiones.

Dentro de la robótica existen diversos tipos de robots, se los puede dividir en:

- Robots manipuladores (brazos)

- Robots móviles
- Robots “híbridos” (móviles con manipulación)
- Vehículos autónomos
- Robots caminantes (humanoides, insectos)

La clasificación propuesta por T.M. Knasel (Baturone, 2001), recrean buena parte de los diversos tipos de robots que se pueden encontrar hoy en día; agrupando a los anteriormente mencionados, estos se describen en la tabla 2.

Para el cumplimiento del presente proyecto, se hará énfasis hacia los robots móviles, siendo estos el tema a estudiar para dar soluciones a la construcción de la plataforma robótica.

Tabla 2. Clasificación de los robots según T.M. Knasel

Generación	Nombre	Tipo de control	Grado de movilidad	Usos más frecuentes
1ª (1982)	Pick & place	Fines de carrera, aprendizaje Servocontrol, trayectoria continua, progr.	Ninguno	Manipulación, servicio de máquinas
2ª (1984)	Servo	Condicionales Servos de precisión, visión, tacto, prog. Off-line	Desplazamiento por vía	Soldadura, pintura
3ª (1989)	Ensamblado	Sensores inteligentes Controlados con técnicas de IA	AGV Guiado por vía	Ensamblado Desbordado
4ª (2000)	Móvil		Rutas Ruedas	Construcción Mantenimiento
5ª (2010)	Especiales		Andante Saltarín	Uso militar Uso espacial

Fuente: (Fundamentos de Robótica, 1997)

2.1.2 Robótica Móvil

El desarrollo de los robots móviles responde a la necesidad de extender el campo de aplicación de la robótica, restringida inicialmente al alcance de

una estructura mecánica anclada en uno de sus extremos. Se trata de aumentar la autonomía dándole al robot libertad de movilidad, e incluso la posibilidad de interactuar con el entorno gracias a la sensorización y programación del mismo (Baturone, 2001).

Son robots con grandes capacidades de desplazamiento, basando su sistema de locomoción en dos formas básicas: robots con ruedas y robots con patas, teniendo en cuenta que esta clasificación es únicamente posible en robots terrestres. Los robots con ruedas tienen beneficios de ser más simples, eficientes y fáciles de controlar pero tienen limitaciones a terrenos planos o con pocas dificultades. Los robots con patas tienen características de ser complejas, inestables, difíciles de controlar pero poseen una mayor flexibilidad para todo tipo de terreno. Estos tipos de robots se los aprecia en la figura 8.



a)



b)

Figura 8. Robots móviles divididos por su sistema de locomoción. a) Robot móvil SUMMIT-X y b) WildCat

Fuente: (Robotnik, 2015), (Cheetah - Wildcat, 2015).

La locomoción mediante ruedas confiere a los robots características y propiedades respecto a la eficiencia energética, dimensiones, cargas útiles y maniobrabilidad. La mayor maniobrabilidad se consigue en vehículos omnidireccionales. Un vehículo omnidireccional en el plano es capaz de trasladarse simultánea e independientemente en cada eje del sistema de coordenadas.

2.1.3 Desarrollos en robótica móvil

Los vehículos autónomos se comienzan a utilizar en los años sesenta dentro de la industria, siendo guiados por cables posicionados en el suelo o mediante sensores ópticos que permitían seguir líneas trazadas previamente. Este tipo de aplicaciones, hoy en día es común encontrarla en muchos procesos de fabricación (Robótica Manipuladores y robots móviles, 2001).

En los setenta se trabajó en el desarrollo de robots móviles dotados de una mayor autonomía, creando plataforma que pudieran soportar sistemas de visión. Sin embargo, no era posible lograr una navegación autónoma de forma eficiente. Para los años ochenta la capacidad computacional se desarrolló, permitiendo la invención de nuevos sensores, mecanismos y sistemas de control. Dando paso a la creación de robots móviles, tanto para interiores como para navegación exterior con capacidades de autonomía más avanzadas (Robótica Manipuladores y robots móviles, 2001).

2.1.4 Robots autónomos y telerrobótica

Dependiendo del grado de autonomía, los robots móviles pueden clasificarse en teleoperados, de funcionamiento repetitivo y autónomos o también llamados inteligentes.

Los robots teleoperados empleados para tareas de percepción del entorno, planificación y manipulación deben ser controlados y supervisados por un operario humano. El operador actúa en tiempo real cerrando un bucle de control de alto nivel. Son utilizados para trabajos de localización remota en lugares de acceso difícil, medios contaminados o peligrosos, es decir es un robot apto para espacios no estructurados donde un autónomo normal no tendría acceso. El robot tiene dificultades en el retraso de información a causa de la transmisión usada, influyendo en la toma de decisiones.

Los robots autónomos o inteligentes son los más avanzados en cuanto al procesamiento de información, son máquinas capaces de percibir el entorno y con ello planificar y actuar, dando cumplimiento a un objetivo sin

la necesidad de supervisión de una persona. Este tipo de robots en sus últimas generaciones han implementado técnicas de inteligencia artificial, no obstante tienen dificultades en la capacidad de procesamiento ya que es muy elevada.

Actualmente se puede mencionar como ejemplo al Robot AGVS de Robotnik, un robot autónomo eléctrico usado como plataforma de transporte intrahospitalaria capaz de cargar 500Kg de carga, con un sensor de navegación que permite la detección de personas (S.L.L., Robotnik, 2015).



Figura 9. Robot autónomo AGVS de Robotnik

Fuente: (S.L.L., Robotnik, 2015)

2.2 Locomoción en robots móviles

Un robot móvil necesita mecanismos de locomoción que le permiten moverse en un entorno específico. Pero hay una gran variedad de posibles formas de moverse, por lo que la selección del enfoque de un robot para la locomoción es un aspecto importante del diseño. Por esta razón hay robots en investigación que pueden caminar, saltar, correr, deslizarse, patinar, nadar, volar, y por supuesto, rodar. La mayoría de estos mecanismos de locomoción se han inspirado en aspectos biológicos. (Siegwart, 2011).

La locomoción para un robot móvil se basa en tres aspectos importantes:

- Estabilidad
 - Número y geometría de puntos de contacto
 - Centro de gravedad

- Estabilidad estática/dinámica
- Inclinación del terreno
- Características de contacto
 - Tamaño y forma de contacto
 - Ángulo de contacto
 - Fricción
- Tipo de entorno
 - Estructura
 - Medio (agua, aire, superficie suave o dura)

2.2.1 Ruedas en robots móviles

La rueda ha sido, el mecanismo de locomoción más popular en robótica móvil y el más usado para generar movimiento en casi toda máquina o vehículo creado por el hombre. Mediante ella se ha logrado obtener resultados eficaces en movilidad, además de ser un mecanismo relativamente fácil de implementar. Además, el equilibrio no es generalmente un problema en los diseños de robots con ruedas.

En lugar de tener inconvenientes por el equilibrio, la investigación del robot con ruedas tiende a centrarse en problemas de tracción, estabilidad, maniobrabilidad, y control. Existen varias y posibles configuraciones de ruedas para la locomoción de un robot móvil, cada una brinda diferentes fortalezas y debilidades; jugando con factores como:

- Maniobrabilidad
- Controlabilidad
- Tracción
- Capacidad de vencer pendientes
- Estabilidad
- Mantenimiento
- Consideraciones de navegabilidad

La elección de la geometría de la rueda, es decir seleccionar el tipo de rueda junto al material ayuda a solventar aspectos como: maniobrabilidad,

controlabilidad y estabilidad. Convencionalmente, la estabilidad estática requiere un mínimo de tres ruedas, aunque una vez que el número de puntos de contacto excede de tres, la naturaleza hiperestática por la geometría del robot puede requerir alguna forma de suspensión flexible para superar terreno desigual. Dependiendo de las características del terreno pueden presentar también deslizamientos y vibraciones, por lo que una locomoción en terreno blando es deficiente.

En resumen, no hay ninguna configuración "ideal" que maximiza simultáneamente la estabilidad, maniobrabilidad y controlabilidad. Cada aplicación posee sus limitaciones, por lo que el problema de diseño radica en elegir y configurar un sistema acoplable a los requerimientos.

2.2.2 Mecanismos para traslación de robots móviles

Para lograr la locomoción y cumplir con las características mencionadas en el apartado 2.2.1, los robots móviles pueden diseñarse aplicando distintos mecanismos de movimiento en los cuales se puede acoplar uno o varios motores; cada uno de ellos cubriendo diferentes necesidades.

2.2.2.1 Conducción por rueda individual motriz

El disponer de una sola rueda que impulse y dirija, es el diseño más fácil de implementar para la conducción de un robot móvil. El diseño debe tener dos ruedas pasivas colocadas en el extremo contrario a la motriz, para lograr la estabilidad permitida por los tres puntos de contacto (Bräunl, 2006). En una conducción recta o curva la rueda motriz simplemente debe colocarse en una posición media o en un ángulo coincidente al de la curva a realizar (figura 10).

El diseño cuenta con una maniobrabilidad mayor a otros mecanismos, pero tiene problemas de estabilidad para terrenos difíciles, ya que el centro de gravedad tiende a desplazarse cuando el vehículo se transporta por una pendiente, causando la pérdida de tracción.

Este sistema de locomoción tiene una gran simplicidad y se lo usa frecuentemente en vehículos robóticos para interiores o exteriores pavimentados.

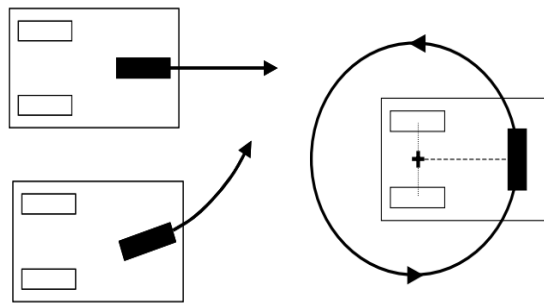


Figura 10. Rueda individual motriz (descripción de movimiento)

Fuente: (Bräunl, 2006)

2.2.2.2 Desplazamiento diferencial

Para un diseño por desplazamiento diferencial se debe tener dos motores en posiciones fijas, colocados transversalmente (Bräunl, 2006). El diseño necesita una o más ruedas para soporte y el sistema de direccionamiento viene dado por la diferencia de velocidades de las ruedas motrices (figura 11).

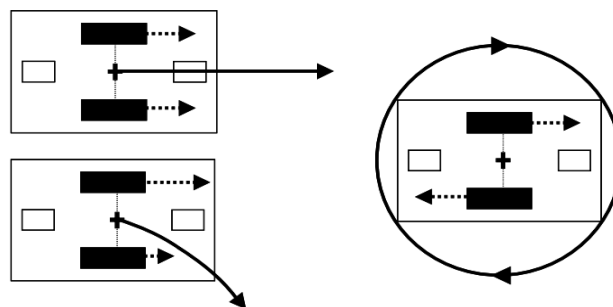


Figura 11. Desplazamiento diferencial (descripción de movimiento)

Fuente: (Bräunl, 2006)

La composición mecánica es relativamente más simple que en una transmisión por rueda única, al no necesitar la rotación del eje de conducción. El diseño con dos ruedas pasivas colocadas longitudinalmente permiten que el robot rote sobre el centro del mismo.

2.2.2.3 Desplazamiento síncrono

En este sistema se tiene generalmente tres ruedas motrices que impulsan y dirigen el robot (Bräunl, 2006). Las ruedas deben girar al mismo tiempo y en la misma dirección (figura 12), esto se logra sincronizando el sistema mediante una cadena o banda.

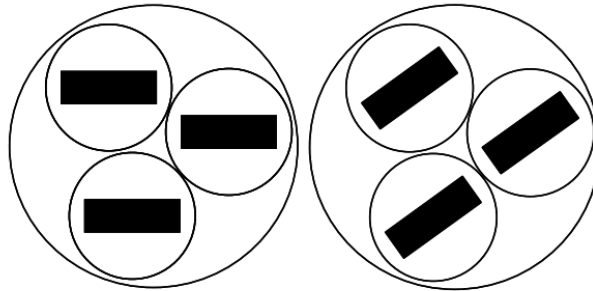


Figura 12. Desplazamiento síncrono

Fuente: (Bräunl, 2006)

El robot sincronizado puede cubrir cualquier dirección deseada, pero debe parar y ubicarse en la dirección deseada ya que no puede girar y desplazarse al mismo tiempo. El sistema tiene una gran maniobrabilidad y cobertura completa, pero con una mayor complejidad mecánica.

2.2.2.4 Sistema Ackerman

Este sistema es utilizado por los vehículos convencionales de cuatro ruedas, es por esta razón que los robots móviles para exteriores resultan de la modificación de este tipo de vehículos. El cuadrilátero de Ackerman permite que se dé un cambio en la dirección evitando que las ruedas se deslicen sobre el suelo, es una configuración muy estable donde las ruedas delanteras permiten un giro sobre el eje y tiene sus ruedas motrices en la parte posterior del robot.

El mayor problema de la locomoción Ackerman es la limitación en la maniobrabilidad ya que el eje delantero necesita un controlador de posición; en una conducción recta el robot no tiene dificultad (Bräunl, 2006).

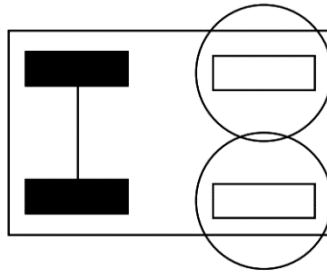


Figura 13. Sistema Ackerman

Fuente: (Bräunl, 2006)

2.2.2.5 Sistema omnidireccional

Un robot con sistema omnidireccional es capaz de ser conducido en cualquier dirección. La mayoría de robots no son capaces de conducir en una dirección perpendicular a sus ruedas motrices, a diferencia de un omnidireccional.

La movilidad de este sistema es gracias a la implementación de ruedas Mecanum (figura 14), que fue desarrollado y patentado por la empresa sueca AB Mecanum en 1973 (Bräunl, 2006).



Figura 14. Ruedas Mecanum de 4"

Fuente: (Competition, 2015)

2.2.3 Configuración automotriz para tracción

La configuración automotriz, especifica donde se ubica el motor y las ruedas con tracción. Los tipos de tracción que se encuentra son: (DIARIAMOTOR Freire, 2007).

2.2.3.1 Tracción delantera

Posee las siguientes características:

- Más ligera: No se necesita un tren de transmisión, lo que aligera la plataforma.
- Más eficiente: El motor está conectado directamente con el tren delantero, que evita pérdidas de transmisión.
- Mejor tracción: Bajo condiciones meteorológicas adversas, ofrece mejor tracción. Se debe a que el motor ayuda a poner peso en los neumáticos delanteros, responsables de la tracción y dirección.
- Más fácil de mantener: Con menos partes móviles, la plataforma tienen menos posibilidades a daños mecánicos.
- Centro de gravedad en la parte delantera: Casi dos terceras partes de su peso se encuentra en la zona delantera, lo cual se aleja del reparto de masas ideal, 50% delante y 50% detrás.
- Más radio de giro: Por el propio diseño, las ruedas delanteras tienen menor ángulo de giro, lo cual provoca que el radio de giro sea mayor (y con ello disminuya la maniobrabilidad).

2.2.3.2 Tracción trasera

Posee las siguientes características:

- Mejor aceleración: Con una propulsión trasera, las ruedas que son responsables de la aceleración consiguen más aceleración.
- Mejor reparto de pesos: Con tracción trasera se puede llegar a una repartición de la masa en un 50% delante y 50% detrás.
- Mejor tracción: Si el terreno está en condiciones óptimas, se tiene mejor tracción debido a su reparto de pesos y a su aceleración.
- Trabajo compartido: Los neumáticos delanteros tienen mucho trabajo (aceleración, frenado y dirección), mientras que el potencial de los neumáticos traseros se desperdicia. En una tracción trasera los neumáticos delanteros delegan la función de aceleración a los traseros.

- Más difícil de controlar: En condiciones adversas, es mucho más difícil recuperar el control de una tracción trasera una vez que ha perdido la tracción.

2.2.3.3 Tracción en las cuatro ruedas

Posee las siguientes características:

- Mejor tracción: Máxima tracción en nieve y caminos escabrosos.
- Más fácil de mantener: Excelente estabilidad y control del vehículo en condiciones en carreteras con una baja adherencia.
- Combustible: Alto consumo energético.
- Reparto de pesos: Mayor peso total del vehículo.
- Construcción: Mayor complejidad técnica por una mayor cantidad y volumen de piezas móviles.

2.3 Cinemática del robot móvil

La cinemática nos ayuda a entender cómo se comporta un sistema mecánico. En robótica es usado para entender el comportamiento del robot y diseñar el estudio de caso, donde podremos definir los posibles caminos y trayectorias en el espacio de trabajo. Un robot móvil también se encuentra limitado por la dinámica; por ejemplo, un alto centro de gravedad limita el radio de giro.

No hay forma directa de medir la posición de un robot móvil de forma instantánea (Siegwart, 2011). El proceso de comprensión de los movimientos para este tipo de robots comienza con el proceso de describir la contribución de cada rueda en el movimiento, ya que cada rueda puede permitir la movilidad o al mismo tiempo restringirla.

2.3.1 Representación de posición de un robot móvil

Para la representación de posición se debe plantear al robot como un cuerpo rígido de ruedas, que opera en un plano horizontal, por tanto este chasis se va a ubicar en tres planos, dos para posición en el plano y uno

para la orientación a lo largo del eje vertical, que es ortogonal al plano (Bräunl, 2006).

Para poder definir la posición de un robot en el plano, se debe realiza una relación entre los ejes de un plano global y los ejes del plano referencial que se encuentra localizado sobre el robot (figura 15).

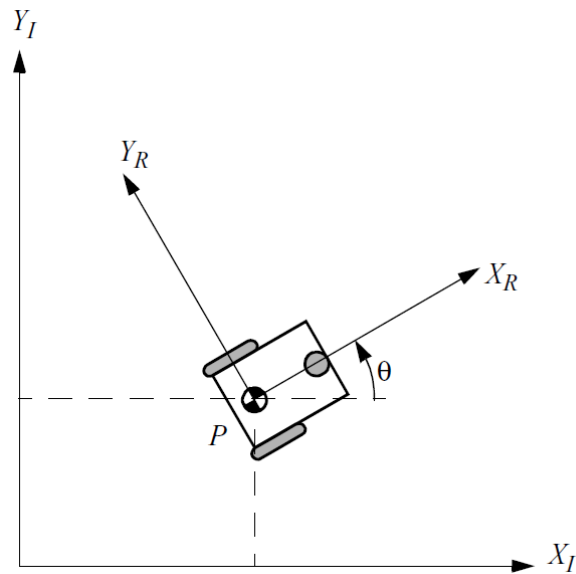


Figura 15. Plano para representación de posición del robot.

Fuente: (Siegwart, 2011)

El plano X_I, Y_I definen un plano que se lo utiliza como referencia global, los ejes X_R, Y_R son los ejes locales de referencia del robot posicionado sobre un punto P de referencia (Siegwart, 2011).

La posición del P en el plano global se especifica por las coordenadas X e Y . La relación entre el plano global y el plano local del robot está dada por θ . Con estos tres elementos se puede describir la ubicación del robot mediante un vector:

$$\xi_I = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

Para describir el movimiento del robot en términos de componentes de movimiento, es necesario determinar o mapear el movimiento en los ejes del plano referencial global con respecto a los movimientos a lo largo de los ejes locales del robot. Con ello determinamos el movimiento en forma de una función que permite saber la posición actual del robot. Esta actividad se la puede realizar usando la matriz ortogonal de rotación (Siegwart, 2011).

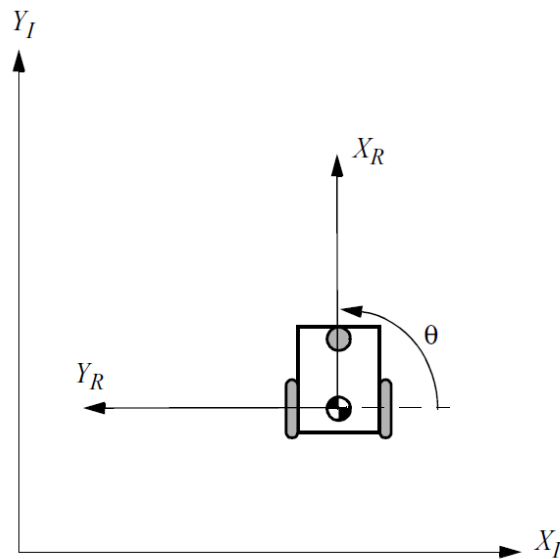


Figura 16. Robot móvil alineado con los ejes globales

Fuente: (Siegwart, 2011)

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sen\theta & 0 \\ -\sen\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

Mediante esta matriz se puede obtener un vector de movimiento del plano global (X_I, Y_I) en términos del plano local del robot (X_R, Y_R) . Usando la siguiente operación se puede relacionar las variables del plano global, con las variables del plano local del robot (Siegwart, 2011):

$$\dot{\xi}_R = R(\theta)\dot{\xi}_I \quad (2-3)$$

2.3.2 Modelo de cinemática directa

La descripción del movimiento mostrada en la ecuación 2-3 suele ser suficiente para interpretar la cinemática directa de una plataforma móvil. Pero en casos específicos es necesario conocer más variables que ayuden a comprender en mejor manera el movimiento del robot, estas variables son la velocidad de cada rueda, $\dot{\varphi}_1$ y $\dot{\varphi}_2$, la distancia de las ruedas con el punto de referencia P ; l y el diámetro de las ruedas r (Siegwart, 2011).

Aplicando todas estas variables, un modelo de cinemática directa puede predecir la velocidad eficaz del robot en el entorno global.

$$\dot{\xi}_I = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = f(l, r, \theta, \dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2) \quad (2-4)$$

Para un desplazamiento diferencial, se debe tomar en cuenta que cada rueda genera movimiento en la plataforma. Por ejemplo, si las ruedas están girando a una misma velocidad, pero en sentido contrario, la plataforma va a girar en su propio eje vertical. La velocidad angular de cada rueda puede ser calculada si se considera que la rueda se está moviendo en un arco generado por un círculo de radio $2l$, con lo que se obtiene (Siegwart, 2011):

$$\omega_1 = \frac{r \dot{\varphi}_1}{2l} \quad (2-5)$$

$$\omega_2 = \frac{-r \dot{\varphi}_2}{2l} \quad (2-6)$$

Donde ω_1 es la velocidad angular de la rueda derecha y ω_2 es la velocidad angular de la rueda izquierda. Combinando las ecuaciones 2-5 y 2-6 anteriores y considerando que cada rueda produce la mitad de la velocidad lineal de la plataforma móvil, se puede generar la siguiente fórmula para un modelo de desplazamiento diferencial (Siegwart, 2011):

$$(2-7)$$

$$\dot{\xi}_I = \mathbf{R}(\theta)^{-1} \begin{bmatrix} \frac{r \dot{\varphi}_1}{2} + \frac{r \dot{\varphi}_2}{2} \\ 0 \\ \frac{r \dot{\varphi}_1}{2l} + \frac{-r \dot{\varphi}_2}{2l} \end{bmatrix}$$

2.3.3 Rueda fija estándar

En una rueda estándar fija, no tiene un eje de rotación vertical para la dirección, por lo tanto su ángulo con respecto al chasis es fijo, y su movimiento está limitado a dos direcciones, hacia atrás y hacia adelante. La figura 17 representa una rueda fija estándar e indica su posición en relación con el eje local del robot (X_R, Y_R) (Siegwart, 2011).

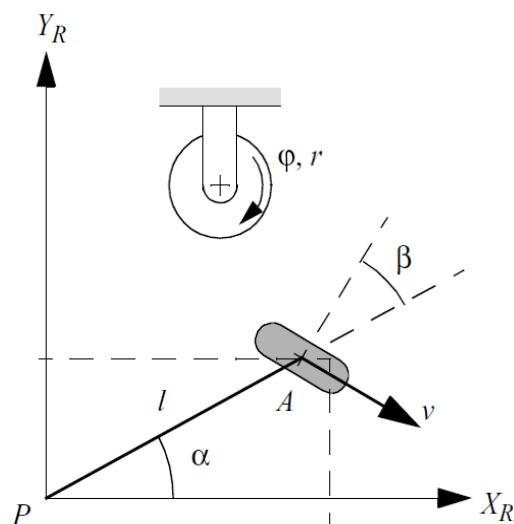


Figura 17. Parámetros de una rueda estándar fija

Fuente: (Siegwart, 2011)

El ángulo de la rueda respecto al chasis esta denotado por β y desde que la rueda se fija en el chasis el valor de β es constante. Todo movimiento a lo largo de la dirección del plano de la rueda debe ir acompañado de una cantidad apropiada de giro de la rueda (Siegwart, 2011):

$$[\text{sen}(\alpha + \beta) \quad -\text{cos}(\alpha + \beta) \quad (-l)\text{cos}\beta] \mathbf{R}(\theta) \dot{\xi}_I - r \dot{\varphi} = 0 \quad (2-8)$$

Dentro de la suma el primer término denota el movimiento total a lo largo del plano de la rueda. Los elementos del vector a la izquierda representan la asignación de cada una de las variables x e y , los cuales contribuyen con el movimiento a lo largo del plano de la rueda. Este movimiento debe ser igual al movimiento realizado por la rueda fija $r \dot{\varphi}$ (Siegwart, 2011).

La limitación de deslizamiento para esta rueda impone que la componente ortogonal de movimiento de la rueda al plano de la rueda debe ser cero:

$$[\cos(\alpha + \beta) \quad \text{sen}(\alpha + \beta) \quad l \text{sen}\beta] R(\theta) \dot{\xi}_I = 0 \quad (2-9)$$

2.3.4 Limitaciones cinemáticas del robot

Las limitaciones cinemáticas de un robot están dadas por sus propias ruedas, cada rueda impone cero o más restricción al movimiento del robot, siendo lo ideal que no existieran (Siegwart, 2011). Solo las ruedas fijas y las ruedas orientables, tienen un impacto en la cinemática del chasis del robot y por lo tanto requieren una consideración al calcular las limitaciones cinemáticas del robot.

Planteando que el robot tenga N ruedas, entre ellas N_f ruedas fijas y N_s ruedas orientables. Se usa $\beta_s(t)$ para expresar los ángulos variables de las ruedas orientables y β_f para expresar los ángulos variables de las ruedas fijas.

En caso que las ruedas giren, es decir varíen su posición de giro alrededor del eje horizontal en función del tiempo, se denotará una velocidad angular de cada rueda por separado $\varphi_f(t)$ y $\varphi_s(t)$, al utilizar los dos valores en una matriz $\varphi(t)$ (Siegwart, 2011):

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} \varphi_f(t) \\ \varphi_s(t) \end{bmatrix} \quad (2-10)$$

Las limitaciones de giro para todas las ruedas se las puede expresar de la siguiente forma:

$$J_1(\beta_s)R(\theta)\dot{\xi}_I - J_2\dot{\psi} = \mathbf{0} \quad (2-11)$$

Donde J_2 es una matriz diagonal de $N \times N$ constante, sus entradas son radios r de todas las ruedas estándar. Se tiene $J_1(\beta_s)$ que es una matriz con las proyecciones para todas las ruedas y sus movimientos a lo largo del plano individual de la rueda (Siegwart, 2011).

$$J_1(\beta_s) = \begin{bmatrix} J_{1f} \\ J_{1s}(\beta_s) \end{bmatrix} \quad (2-12)$$

Se nota que $J_1(\beta_s)$ está únicamente en función de (β_s) , esto se debe a las variaciones que tienen las ruedas orientables, las cuales varían en función del tiempo, mientras que las orientaciones de ruedas estándar fijo son constantes. Ahora J_{1f} es una matriz constante de proyección para todas las ruedas fijas y cada fila contiene los tres términos de la ecuación 2-8. Se tiene $J_{1s}(\beta_s)$ que es una matriz constante de proyección para todas las ruedas orientables y cada fila contiene los tres términos de la ecuación 2-10.

Utilizando la técnica para coleccionar las limitaciones de deslizamiento para todas las ruedas estándar en una sola expresión se tiene (Siegwart, 2011):

$$C_1(\beta_1)R(\theta)\dot{\xi}_I = \mathbf{0} \quad (2-13)$$

$$C_1(\beta_1) = \begin{bmatrix} C_{1f} \\ C_{1s}(\beta_s) \end{bmatrix} \quad (2-14)$$

Donde C_{1f} y $C_{1s}(\beta_s)$ son matrices de $(N_f \times 3)$ y $(N_s \times 3)$ respectivamente, sus filas contienen los términos de la matriz de las ecuaciones 2-9 y 2-11.

2.3.5 Grado de movilidad

En la ecuación 2-13 se aplica la limitación que cada rueda debe cumplir para evitar el deslizamiento lateral. A esta ecuación se la pueda separar en ruedas fijas y ruedas orientables (Siegwart, 2011):

$$C_{1f}R(\theta)\dot{\xi}_I = 0 \quad (2-15)$$

$$C_{1s}(\beta_s)R(\theta)\dot{\xi}_I = 0 \quad (2-16)$$

Las restricciones cinemáticas para las ecuaciones 2-15 y 2-16 se pueden demostrar geoméricamente utilizando el concepto del centro instantáneo de rotación (CIR). Considerando la posibilidad de que una sola rueda estándar es forzada a tener cero movimientos laterales por la limitación de deslizamiento. Esto puede ser representado geoméricamente dibujando una línea de movimiento nulo por su eje horizontal, perpendicular al plano de la rueda, es decir la rueda debe estar en movimiento instantáneamente a lo largo de algunos círculo de radio R tal que el centro de ese círculo se encuentra en la línea de cero movimiento. Este punto central, llamado el centro instantáneo de rotación, puede falsearse en cualquier lugar a lo largo de la línea de cero movimiento. Cuando R está en el infinito, la rueda se mueve en una línea recta (Siegwart, 2011).

Un robot con sistema Ackerman puede tener varias ruedas como se observa en la figura 18, pero debe tener un solo CIR. En esta construcción geométrica se demuestra la movilidad del robot en función del número de limitaciones de movimiento y no del número de ruedas.

De forma matemática la independencia se basa en el rango de una matriz, en la cual se determina el mayor número de limitaciones en filas y columnas independientes. La ecuación 2-13 representa las limitaciones de deslizamiento que se imponen en las ruedas del robot. Por tanto el rango $[C_1(\beta_s)]$ es el número de limitaciones, si este rango es igual a tres, el robot se encontrará limitado en todas las direcciones y su movimiento en el plano es imposible. El grado de movilidad esta dado por (Siegwart, 2011):

$$\delta_m = \dim N[C_1(\beta_s)\mathbf{0}] = 3 - \text{rango}[C_1(\beta_s)] \quad (2-17)$$

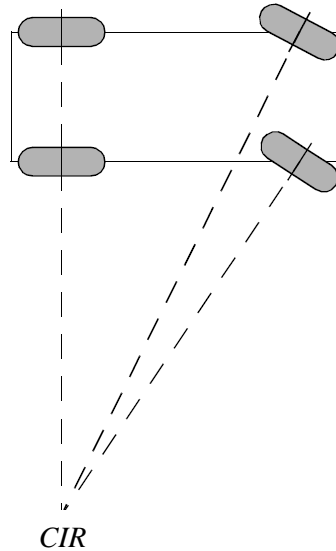


Figura 18. Centro inmediato de rotación de un sistema Ackerman

Fuente: (Siegwart, 2011)

2.4 Percepción

La percepción es controlada por los sentidos, en el caso de seres vivos se tiene vista, olfato, tacto, oído y gusto; estos ayudan a tener una concepción física del entorno. La percepción organiza e interpreta los estímulos, para darle un significado a algo.

La percepción en robots se hace tomando mediciones de diversos sensores que censan el entorno, se extrae la información significativa de esas mediciones y mediante una unidad de procesamiento interpreta lo que se encuentra alrededor de la plataforma robótica.

2.4.1 Sensores

Los sensores se los puede clasificar en activos y pasivo (Siegwart, 2011). Los sensores pasivos miden la energía del ambiente, estos pueden ser sondas que midan la temperatura, micrófonos y cámaras. Los sensores

activos emiten energía al medio ambiente y posterior miden la reacción del medio ambiente, estos sensores pueden manejar interacciones más controladas a menudo alcanzan un rendimiento superior pero pueden sufrir de interferencia en su señal; se tiene ejemplos como encoders, ultrasónicos y láser.

2.4.1.1 Sensores basados en la visión

La visión es el sentido más poderoso, proporciona una enorme cantidad de información y permite una interacción dinámica con el entorno. Los primeros pasos en este tipo de sensores fue crear dispositivos que capturen la misma información de luz que perciba el sistema de visión humano. Se puede describir dos tipos de tecnologías en la creación de sensores de visión: CCD y CMOS (Siegwart, 2011).

- Tecnología CCD: Es un dispositivo de carga acoplada y actualmente el más popular en sistemas de visión robótica. Un chip CCD es una matriz sensible a la luz que por lo general contiene 20 000 y varios millones de pixeles, donde cada pixel es un condensador sensible a la luz (figura 19). Con el tiempo cada pixel acumula un nivel variable de carga que son procesados en una de las esquinas del chip.

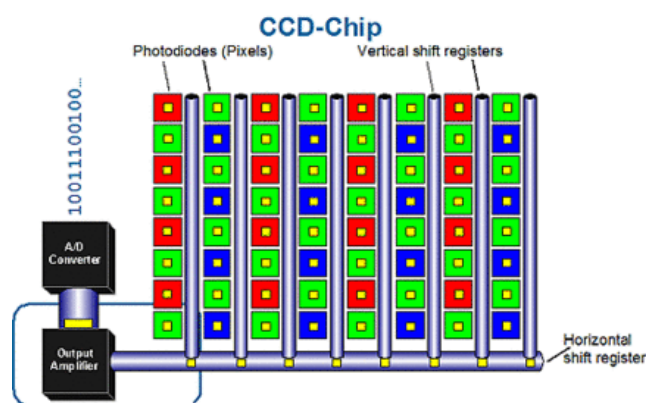


Figura 19. Tecnología CCD

Fuente: (xatakafoto, 2009)

- Tecnología CMOS: Al igual que un CCD posee una matriz de pixeles, pero con la diferencia que situado junto a cada uno de ellos varios transistores (figura 20). Todos los pixeles se cargan durante el periodo de integración, pero esta tecnología tiene el enfoque de que cada circuito de pixel específico junto al resto de pixeles amplifica la señal.

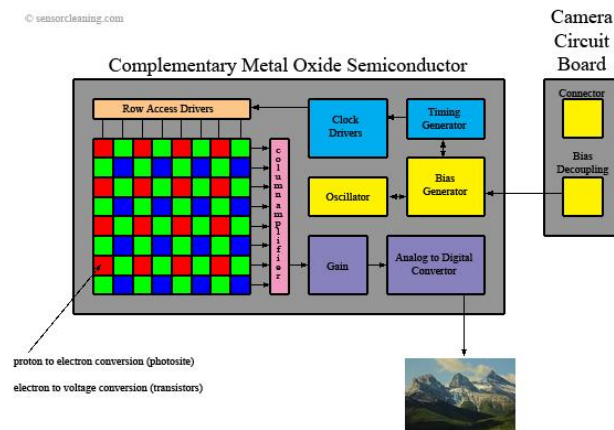


Figura 20. Tecnología CMOS

Fuente: (xatakafoto, 2009)

2.4.1.2 Cámaras

Las cámaras digitales tienen una salida inherente digital, a lo largo de la década de 1980 y principios de 1990, los módulos de visión más asequibles proporcionaban señales de salida analógicas.

Con los sistemas de visión CCD y CMOS se ha proporcionado señales digitales que pueden ser utilizados directamente. En un nivel básico, un sensor de imagen proporciona entradas y salidas que se comunican a los valores discretos captado por los píxeles.

Se pueden distinguir al menos dos tipos de cámaras, las que trabajan en el espectro visible y las que trabajan en el espectro infrarrojo. Cada vez se usan más ambos tipos de cámaras en robótica debido a que los precios bajan y el tamaño disminuye, y porque a veces es necesario conocer la textura y el color de algunos objetos.

Las cámaras de vídeo tienen como ventajas:

- Ofrecen mucha información en cada imagen.

- Son el sensor ideal para detectar colores, texturas y para reconocer de objetos.

Pero también tiene desventajas como:

- Alto coste computacional. Debido a esto, los robots suelen tener varios procesadores, algunos de ellos asignados exclusivamente al procesamiento de imágenes.
- No es el sensor adecuado para medir profundidad, aunque se pueden hacer mapas de profundidad a partir de dos cámaras de vídeo.

2.5 Telerrobótica

La intervención del operador humano es indispensable en muchas aplicaciones de la robótica, especialmente en entornos no estructurados y dinámicos en los cuales los problemas de percepción y planificación automática son demasiado complejos. En varias de estas situaciones, el operador está físicamente separado del robot, existiendo un sistema de telecomunicación entre dispositivos que utiliza directamente el operador y el sistema de control local del robot (Baturone, 2001).

La intervención del operador se puede dar en diferentes formas, desde la teleoperación directa de los actuadores, hasta la simple especificación de movimientos o tareas que se realizarán en forma autónoma.

La teleoperación se expresa como la extensión de capacidades sensoriales y destreza humana, manejada desde una localización remota. Se puede encontrar también la teleactuación que se interpreta como el manejo de actuadores y la telesensorización para la captación y visualización de información sensorial.

En un control supervisado el hombre dirige y monitorea las actividades de un sistema semiautomático de control, el control compartido consiste en una combinación de autonomía y telecontrol para cumplir una determinada función.

2.5.1 Teleactuación

En la teleactuación es frecuente el uso de sistemas maestro-esclavo, donde un operario mueve el efector final de un manipulador maestro y estos movimientos deben ser imitados por los actuadores de manipulador esclavo. Generalmente se replica el manipulador esclavo estableciendo un sistema de control bilateral (Baturone, 2001).

También se usa manipuladores maestros diferentes al esclavo, no solo en tamaño sino en su configuración cinemática, pero para ello se debe compensar el sistema informático de control para realizar las transformaciones correspondientes. Se emplea dispositivos de entrada como “joysticks”.

2.5.2 Diseño de sistemas de control de teleoperación

Se plantea los siguientes objetivos para el diseño de sistemas de control de teleoperación:

- Uno de los objetivos es crear un control manual robusto ante retardos, saturación de actuadores, e incluso ante los propios errores del operador.
- Permitir elevadas prestaciones en la teleoperación como: precisión, tiempo de teleoperación, comodidad; consiguiendo con ello que los bucles de control tengan un comportamiento dinámico.

La determinación de la información que se suministra al operador es un aspecto importante, en muchos sistemas la información sensorial es fundamentalmente visual. Existen también sistemas con información de proximidad.

La técnica de teleoperación más simple es la denominada “mover y esperar”, pero en ella se obliga a que el operador desarrolle un considerable esfuerzo, el rendimiento es bajo y no garantiza una teleoperación segura por cuestión de retardos en la transmisión (Baturone, 2001).

2.5.3 Sistemas de visión en teleoperación

En los primeros sistemas de teleoperación se usaron cámaras de tubos de vacío. En la actualidad se utilizan cámaras CCD, que cada vez tienen una mayor resolución. Las cámaras actuales admiten disparo electrónico con una señal controlada remota y electrónicamente, además existen cámaras que resuelven problemas de deslumbramiento y agudeza visual del operador (Siegwart, 2011).

El diseño de un sistema de teleoperación hace necesario tener en cuenta las características de las lentes, incluyendo el zoom, apertura y campo de vista. Aunque existen sistemas de teleoperación que emplean distancia focal fija, pero debe tener suficiente rango para suministrar una perspectiva global del área de trabajo.

Un campo de vista angular amplio, brinda la opción de perspectiva, lo cual ayuda a realizar movimientos globales; pero al mismo tiempo dificulta los movimientos finos. En estos casos se recurre a cámaras panorámicas para obtener una perspectiva global y cámara para obtener visión detallada, que generalmente se encuentran en el efector final.

La ubicación y movimiento de las cámaras se debe tener en cuenta porque pueden ser motivo de confusión para el operador. Para tareas de manipulación se suele disponer de una cámara con el eje en una elevación de 45° debajo de la horizontal.

Otro aspecto muy importante en la teleoperación es el control de las cámaras, típicamente se controla los ángulos de orientación y elevación. La técnica de control más empleada es el joystick o dispositivos de entrada en el panel de control. Actualmente también existen técnicas de control mediante voz, lo que permite un manejo simultáneo de otros dispositivos de mano.

2.5.4 Transmisión

Dentro de la teleoperación existe una amplia variedad de tecnologías inalámbricas y estas pueden ser divididas de la siguiente forma:

- Coberturas de corto alcance: Primero se debe entender que el rango de una cobertura de corto alcance se lo establece hasta el rango de los kilómetros. Este tipo de tecnología se la conoce como red de área personal (PAN), los dispositivos son controlados por una sola persona. Para este tipo de coberturas tenemos estándares como Bluetooth, Zigbee, USB inalámbrico y radio frecuencia.
- Coberturas de largo alcance: Por otro lado este tipo de coberturas están diseñadas para cubrir ciudades y zonas muy amplias. Es conocida como una red de área local inalámbrica (WLAN), un claro ejemplo de este tipo de sistema es las redes celulares y que a menudo se dividen en generaciones como la 3G y 4G.

2.5.5 Radio frecuencia

Se entiende por radio frecuencia al conjunto de frecuencia situado entre 3Hz y los 300Ghz, correspondientes a la parte menos energética del espectro electromagnético. Usada en telecomunicación para transferencia de información desde un punto inicial a otro remoto (punto a punto) (figura 21), o a varios puntos (punto - multipunto) (figura 22) (Lanniser, 2015).

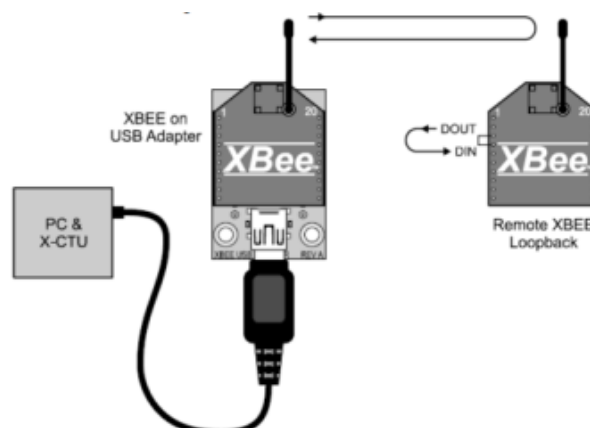


Figura 21. Esquema punto - punto tecnología XBEE

Fuente: (Lanniser, 2015)

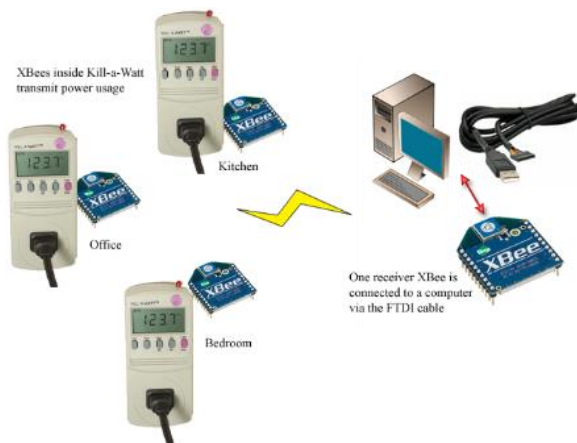


Figura 22. Esquema punto - multipunto tecnología XBEE

Fuente: (Lanniser, 2015)

Las ondas de radiofrecuencia (RF) se generan cuando una corriente alterna pasa a través de un conductor. Las ondas se caracterizan por sus frecuencias y longitudes. La frecuencia se mide en hercios (o ciclos por segundo) y la longitud de onda se mide en metros (o centímetros). Las ondas de radio son ondas electromagnéticas y viajan a la velocidad de la luz en el espacio libre.

Las transmisiones de televisión, radio, radar y telefonía móvil están incluidas en esta clase de emisiones de radiofrecuencia. Otros usos son audio, vídeo, radionavegación, servicios de emergencia y transmisión de datos por radio digital.

Dentro de las transmisiones por radiofrecuencia se debe tener cuidado con las interferencias, a estas se las define como el efecto de una energía no deseada producida por emisiones o inducciones, que afectan sobre la recepción de un sistema de radiocomunicación; puede dar problemas como el falseamiento o pérdida de información (Lanniser, 2015).

La zona de cobertura, es la zona en la que la intensidad de campo es mayor o igual a un determinado nivel de utilización con el que se garantiza la recepción de datos.

2.6 Resumen

- En el término robot convergen las imágenes de máquinas que son usadas para la realización de trabajos productivos y de imitación de movimientos o comportamiento de seres vivos. Por tanto la robótica combina diversas disciplinas como son: la mecánica, la electrónica, la informática, la inteligencia artificial, la ingeniería de control y la física.
- El desarrollo de los robots móviles responde a la necesidad de extender el campo de aplicación de la robótica, restringida inicialmente al alcance de una estructura mecánica anclada en uno de sus extremos. Se trata de aumentar la autonomía dándole al robot libertad de movilidad, e incluso la posibilidad de interactuar con el entorno gracias a la sensorización y programación del mismo.
- Los robots teleoperados empleados para tareas de percepción del entorno, planificación y manipulación deben ser controlados y supervisados por un operario humano. El operador actúa en tiempo real cerrando un bucle de control de alto nivel. Son utilizados para trabajos de localización remota en lugares de acceso difícil, medios contaminados o peligrosos, es decir es un robot apto para espacios no estructurados donde un autónomo normal no tendría acceso.
- Un robot móvil necesita mecanismos de locomoción que le permiten moverse en un entorno específico. Hay robots en investigación que pueden caminar, saltar, correr, deslizarse, patinar, nadar, volar, y por supuesto, rodar. La mayoría de estos mecanismos de locomoción se han inspirado en aspectos biológicos.
- La cinemática nos ayuda a entender cómo se comporta un sistema mecánico. En robótica es usado para entender el comportamiento del robot y diseñar el estudio de caso, donde podremos definir los posibles caminos y trayectorias en el espacio de trabajo. Un robot móvil también se encuentra limitado por la dinámica; por ejemplo, un alto centro de gravedad limita el radio de giro.

- La percepción en robots se da mediante la toma de mediciones en diversos sensores que censan el entorno, se extrae la información significativa de esas mediciones y mediante una unidad de procesamiento interpreta lo que se encuentra alrededor de la plataforma robótica. La visión es el sentido más poderoso, proporciona una enorme cantidad de información y permite una interacción dinámica con el entorno.
- La intervención del operador humano es indispensable en muchas aplicaciones de la robótica, especialmente en entornos no estructurados y dinámicos en los cuales los problemas de percepción y planificación automática son demasiado complejos. En varias de estas situaciones, el operador está físicamente separado del robot, existiendo un sistema de telecomunicación entre dispositivos que utiliza directamente el operador y el sistema de control local del robot

CAPÍTULO 3

DISEÑO

Este capítulo se centra en el diseño y construcción de la plataforma robótica para exteriores. Basándose en el uso de la herramienta Función de desarrollo de calidad o conocida como casa de la calidad QFD. Para lo cual se empieza con las necesidades de usuario, que serán cubiertas por especificaciones técnicas, mediante alternativas de solución se encuentra las soluciones más adecuadas a las necesidades de diseño. Logrando cubrir los requerimientos para cumplir con la ejecución del proyecto.

3.1 Parámetros considerados para el diseño.

Para empezar el diseño de la plataforma se parte con la elección de los parámetros de locomoción en robots móviles, tomado en cuenta los requerimientos que se han realizado previamente, se define que estos parámetros serán los siguientes:

- Plataforma con cuatro ruedas
- Traslación por desplazamiento diferencial
- Tracción en las cuatro ruedas, con el uso de motores individuales en cada una de las mismas.

Además se considera una estructura de tipo rectangular para la plataforma.

3.2 Función de desarrollo de calidad o QFD

Las siglas correspondientes a la expresión “Quality Function Deployment”, traducida como “Función de Desarrollo de la Calidad” o “Despliegue de la Función Calidad”.

Es un sistema organizado para diseñar o rediseñar productos, con dos objetivos fundamentales: 1) asegurar que el producto va a responder a las necesidades y expectativas de los clientes, y 2) acortar el periodo de tiempo que va desde la concepción del producto hasta su lanzamiento.

La aplicación del QFD contempla aspectos de:

- *Comunicación.* Al tratarse de una actividad interdepartamental. Cada persona aporta sus intereses, punto de vista y conocimientos con el objetivo común de acertar con el nuevo producto.
- *Mejora del producto.* Todo el desarrollo del producto está enfocado hacia las necesidades del cliente. Esto implica un detallado análisis de cuáles son estas necesidades.

3.2.1 Beneficios que aporta el QFD

Al momento de implementar la función de desarrollo de calidad, se tiene beneficios como:

- Facilita la creación de una base de datos para futuros diseños.
- Proporciona una sistemática ordenada y eficaz en el desarrollo de nuevos productos.
- Reduce el tiempo de lanzamiento
- Reduce los costes de calidad
- Mayor satisfacción del cliente

3.3 Despliegue de la función de calidad (QFD)

3.3.1 Requerimientos

Los requerimientos son aspectos que se consideran necesidades para el cumplimiento de un objetivo, para cubrir las necesidades en la plataforma robótica de exteriores se planteó los siguientes requerimientos, presentados en la tabla 3.

3.3.2 Características Técnicas

Una vez planteado los requerimientos para la plataforma robótica, se debe definir los requisitos técnicos que cubrirán las necesidades de los requerimientos. Estos se presentan en la tabla 4.

Tabla 3. Requerimientos para matriz QFD

N°	REQUERIMIENTOS
1	Chasis fuerte y robusto
2	Control remoto
3	Fácil acceso a los controles internos
4	Fuente energética adecuada y duradera para plataforma móvil.
5	Buena transmisión mecánica
6	Gran potencia en tracción
7	Mando a distancia de alcance medio
8	Materiales resistentes al ambiente
9	Monitoreo en tiempo real
10	No debe ingresar agua al interior de la plataforma
11	Pasar obstáculos
12	Software de control de uso libre

Tabla 4. Características técnicas para matriz QFD

N°	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
1	Motores de alto torque
2	Materiales resistentes a impactos
3	Materiales inoxidables e impermeables
4	Diámetro de ruedas acorde a dimensiones de la plataforma.
5	Sensor de orientación
6	Activación de motores
7	Alcance de teleoperación
8	Palanca de control ergonómico e intuitivo
9	Software de programación robótica de acceso libre
10	Transmisión visual del entorno en tiempo real
11	Baterías de tamaño moderado con potencia para abastecer a todo el sistema eléctrico
12	Caja de controles ubicado en un lugar accesible

3.3.3 Resultados de la matriz QFD

Ya establecidos los requerimientos y las características técnicas que cubren las necesidades de los requerimientos, se realiza la matriz QFD donde relaciona los dos aspectos mencionados anteriormente con rangos de ponderación. Teniendo como resultado el porcentaje de relevancia de cada característica técnica, estos resultados se expresan en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados de la matriz QFD

HITOS	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	PORCENTAJE DE PONDERACIÓN
1	Motores de alto torque	10,5
2	Activación de motores	9,7
3	Transmisión visual del entorno en tiempo real	9,1
4	Alcance de teleoperación	8,9
5	Baterías de tamaño moderado con potencia para abastecer a todo el sistema eléctrico	7,1
6	Sensor de orientación	6,2
7	Diámetro de ruedas acorde a dimensiones de la plataforma	5,7
8	Materiales resistentes a impactos	5,6
9	Software de programación robótica de acceso libre	5,5
10	Materiales inoxidables e impermeables	4,4
11	Caja de controles ubicado en un lugar accesible	2,9
12	Palanca de control ergonómico e intuitivo	2,1

3.4 Estructura funcional

Al obtener los resultados de la matriz QFD, se los debe englobar en módulos y formar una estructura funcional (tabla 6), la cual ayuda a dar cumplimiento con las necesidades de la plataforma robótica en forma ordenada. Para cubrir las necesidades se debe dar soluciones a cada módulo mediante tablas de ponderación que presentan diferentes posibilidades y ayudan a escoger la opción más adecuada.

Tabla 6. Módulos para diseño

Nº	MÓDULOS	HITOS A CUMPLIR
1	Tipo de motor	1, 2, 7
2	Software de programación	3, 5, 6,9
3	Hardware de control	9, 3, 5, 12
4	Teleoperación	3, 4, 6, 9
5	Activación de motores	2, 5, 7
6	Energía	2,5
7	Material del chasis	8, 10

3.5 Alternativas para diseño

En este punto se plantea posibles soluciones para el cumplimiento de cada módulo y consecuencia de ello dar cumplimiento a cada hito presente en los módulos.

3.5.1 Módulo 1. Tipo de motor

Dentro del módulo de potencia se tiene los hitos de motores, transmisión y ruedas. Por lo que se presentará las diferentes alternativas para dar solución a ellos.

3.5.1.1 Motores

A continuación se muestra las opciones para cubrir esta necesidad.

3.5.1.1.1 Motor DC con caja reductora

Es un motor con gran variedad de especificaciones para trabajar, y por su complemento mecánico tiene la capacidad de poseer un gran torque.

Ventajas

- Funcionalidad a diferentes voltajes
- Fácil de controlar
- Flexibilidad de curvas par - velocidad

Desventajas

- Necesidad de sensores para medir velocidad y posición

- Difícil mantenimiento
- Costes según potencia requerida

3.5.1.1.2 Motor paso a paso

Este motor gira un determinado ángulo en función de las señales eléctricas que se le aplique a sus terminales de control.

Ventajas

- No necesita sensores para medir posición y velocidad
- Resolución de pasos variada de 1° hasta 15°
- Variedad de tamaños

Desventajas

- Reducción del torque al aumentar la velocidad
- Secuencia programada para realizar el control
- Adquisición difícil

3.5.1.1.3 Servomotor

Este tipo de motor tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición. Existen de tipo AC y DC pero en nuestro caso tomamos como referencias el tipo DC.

Ventajas

- Capacidad de ubicación
- Fácil control
- Fácil montaje

Desventajas

- Mayor tamaño según capacidad de torque
- No puede girar totalmente
- Adquisición difícil

3.5.1.2 Transmisión

A continuación se muestra las opciones para cubrir esta necesidad.

3.5.1.2.1 Sistema Ackerman

Este sistema es utilizado por los vehículos convencionales de cuatro ruedas, es una configuración muy estable donde las ruedas delanteras permiten un giro sobre el eje.

Ventajas

- Configuración estable
- Utiliza un motor en la parte trasera
- Evita deslizamiento en ruedas

Desventajas

- Difícil implementación
- Dirección delantera para giro
- Radio de giro dependiendo de las dimensiones de la plataforma
- Limitada maniobrabilidad

3.5.1.2.2 Pistas de deslizamiento

En este sistema tanto la impulsión como el direccionamiento se consiguen mediante pistas de deslizamiento. Estas pistas actúan de forma análoga a ruedas de un gran diámetro.

Ventajas

- Sorteando terrenos irregulares
- Gran área de contacto
- Girar sobre un mismo punto

Desventajas

- Difícil implementación
- Material de pista de difícil obtención
- Alto costo

3.5.1.2.3 Sistema Diferencial

Este sistema consiste en la actuación simultánea de todas las ruedas, que giran de forma diferencial.

Ventajas

- Movimiento sincronizado de ruedas
- Gran maniobrabilidad
- Gira sobre un mismo punto
- Evita desalineación de ruedas
- Estabilidad en movimientos

Desventajas

- Uso de cuatro motores
- Media dificultad de implementación
- Alto costo

3.5.2 Módulo 2. Software de programación

Dentro del módulo de control de plataforma se tiene el hito de software de programación, por lo que se presentará las diferentes alternativas para dar solución.

3.5.2.1 Software de programación.

A continuación se muestra las opciones para cubrir esta necesidad.

3.5.2.2 Sistema Operativo Robótico (ROS)

Es una plataforma de desarrollos open source para sistemas robóticos. Proporciona toda una serie de servicios y librerías que simplifican considerablemente la creación de aplicaciones complejas para robots.

Ventajas

- Software libre
- Software especializado en robótica
- Software con necesidades de mediano procesamiento

Desventajas

- Mediana complejidad en su programación
- Software únicamente instalable en plataformas Linux

3.5.2.3 Labview.

Es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico.

Ventajas

- Programación amigable con el usuario
- Compatible con otros software
- Adaptable a módulos exteriores de I/O

Desventajas

- Software requiere licencia pagada para su uso
- Altos requerimientos del equipo donde va a ser instalado
- Programación orientada a objetos

3.5.3 Módulo 3. Hardware de control

Dentro del módulo de adquisición y control de módulos se tiene los hitos de manejo y control de datos emitidos por los diferentes sensores implementados en la plataforma. Por lo que se presentará las diferentes alternativas para dar solución.

3.5.3.1 Placas de control.

A continuación se muestra las opciones para cubrir esta necesidad.

3.5.3.2 Raspberry.

Es un ordenador de placa reducida de bajo coste que contiene un procesador central y una memoria RAM

Ventajas

- Procesador de una velocidad moderada
- Memoria de almacenamiento expansible
- Soporta sistemas operativos

Desventajas

- No tiene unidad de estado sólido

- Memoria RAM baja
- Costo moderado de adquisición

3.5.3.3 Arduino

Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios

Ventajas

- Fácil programación
- Bajo costo
- Gran número de entradas y salidas para diferentes usos

Desventajas

- No soporta Sistemas Operativos
- Procesamiento de datos medianamente bajo

3.5.3.4 PC-duino.

Es un mini PC de alto rendimiento que soporta sistemas operativos completos como Ubuntu y Android. Se puede programar también en C, C++, Java, Python, Arduino, entre otros lenguajes

Ventajas

- Alta velocidad de procesamiento
- Soporta sistemas operativos
- Gran número de entradas y salidas para diferentes usos

Desventajas

- Mediana dificultad de programación
- Costo mediano alto
- Difícil adquisición

3.5.4 Módulo 4. Teleoperación

Dentro del módulo de navegación se tiene los hitos de transmisión, teleoperación y sensores de ubicación. Por lo que se presentará las diferentes alternativas para dar solución.

3.5.4.1 Radiofrecuencia.

Datos transmitidos de una frecuencia establecida con una rápida transferencia

Ventajas

- Gran alcance con interferencias
- Fácil implementación
- Fácil adquisición

Desventajas

- Alto costo
- Baja robustez
- Acondicionamiento previo

3.5.4.2 Bluetooth.

Un dispositivo de radio, encargado de modular y transmitir la señal, y un controlador digital.

Ventajas

- Fácil de implementar
- Bajo costo
- Compacto

Desventajas

- Bajo alcance
- Baja robustez
- Sensible a interferencias

3.5.4.3 WLAN.

Es un sistema de comunicación inalámbrica flexible, muy utilizada como alternativa a las redes de área local cableada o como extensión de éstas.

Ventajas

- Gran alcance
- Robusta a interferencias
- Capacidad para varios usuarios

Desventajas

- Difícil implementación
- Alto costo
- Dependencia de otros elementos para realizar la red

3.5.5 Módulo 5. Activación de motores

Dentro del módulo de dirección se tiene el hito de control de giro de motores. Por lo que se presentará las diferentes alternativas para dar solución.

3.5.5.1 Sentido de giro en motores.

A continuación se muestra las opciones para cubrir esta necesidad.

3.5.5.2 Puente H con transistores.

Es un circuito conformado por transistores que son elementos discretos.

Ventajas

- Maneja altas corrientes
- Costo moderado
- Tamaño pequeño según diseño

Desventajas

- Difícil construcción
- Control dificultoso
- Requiere circuito por cada motor

3.5.5.3 Driver puente H de alta potencia.

Es un shield que tiene incorporado circuitos de potencia y control.

Ventajas

- Variedad en características técnicas
- Fácil implementación
- Control de motores muy preciso

Desventajas

- Costo alto
- Circuito de control y potencia muy cercano en PCB
- Difícil adquisición

3.5.5.4 Integrado puente H.

Es un integrado para controlar sentido de giro en motores, pero necesita ser acondicionado.

Ventajas

- Bajo costo
- Fácil adquisición

Desventajas

- Difícil implementación
- No maneja altas potencias
- Necesita circuitos de potencia extras

3.5.6 Módulo 6. Energía

Dentro del módulo de energía se tiene los hitos de baterías, acondicionamiento de voltajes y protecciones. Por lo que se presentará las diferentes alternativas para dar solución.

3.5.6.1 Suministro energético.

A continuación se muestra las opciones para cubrir esta necesidad.

3.5.6.2 Batería.

Es un acumulador de energía que transforma la energía química en eléctrica, da una autonomía total a las plataformas robóticas ya que no depende de factores externos.

Ventajas

- Tamaño reducido
- Fácil implementación
- Capacidad energética variable

Desventajas

- Peso considerable
- Necesidad de recargar
- Vida útil limitado

3.5.6.3 Panel fotovoltaico.

Es un captador de energía solar (luminosa) y lo transforma a energía eléctrica, muy utilizado en módulos robóticos.

Ventajas

- Fácil implementación
- Energía renovable y ecológica
- Prolongada vida útil

Desventajas

- Alto costo
- Poca eficiencia
- Depende de factores climáticos

3.5.6.4 Conexión a corriente alterna por cableado.

Alimentación con corriente alterna con cable extensivo desde un tomacorriente hacia la plataforma.

Ventajas

- Fácil implementación
- Bajo costo
- Eficiente

Desventajas

- Convertidor de corriente alterna a continua
- Limitación de movilidad por conexión a cable
- Múltiples puntos de conexión

3.5.7 Módulo 7. Material del chasis

Dentro del módulo de chasis se tiene los hitos de materiales resistentes, inoxidables e impermeables. Por lo que se presentará las diferentes alternativas para dar solución.

3.5.7.1 Materiales.

A continuación se muestra las opciones para cubrir esta necesidad.

3.5.7.2 Acero.

Material resistente a la corrosión con resistencia mecánica alta.

Ventajas

- Alta resistencia mecánica
- Moderada dificultad en ensamblaje
- Costo módico
- Impermeable

Desventajas

- Deformaciones no reversibles
- Necesidad de materiales adicionales para prever corrosión

3.5.7.3 Aluminio.

Material dúctil con una baja resistencia mecánica y una resistencia a la corrosión superior al acero.

Ventajas

- Alta resistencia a la corrosión
- Fácil manejo en cortes y dobleces
- Material ligero

Desventajas

- Alta dificultad en ensamblaje
- Alto costo
- Deformaciones no reversibles

3.5.7.4 Madera.

Material maleable con una resistencia mecánica moderada y de vida útil corta.

Ventajas

- Fácil manejo en ensamblaje
- Bajo costo
- Material ligero

Desventajas

- Baja resistencia mecánica
- Material no impermeable
- Vida útil corta
- Baja resistencia a condiciones ambientales bruscas

3.6 Evaluación y selección de alternativas para diseño

Para la selección de una alternativa se va hacer uso de la herramienta “Matriz de comparación pareada”. Es una herramienta para apoyar la toma de decisiones, a través de ponderar prioridades cuando se tienen que

considerar aspectos tanto cuantitativos como cualitativos en un grupo de alternativas.

Para la ponderación en la herramienta mencionada, se tiene como parámetros. Si es 1 representa que el criterio de la fila es más relevante que el de la columna, y por otro lado, si es 0 representa que el criterio de la columna es más relevante que el de la fila.

3.6.1 Módulo 1. Tipo de motor

Motores

Tabla 7. Ponderación de criterios de evaluación para motores en el módulo 1.

Criterio	Potencia	Control	Adquisición	$\Sigma + 1$	Ponderación
Potencia	-	1	1	3	0,5
Control	0	-	1	2	0,33
Adquisición	0	0	-	1	0,17
Suma				6	1

Soluciones establecidas para motores en el módulo 1:

- Solución 1: Motor DC con caja reductora
- Solución 2: Motor paso a paso
- Solución 3: Servomotor

Tabla 8. Ponderación de potencia en motores para soluciones del módulo 1.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	1	1	3	0,5
Solución 2	0	-	1	2	0,33
Solución 3	0	0	-	1	0,17
Suma				6	1

Tabla 9. Ponderación de control en motores para soluciones del módulo 1.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	1	0	2	0,33
Solución 2	0	-	0	1	0,17
Solución 3	1	1	-	3	0,5
Suma				6	1

Tabla 10. Ponderación de adquisición de motores para soluciones del módulo 1.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	0	0	1	0,17
Solución 2	1	-	0	2	0,33
Solución 3	1	1	-	3	0,5
Suma				6	1

Tabla 11. Conclusión en la selección de la alternativa en motores para el módulo 1.

Criterio	Potencia	Control	Adquisición	Σ	Orden de selección
Solución 1	0,25	0,11	0,03	0,39	1
Solución 2	0,17	0,06	0,05	0,28	3
Solución 3	0,09	0,16	0,08	0,33	2
Suma				1	

Transmisión

Tabla 12. Ponderación de criterios de evaluación para sistemas de transmisión en el módulo 1.

Criterio	Tracción	Maniobrabilidad	Implementación	$\Sigma + 1$	Ponderación
Tracción	-	1	1	3	0,5
Maniobrabilidad	0	-	1	2	0,33
Implementación	0	0	-	1	0,17
Suma				6	1

Soluciones establecidas para sistemas de tracción en el módulo 1:

- Solución 1: Sistema Ackerman
- Solución 2: Pistas de deslizamiento
- Solución 3: Sistema diferencial

Tabla 13. Ponderación de tracción en sistemas de tracción para soluciones del módulo 1.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	0	0	1	0,16
Solución 2	1	-	0,5	2,5	0,42
Solución 3	1	0,5	-	2,5	0,42
Suma				6	1

Tabla 14. Ponderación de maniobrabilidad en sistemas de tracción para soluciones del módulo 1.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	0	0	1	0,16
Solución 2	1	-	0,5	2,5	0,42
Solución 3	1	0,5	-	2,5	0,42
			Suma	6	1

Tabla 15. Ponderación de implementación en sistemas de tracción para soluciones del módulo 1.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	0	0	1	0,17
Solución 2	1	-	0	2	0,33
Solución 3	1	1	-	3	0,5
			Suma	6	1

Tabla 16. Conclusión en la selección de la alternativa en sistemas de tracción para el módulo 1.

Criterio	Tracción	Maniobrabilidad	Implementación	Σ	Orden de selección
Solución 1	0,08	0,05	0,03	0,17	3
Solución 2	0,21	0,14	0,05	0,43	2
Solución 3	0,21	0,14	0,08	0,46	1
			Suma	1	

3.6.2 Módulo 2. Software de programación

Software de programación

Tabla 17. Ponderación de criterios de evaluación para softwares de programación en el módulo 2.

Criterio	Programación	Costo	Requerimientos de instalación	$\Sigma + 1$	Ponderación
Programación	-	1	1	3	0,33
Costo	0	-	0	1	0,17
Instalación	0	1	-	2	0,5
			Suma	6	1

Soluciones establecidas para softwares de programación en el módulo 2:

- Solución 1: Sistema Operativo Robótica (ROS)
- Solución 2: Labview

Tabla 18. Ponderación de programación en softwares para soluciones del módulo 2.

Criterio	Solución 1	Solución 2	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	1	2	0,66
Solución 2	0	-	1	0,34
	Suma		3	1

Tabla 19. Ponderación de costo en softwares para soluciones del módulo 2.

Criterio	Solución 1	Solución 2	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	1	2	0,66
Solución 2	0	-	1	0,34
	Suma		3	1

Tabla 20. Ponderación en requerimientos de instalación en software para soluciones del módulo 2.

Criterio	Solución 1	Solución 2	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	0	1	0,34
Solución 2	1	-	2	0,66
	Suma		3	1

Tabla 21. Conclusión en la selección de la alternativa en softwares de programación para el módulo 2.

Criterio	Programación	Costo	Requerimientos de instalación	Σ	Orden de selección
Solución 1	0,22	0,12	0,17	0,51	1
Solución 2	0,11	0,05	0,33	0,49	2
	Suma			1	

3.6.3 Módulo 3. Hardware de control

Placa de control

Tabla 22. Ponderación de criterios de evaluación para placas de control en el módulo 3.

Criterio	Programación	I/O	Disponibilidad	$\Sigma + 1$	Ponderación
Programación	-	1	1	3	0,5
I/O	0	-	1	2	0,33
Disponibilidad	0	0	-	1	0,17
	Suma			6	1

Soluciones establecidas para placas de control en el módulo 3:

- Solución 1: Raspberry
- Solución 2: Arduino
- Solución 3: PC-duino

Tabla 23. Ponderación de programación en placas de control para soluciones del módulo 3.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	0	1	2	0,33
Solución 2	1	-	1	3	0,5
Solución 3	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Tabla 24. Ponderación de I/O en placas de control para soluciones del módulo 3.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	0	0	1	0,17
Solución 2	1	-	1	3	0,5
Solución 3	1	0	-	2	0,33
			Suma	6	1

Tabla 25. Ponderación de disponibilidad en placas de control para soluciones del módulo 3.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	0	1	2	0,33
Solución 2	1	-	1	3	0,5
Solución 3	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Tabla 26. Conclusión en la selección de la alternativa en placas de control para el módulo 3.

Criterio	Potencia	Control	Adquisición	Σ	Orden de selección
Solución 1	0,17	0,05	0,05	0,27	2
Solución 2	0,25	0,17	0,08	0,50	1
Solución 3	0,09	0,11	0,03	0,23	3
			Suma	1	

3.6.4 Módulo 4. Teleoperación

Teleoperación

Tabla 27. Ponderación de criterios de evaluación para teleoperación en el módulo 4.

Criterio	Alcance	Implementación	Robustez	$\Sigma + 1$	Ponderación
Alcance	-	1	1	3	0,5
Implementación	0	-	1	2	0,33
Robustez	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Soluciones establecidas para control de teleoperación en el módulo 4:

- Solución 1: Radiofrecuencia
- Solución 2: Bluetooth
- Solución 3: WLAN

Tabla 28. Ponderación de alcance en teleoperación para soluciones del módulo 4.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	1	0	2	0,33
Solución 2	0	-	0	1	0,17
Solución 3	1	1	-	3	0,5
			Suma	6	1

Tabla 29. Ponderación de implementación en teleoperación para soluciones del módulo 4.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	0,5	1	2,5	0,42
Solución 2	0,5	-	1	2,5	0,42
Solución 3	0	0	-	1	0,16
			Suma	6	1

Tabla 30. Ponderación de robustez en teleoperación para soluciones del módulo 4.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	1	0	2	0,33
Solución 2	0	-	0	1	0,17
Solución 3	1	1	-	3	0,5
			Suma	6	1

Tabla 31. Conclusión en la selección de la alternativa en teleoperación para el módulo 4.

Criterio	Potencia	Control	Adquisición	Σ	Orden de selección
Solución 1	0,17	0,15	0,05	0,37	1
Solución 2	0,09	0,14	0,02	0,25	3
Solución 3	0,25	0,05	0,08	0,38	2
			Suma	1	

3.6.5 Módulo 5. Activación de motores

Sentido de giro en motores

Tabla 32. Ponderación de criterios de evaluación para sentido de giro en el módulo 5.

Criterio	Potencia	Control	Implementación	$\Sigma + 1$	Ponderación
Potencia	-	1	1	3	0,5
Control	0	-	1	2	0,33
Implementación	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Soluciones establecidas para sentido de giro en el módulo 5:

- Solución 1: Puente H con transistores
- Solución 2: Driver puente H de alta potencia
- Solución 3: Integrado puente H

Tabla 33. Ponderación de potencia en sentido de giro para soluciones del módulo 5.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	0,5	1	2,5	0,42
Solución 2	0,5	-	1	2,5	0,42
Solución 3	0	0	-	1	0,16
			Suma	6	1

Tabla 34. Ponderación de control en sentido de giro para soluciones del módulo 5.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	0	1	2	0,33
Solución 2	1	-	1	3	0,5
Solución 3	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Tabla 35. Ponderación de implementación en sentido de giro para soluciones del módulo 5.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	0	1	2	0,33
Solución 2	1	-	1	3	0,5
Solución 3	0	0	-	1	0,17
Suma				6	1

Tabla 36. Conclusión en la selección de la alternativa en sentido de giro para el módulo 5.

Criterio	Potencia	Control	Implementación	Σ	Orden de selección
Solución 1	0,21	0,11	0,05	0,37	2
Solución 2	0,21	0,16	0,08	0,45	1
Solución 3	0,08	0,06	0,03	0,17	3
Suma				1	

3.6.6 Módulo 6. Energía

Suministro energético

Tabla 37. Ponderación de criterios de evaluación para suministros energético en el módulo 6.

Criterio	Portabilidad	Eficiencia	Capacidad energética	$\Sigma + 1$	Ponderación
Portabilidad	-	0	0	1	0,17
Eficiencia	1	-	0	2	0,33
Capacidad energética	1	1	-	3	0,5
Suma				6	1

Soluciones establecidas para suministros energéticos en el módulo 6:

- Solución 1: Batería
- Solución 2: Paneles fotovoltaicos
- Solución 3: Conexión a corriente alterna por cableado

Tabla 38. Ponderación de portabilidad en suministros energéticos para soluciones del módulo 6.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	1	1	3	0,5
Solución 2	0	-	1	2	0,33
Solución 3	0	0	-	1	0,17
Suma				6	1

Tabla 39. Ponderación de eficiencia en suministros energéticos para soluciones del módulo 6.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	1	0,5	2,5	0,42
Solución 2	0	-	1	2	0,33
Solución 3	0,5	0	-	1,5	0,25
			Suma	6	1

Tabla 40. Ponderación de capacidad energética en suministros energéticos para soluciones del módulo 6.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	1	0,5	2,5	0,42
Solución 2	0	-	0	1	0,16
Solución 3	0,5	1	-	2,5	0,42
			Suma	6	1

Tabla 41. Conclusión en la selección de la alternativa en suministros energéticos para el módulo 6.

Criterio	Portabilidad	Eficiencia	Capacidad energética	Σ	Orden de selección
Solución 1	0,08	0,14	0,21	0,43	1
Solución 2	0,05	0,11	0,08	0,24	3
Solución 3	0,03	0,08	0,21	0,32	2
			Suma	1	

3.6.7 Módulo 7. Material del chasis

Materiales

Tabla 42. Ponderación de criterios de evaluación para materiales en el módulo 7.

Criterio	Resistencia	Permeabilidad	Ensamblaje	$\Sigma + 1$	Ponderación
Resistencia	-	1	1	3	0,5
Permeabilidad	0	-	1	2	0,33
Ensamblaje	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Soluciones establecidas para materiales en el módulo 7:

- Solución 1: Acero
- Solución 2: Aluminio
- Solución 3: Madera

Tabla 43. Ponderación de resistencia en materiales para soluciones del módulo 7.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	1	1	3	0,5
Solución 2	0	-	1	2	0,33
Solución 3	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Tabla 44. Ponderación de permeabilidad en materiales para soluciones del módulo 7.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	0,5	1	2,5	0,42
Solución 2	0,5	-	1	2,5	0,42
Solución 3	0	0	-	1	0,16
			Suma	6	1

Tabla 45. Ponderación de ensamblaje en materiales para soluciones del módulo 7.

Criterio	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma + 1$	Ponderación
Solución 1	-	1	0,5	2,5	0,42
Solución 2	0	-	0	1	0,16
Solución 3	0,5	1	-	2,5	0,42
			Suma	6	1

Tabla 46. Conclusión en la selección de la alternativa en materiales para el módulo 7.

Criterio	Resistencia	Permeabilidad	Ensamblaje	Σ	Orden de selección
Solución 1	0,25	0,14	0,07	0,46	1
Solución 2	0,17	0,14	0,02	0,33	2
Solución 3	0,09	0,05	0,07	0,21	3
			Suma	1	

3.7 Definición del diseño

En la tabla 47 se muestra las alternativas seleccionadas para dar solución a cada uno de los módulos planteados anteriormente.

3.7.1 Módulo 1. Tipo de motor

Para el dimensionamiento de los motores se debe establecer las cargas en estado de reposo, la principal carga es el peso del robot que se descompone en dos magnitudes según los ejes coordenados. Se obtiene:

Tabla 47. Alternativas para solución a módulos

N°	MÓDULOS	SELECCIÓN
1	Tipo de motor	Motor DC con caja reductora
2	Software de programación	Sistema Operativo Robótico (ROS)
3	Hardware de control	Arduino
4	Teleoperación	Radiofrecuencia
5	Activación de motores	Integrado puente H
6	Energía	Batería
7	Material del Chasis	Acero

$$m \cdot g_x = m \cdot g \cdot \text{sen}(\theta) \quad (3-1)$$

$$m \cdot g_y = m \cdot g \cdot \text{cosn}(\theta) \quad (3-2)$$

Donde m es la masa de la plataforma, g_x y g_y son las componentes de la gravedad en los ejes x e y respectivamente.

Se tiene la fuerza de fricción de la rueda con la superficie. Tomando en cuenta que no será siempre una superficie plana sino superficies irregulares y con inclinaciones dependiendo el terreno por donde se traslade el robot móvil de exteriores. Y esta relación se expresa como:

$$f = \mu \cdot N \quad (3-3)$$

Donde f es la fuerza de rozamiento, μ es el coeficiente de rozamiento y N es la fuerza de reacción producida por la superficie de contacto. Esta fuerza de rozamiento debe ser vencida por el torque del motor para lograr moverse.

El parámetro de elección del motor están basados de acuerdo al torque. Logrando así de esta manera relacionar diferentes parámetros para obtener un valor de referencia necesario para cubrir nuestra necesidad.

La sumatoria de momentos respecto al centro de la rueda permite establecer la siguiente relación:

$$T = f \cdot R \quad (3-4)$$

Donde T es el torque del motor, f la fuerza de rozamiento y R es el radio de la rueda.

Para dimensionar el motor se debe simular un caso extremo. Por tanto se puede tener un estado estacionario de la rueda y pretender empezar el movimiento; físicamente, esto expresa tener una componente de aceleración a .

Con este razonamiento se puede igualar las fuerzas en el eje x . Obteniendo:

$$\sum F_x = m \cdot a = m \cdot g_x - f \quad (3-5)$$

Reemplazando las ecuaciones 3-1 y 3-4 se obtiene:

$$m \cdot a = m \cdot g \cdot \text{sen}(\theta) + \frac{T}{R} \quad (3-6)$$

Despejando de la ecuación 3-6, se obtiene:

$$T = [a + g \cdot \text{sen}(\theta)] \cdot m \cdot R \quad (3-7)$$

La ecuación 3-7 expresa el torque necesario para permitir que el robot móvil de exteriores venza una pendiente con una velocidad variable utilizando un solo motor. El requerimiento para el robot móvil es tener un motor por cada rueda. De esta forma la ecuación debería dividirse para cuatro para tener el valor mínimo de torque que se necesitaría en cada motor. Dando como resultado:

$$T_m = \frac{T}{4} = \left\{ \frac{[a + g \cdot \text{sen}(\theta)] \cdot m \cdot R}{4} \right\} \quad (3-8)$$

Finalmente, se debe considerar la eficiencia del motor y el factor de seguridad. Obteniendo de esta forma:

$$T_{fm} = f_s \cdot \left(\frac{100}{e} \right) \left\{ \frac{[a + g \cdot \text{sen}(\theta)] \cdot m \cdot R}{4} \right\} \quad (3-9)$$

Donde T_{fm} es el torque final del motor, f_s es el factor de seguridad y e es la eficiencia del motor.

Para obtener un valor numérico se utilizará los siguientes valores:

$$m_{m\acute{a}x} = 100K_g, R = 0,127m, \theta = 50^\circ, a = 0,02 \frac{m}{s^2}, e = 90\%, f_s = 2.$$

Reemplazando en la ecuación 3-9, se obtiene:

$$T_{fm} = 2 \cdot \left(\frac{100}{90}\right) \left\{ \frac{[0,02 + 9,8 \cdot \text{sen}(50^\circ)] \cdot 100 \cdot 127}{4} \right\} = 53,108 Nm \quad (3-10)$$

Como resultado de la ecuación 3-10 el torque que se requiere en cada motor para el desplazamiento de la plataforma robótica de exteriores es de $53,108 Nm$. Con este dato se procede a la elección del motor adecuado que cumpla con las características requeridas.

Al tener un torque alto como requerimiento se empieza por descartar los diferentes tipos de motores analizados anteriormente, hasta encontrar el adecuado. Logrando obtener que un motor a pasos no serviría en este caso ya que estos tienen un torque bajo y se requeriría de una caja de engranes externa para solventar el torque requerido, un servo motor DC tampoco sería el adecuado ya que este tipo tiene un mediano torque que no cumple con las necesidades requeridas y aun mas tomando en cuenta que este tipo de motor no puede cubrir un radio de giro de 360° . El ultimo tipo de motor analizado anteriormente es el motor DC con caja reductora, siendo este el que cumple con nuestros requerimientos. De esta forma se consigue seleccionar el motor de limpiaparabrisas el cual poseen caja reductora.

Específicamente se escogió cuatro motores de marca BOSCH CDP de 50W 0 390 242 400 (figura 23) el cual tiene las siguientes características, como se observa en la tabla 48.

Tabla 48. Características motor BOSCH CDP 50 W

Características	Magnitud (unidad)
Voltaje de operación	12 V
Corriente máxima	4 A
Potencia nominal	50 W
Torque	50 Nm
Protección IP	IP 44

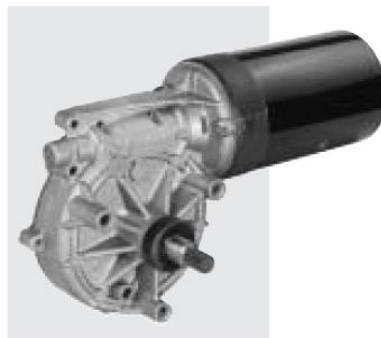


Figura 23. Motor BOSCH CDP 50 W

Fuente: (BOSCH, 2005)

De acuerdo a las características que presenta el motor expuesto se decidió que es el adecuado ya que cumple con el requerimiento de torque para la movilidad de nuestra plataforma, es decir que los 50Nm. Es un valor cercano al resultado de nuestro diseño.

Estos motores van a ser controlados de forma diferencial, brindando una gran movilidad y permitiendo que la plataforma gire hacia cualquier dirección sin grandes dificultades, dependiendo únicamente de las condiciones del suelo.

3.7.2 Módulo 2. Software de programación

Se parte de la necesidad de tener un HMI sencilla, pero con algunas características concretas como:

- Software libre
- Orientado hacia robótica

Como una de las características principales es ser orientado a robótica, es de primordial necesidad que se pueda acoplar a nuevos requerimientos tanto en la parte de software como en la de hardware. Teniendo así de esta manera que no solo se pueda operar desde la HMI, sino también desde un control físico externo.

Nuestro diseño en el módulo de Software de programación es orientado a dejar abierto camino a nuevos proyectos que se podrían acoplar tomando como punto de partido el robot móvil de exteriores. De esta forma se descartaría el software LAVIEW analizado anteriormente ya que este no cumple con la totalidad de los requerimientos planteados. Quedando de esta manera el software ROS (Robot Operating System) (figura 24) como el elegido para cubrir nuestras necesidades.

ROS es similar a otras plataformas de desarrollo para robots existentes en la actualidad, tiene la capacidad de comunicarse tanto con robots modernos, como con los ya existentes en el mercado, permite el uso de distintos lenguajes de programación. De forma oficial soportan Python, C++ y Lisp además de muchas otras como java, Lua, etc. ROS puede ser ejecutado sobre maquinas tipo Unix, principalmente Ubuntu y Mac OS X aunque por parte de la comunidad puede encontrarse soporte para otras plataformas como Fedora, Gentoo, etc. (Aldebaran, s.f.).

The logo for ROS (Robot Operating System) consists of a 3x3 grid of blue dots to the left of the letters "ROS" in a bold, blue, sans-serif font.

Figura 24. ROS (Robot Operating System)

Fuente: (ROS. org, 2015)

Para el proyecto ROS es ejecutado en maquina con sistema operativo Ubuntu 12.04, tomando en cuenta que el sistema operativo para ejecutar el software debe estar instalado en el disco duro o en una partición del disco de la máquina, si se tiene instalado otro sistema operativo (WINDOWS), y

no en máquina virtual ya que es un requerimiento para su óptimo funcionamiento.

3.7.3 Módulo 3. Hardware de control

Se parte de las diferentes necesidades que se deberían controlar con el hardware, las mismas que serían las siguientes:

- Comunicación serial
- Control de PWM
- I/O digitales
- Velocidad de procesamiento superior a 4 KB en memoria RAM
- Compatible con Shields (módulos externos)

Partiendo de estas necesidades comparamos las características de los diferentes hardware de control expuestos anteriormente y vamos seleccionando cual sería el que cubre nuestras necesidades.

El hardware de control Pc-duino, cumple con los requerimientos de comunicación serial, control PWM, I/O digitales y una velocidad de procesamiento superior a 4 KB, no cubre su total compatibilidad con shields, y además este hardware es capaz de cargar sistemas operativos para su programación, lo cual es un sobredimensionamiento para nuestras necesidades, desperdiciando sus características y no pudiéndolas aprovechar al máximo ya que nosotros no necesitamos tener un sistema operativo dentro de nuestro hardware de control.

Raspberry es de igual manera un hardware de control que cumple con los requerimientos de comunicación serial, control PWM, I/O digitales y una velocidad de procesamiento superior a 4 KB, y además es compatible con diferentes shields, a estos requerimientos se añade el soporte de un sistema operativo para su programación y control lo cual de igual manera que el Pc-duino sería un sobredimensionamiento ya que por las razones antes expuestas no necesitamos tener sistemas operativos en nuestro hardware de control, con el tener un software de programación externo compatible y

ejecutable en un ordenador es más que suficiente para nuestras necesidades.

Quedando como hardware de control el sistema embebido Arduino (figura 25), el cual cumple con todos los requerimientos expuestos, y además tiene un software de programación ejecutable en cualquier ordenador no importando el tipo de sistema operativo, y siendo un software de programación libre, a continuación se expone una tabla con las características principales que tiene el Arduino, (tabla 49):



Figura 25. Arduino Mega Fuente: (ARDUINO, 2015)

Tabla 49. Arduino Mega

Características	Magnitud (unidad)
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de entrada	7-12 V
Pines digitales I/O	54
Pines análogos	16
Corriente en puestos de I/O	20 mA
Peso	37 g

Fuente: (ARDUINO, 2015)

3.7.4 Módulo 4. Teleoperación

Este punto es de gran importancia ya que de ello depende la comunicación y por ende el control a larga distancia que se tendrá sobre

nuestro robot móvil de exteriores, para lo cual se tomara en cuenta varios factores que determinan la adecuada y rápida transmisión de datos.

- Alcance mínimo de 80 m.
- Señal robusta ante interferencias
- Comunicación punto a punto

Tomando en cuenta estos requerimientos comparamos y analizamos los diferentes tipos de soluciones que podríamos tener para solventar la etapa de teleoperación, empezaremos con la comunicación Bluetooth, esta comunicación nos brinda un alcance de hasta 100 m., pero el problema es que la señal que emite es fácilmente vulnerable, esto quiere decir que si existe interferencias por parte de otras señales que no sea a la cual estamos unidos tendríamos problemas de comunicación y esto retrasaría el proceso y podría llegar a colapsar, por lo tanto este tipo de comunicación no es usada en nuestro robot móvil de exteriores ya que este estará expuesto a transitar en lugar por donde existen otro tipo de señales y esto llevaría a tener problemas para nuestro control.

La comunicación WLAN cubre con el alcance planteado, además es una señal robusta a interferencias pero el inconveniente sería que necesitamos de repetidoras para crear un circuito cerrado de teleoperación, siendo este el motivo de desechar este tipo de comunicación a pesar de que cumple con los requerimientos establecidos.

Quedando como solución a nuestro diseño la comunicación por radiofrecuencia, esta cumple con los requerimientos establecidos tanto de alcance, robustez ante interferencias y comunicación punto a punto. Para poder usar este tipo de comunicación se usó módulos de radiofrecuencia XBEE PRO serie uno (figura 26), el mismo que tiene una banda de frecuencia de 2.4 GHz, basado en comunicación zigbee, este tipo de dispositivo es capaz de crear una red estable punto a punto para lo cual en nuestro caso se usó dos módulos uno como emisor y otro como receptor, por medio de la configuración de algunos de sus parámetros, los mismos que se logran modificar con la ayuda del software x-ctu el cual es el

programador de estos módulos y en el que se puede realizar las diferentes configuración para su comunicación (tabla 50).

Tabla 50. Configuración para módulos emisor – receptor

	Xbee - emisor	Xbee - receptor
PAN ID:	1603	1603
DH	0	0
DL	1	0
MY	0	1

A continuación se presenta detalles técnicos del módulo Xbee (tabla 51).

Tabla 51. XBEE Pro serie 1

Características	Magnitud (unidad)
Voltaje de operación	3,3 V
Corriente de trabajo	215 mA
Rango	1500 m
Pines digitales I/O	8
Encriptación	128 bit
Peso	37 g

Fuente: (XBee.cl, 2015)



Figura 26. XBEE pro serie 1

Fuente: (XBee.cl, 2015)

3.7.5 Módulo 5. Activación de motores

Este módulo contiene todo lo referente en cuanto al manejo de los motores, y es de vital importancia ya que al ser motores con un gran torque se tendrá corrientes superiores a los 10 A y para la cual se debe tener bien

dimensionado los integrados o módulos que controlaran esta etapa. Para lo que se parte de las siguientes especificaciones:

- Corrientes de operación superior a 10 A.
- Voltaje de operación 12 V.
- Inversión de giro en motores

En cuanto a cumplir con estos parámetros las opciones se centran en el uso de integrados puente H, teniendo en cuenta que todos son iguales se optó por usar un módulo que contenga estos integrados para de alguna manera facilitar el control en cuanto activación de los motores, teniendo así como solución el driver monster motor shields que contiene integrados VNH2SP30 (figura 27), teniendo como característica adicional que este nos permite un control de PWM para cada salida de los motores a controlar.



Figura 27. Driver VNH2SP30

(Ebay, 2015)

Para controlar el movimiento de la plataforma robótica se colocó dos motores en paralelo y estos en los bornes de control del driver, lo cual permite controlar la movilidad de cada lado del robot. Consiguiendo así que la plataforma gire en su propio sitio. Las características del shield Monster Driver se expresan en la tabla 52.

Tabla 52. VNH2SP30

Características	Magnitud (unidad)
Voltaje máximo	16 V
Corriente de trabajo	30 A
PWM	20 KHz

Fuente: (STripFET, 2015)

3.7.6 Módulo 6. Energía

La alternativa de diseño seleccionada indica que la mejor solución para el módulo de energía es la utilización de baterías.

Conforme al consumo energético de los motores se tiene que cada uno de ellos tienen un consumo de corriente de 3 a 4 A. Por lo tanto al tener una disposición de cuatro motores, el consumo total es de 16 A.

La capacidad de una batería está determinada por la intensidad de corriente capaz de suministrar en un tiempo establecido, conforme a la necesidad de tener una autonomía energética moderada en la plataforma robótica, se escogió una batería que brinda una capacidad energética de 24 Ah (figura 28). Con respecto al voltaje nominal, es una batería de 12 V, que es el voltaje requerido para el manejo de los motores. Por tanto en el mercado se ha conseguido la batería cumple estas características.

Para los circuitos de control (figura 29) se ha optado por baterías de menor capacidad energética, ya que estos circuitos y la cámara de video trabajan a 5 V. Evitando construir circuitos de acople entre la batería de 12v y los circuitos mencionados.

Cabe recalcar que todas las baterías usadas son recargables, brindando una vida útil muy alto.



Figura 28. Bateria de 12V - 24Ah

Fuente: (Place, 2015)

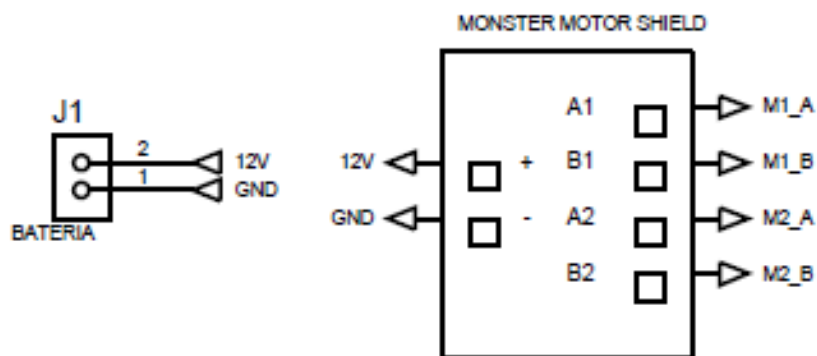


Figura 29. Conexión batería módulo monster motor shield

3.7.7 Módulo 7. Material del chasis

El chasis para tener gran robustez y permitir soportar el montaje de todos los elementos se lo construyó en tubo cuadrado de acero ASTM A36. Como se muestra en la (figura 30) del modelo CAD. Y los planos a detalle de cada parte de la estructura se encuentran en anexo A2.

La manufactura de la plataforma robótica de exteriores implica principalmente instalar los cuatro motores, los ejes de transmisión hacia los neumáticos. Tratando de que estos acoples tengan la mayor precisión para evitar deslizamientos de la plataforma y pérdidas de potencia. La cobertura de la plataforma se realizó en tool de 0,75mm para dar rigidez y permitir

anclar los componentes internos de control y energéticos. Para mayor detalle de los componentes instalados se los observa en la figura 20 y la tabla 52.

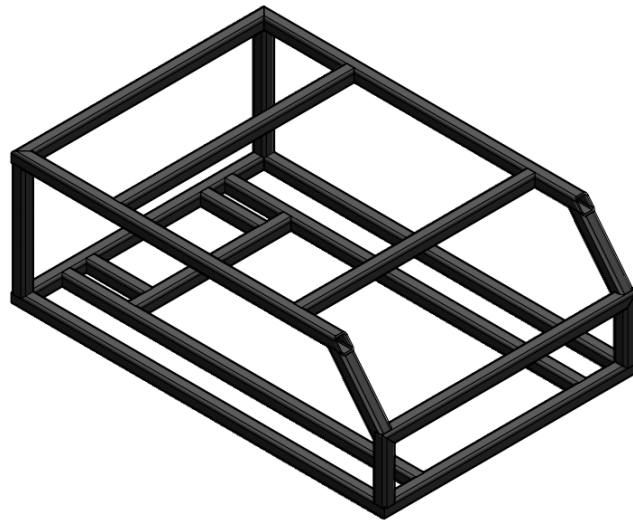


Figura 30. Modelo CAD chasis plataforma robótica de exteriores

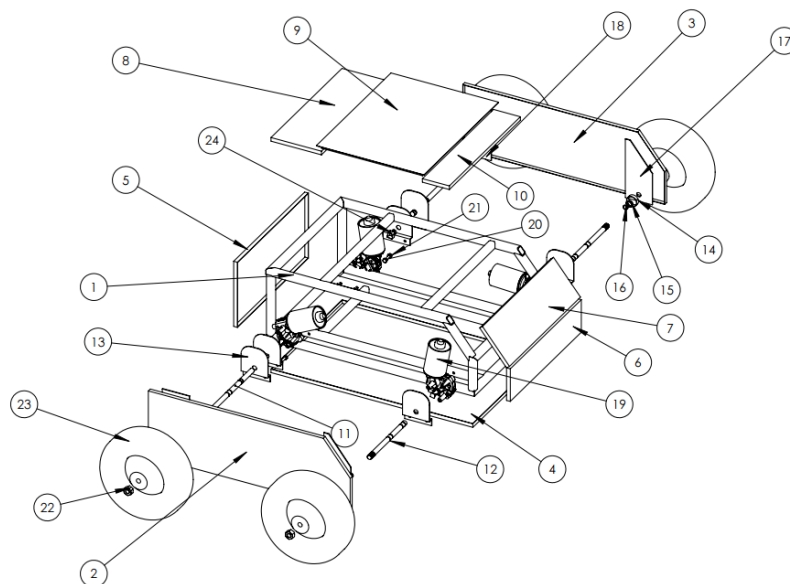


Figura 31. Componentes para la plataforma robótica de exteriores

Tabla 53. Componentes plataforma robótica de exteriores

Número	Descripción del componente
1	Estructura – Chasis
2	Tapa lateral derecha
3	Tapa lateral izquierda
4	Tapa inferior
5	Tapa posterior
6	Tapa frontal 1
7	Tapa frontal 2
8	Tapa superior 1
9	Tapa superior 2
10	Tapa superior 3
11	Eje posterior
12	Eje frontal
13	Soporte eje – motor
14	Base de rodamiento
15	Rodamiento
16	Anillo de retención
17	Soporte eje frontal
18	Soporte eje posterior
19	Motor
20	Perno M6X1
21	Tuerca M6
22	Tuerca M12
23	Llanta rin 10
24	Acople eje - motor

3.7.7.1 Análisis estático de la estructura

Para el análisis de la estructura se usó software de simulación solidworks teniendo como resultados los siguiente.

Tomando como partida una fuerza de 100 kg. La cual sería la aplicada de forma vertical sobre la estructura, la misma que se encuentra

representada por las flechas azules en la (figura 32), las cuales representarían los esfuerzos que soportaría la estructura al estar la en movimiento, con todos los componentes ya ensamblado y llevando una carga de aproximadamente 70 kg la cual fue tomada como referencia y partiendo de que nuestra estructura tiene un peso aproximado de 30 Kg.

Teniendo como resultado en la (figura 33), las deformaciones que llegaría a tener en caso de producirse una falla por este tipo de esfuerzo que va a soportar, observando que la deformación en la parte más crítica es mínima y no sobrepasa el limite elástico del material.

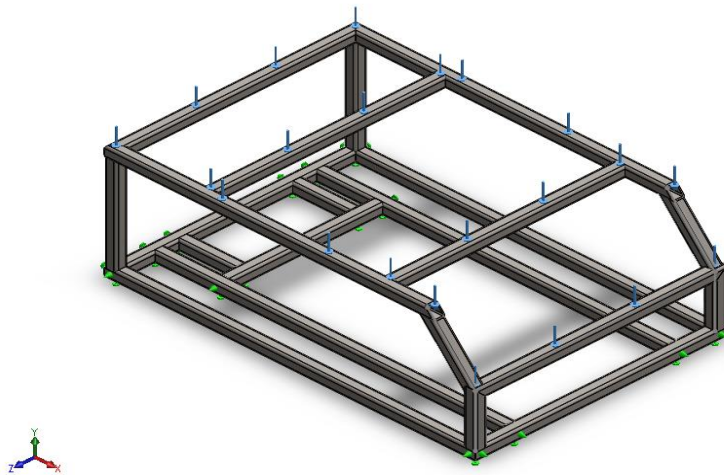


Figura 32. Distribución de fuerzas en la estructura

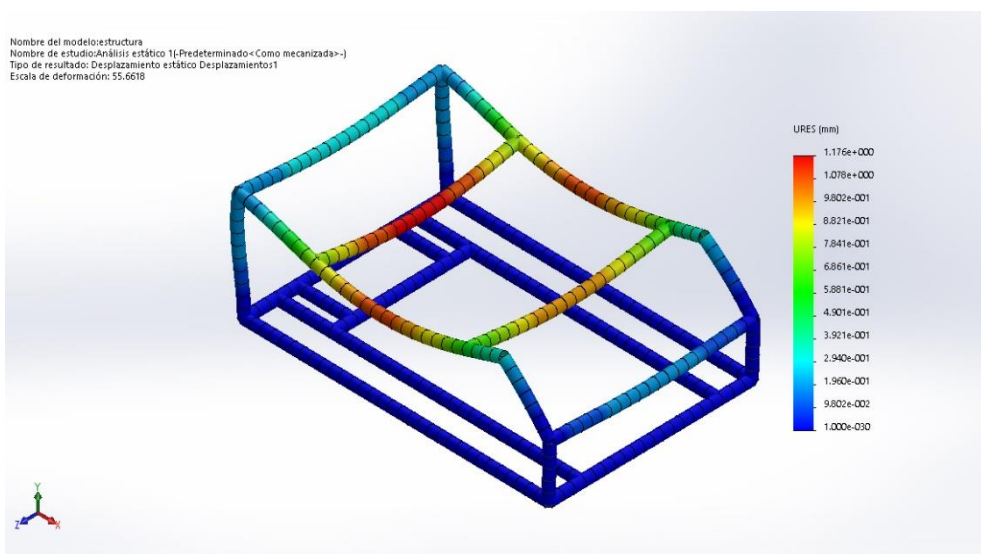


Figura 33. Resultado de simulación

3.8 Resumen

- La utilización de la Función de desarrollo de calidad o QFD permite diseñar o rediseñar productos, con dos objetivos fundamentales: 1) asegurar que el producto va a responder a las necesidades y expectativas de los clientes, y 2) acortar el periodo de tiempo que va desde la concepción del producto hasta su lanzamiento.
- Al momento de implementar la función de desarrollo de calidad, se tiene beneficios como: Facilita la creación de una base de datos para futuros diseños, proporciona una sistemática ordenada y eficaz en el desarrollo de nuevos productos, reduce el tiempo de lanzamiento, reduce los costes de calidad, mayor satisfacción del cliente
- Para comenzar el despliegue de la función de calidad (QFD), es necesario plantear los requerimientos, los cuales son aspectos que se consideran necesidades para el cumplimiento de un objetivo, en este caso cubrir las necesidades en la plataforma robótica. Como por ejemplo: chasis fuerte y robusto, control de movimiento, fuente energética adecuada y duradera, gran potencia en tracción, monitoreo en tiempo real.
- Una vez planteado los requerimientos que tendrá la plataforma robótica de exteriores, se define los requisitos técnicos que cubrirán las necesidades de estos requerimientos.
- Ya establecidos los requerimientos y las características técnicas que cubren las necesidad de los requerimientos, se realiza la matriz QFD donde relaciona los dos aspectos mencionados con rangos de ponderación. Dando como resultado el porcentaje de relevancia de cada característica técnica, obteniendo así como las más importantes: motores de alto torque con 10,5%, controladora de motores con 9,7%, transmisión en tiempo real del entorno con 9,1% y sistema de radiofrecuencia con 8,9%.
- Al obtener los resultados de la matriz QFD, se los debe englobar en módulos y formar una estructura funcional, la cual ayuda a dar cumplimiento con las necesidades de la plataforma robótica en forma

ordenada. Para este proyecto se establecieron los módulos de: 1) potencia, 2) control de plataforma , 3) adquisición y control de módulos, 4) navegación, 5) dirección, 6) energía, 7) chasis.

- Con el uso del método ordinal corregido de criterio ponderado se generan soluciones para los módulos establecidos anteriormente. Por tanto las soluciones adecuadas son: 1) potencia - Motor DC 12V con caja reductora, 2) control de plataforma - Sistema Operativo Robótico (ROS), 3) adquisición y control de módulos – Sistema embebido Arduino, 4) navegación – Teleoperación mediante radiofrecuencia, 5) dirección – Control mediante integrado puente H para desplazamiento diferencial, 6) energía – Batería seca de 12V – 24Ah, 7) chasis – Robusto y resistente con acero ASTM A36.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS

En el capítulo se detalla el proceso de construcción de todos los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos que conforman la plataforma robótica de exteriores. Así como también, el resultado de las pruebas realizadas para corroborar el funcionamiento del mismo.

4.1 Construcción de plataforma robótica.

Para la construcción de la plataforma robótica se siguió una serie de pasos, comenzando por la construcción del chasis donde se va a colocar todas las partes subsiguientes. Una vez concluida la parte mecánica, se procede a instalar los componentes eléctricos y electrónicos, los cuales mediante programación realizarán el control deseado sobre la plataforma robótica. Cada uno de estos pasos se detalla a continuación.

4.1.1 Construcción del chasis

La construcción del chasis es el primer paso de construcción y el más importante, ya que en él se apoyarán todos los demás componentes. El chasis fue construido con tubo cuadrado ASTM A36 de 20x20x1.5 mm, siguiendo los planos de manufactura se procede a realizar el corte de todos los tubos según largo y ángulo de terminación, se formó la estructura según el modelo CAD y todas las uniones fueron soldadas con electrodo E6011. Consiguiendo de esta forma rigidizar la estructura y formar una sola estructura capaz de soportar peso adicional a la plataforma misma como se puede observar en la figura 31.

4.1.2 Fabricación de ejes

Los ejes fueron torneados para conseguir un acople adecuado entre el motor y los neumáticos, existe dos pares de ejes que dependen de la ubicación en el chasis; los delanteros son más cortos por cuanto la distancia de acople motor neumático es más corta que la posterior de la plataforma. Los ejes tienen secciones para permitir su sujeción mediante rodamientos, además de cejas en los cuales se coloca binchas para impedir que no se

deslice. Fueron construidos en acero AISI 1058. Los ejes se los puede apreciar en la figura 32.



Figura 34. Chasis para plataforma robótica de exteriores



Figura 35. Juego de ejes - acople motor neumático

4.1.3 Instalación componentes para sujeción de ejes

Para poder sujetar los ejes y permitir que giren libremente, se hizo uso de rodamientos, los mismos que fueron sujetos mediante un bocín soldado a placas de un acero ASTM A36 de 2mm de espesor, colocadas en cada esquina del chasis, como se puede apreciar en la figura 33. Estos bocines permiten acoplarse hacia los neumáticos ya que son los más externos en el chasis.

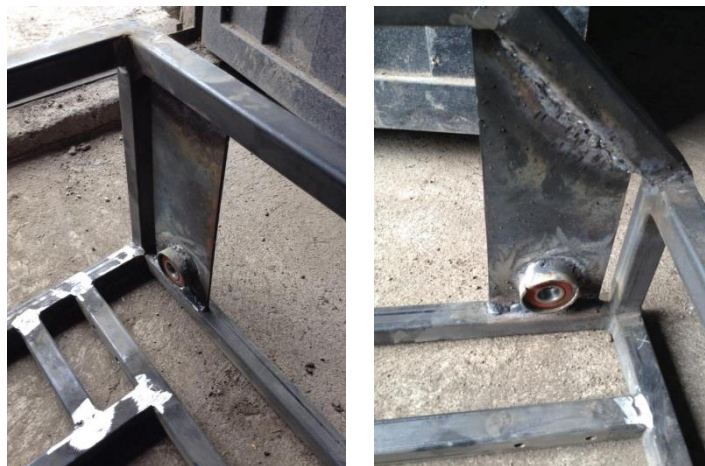
Además se construyó cuatro soportes más con el mismo principio para el acople hacia los motores (figura 34), los cuales se sujetaron en tubos transversales del chasis.

4.1.4 Instalación de motores

Una vez fabricados los ejes y acoplados los bocines para la sujeción, se procedió a insertar los ejes en los rodamientos e impedir su deslizamiento colocando binchas de sujeción a los extremos de cada rodamiento. Para el acople mecánico de los motores hacia los ejes, se fabricó una pieza capaz de acoplarse a los terminales del eje de cada motor (figura 35), la cual tiene en un extremo un tubo cuadrado y por soldadura unido a uno redondo, que mediante un pasador transmitir el movimiento a los ejes.



Figura 36. Bocines para acople hacia los motores



a)

b)

Figura 37. Bocín para sujeción de eje. a) Bocín posterior izquierdo b) Bocín delantero izquierdo



Figura 38. Acople para transmisión motor – eje



Figura 39. Sistema de transmisión con acople a motores

Fabricadas las cuatro piezas de acople se unen todos los elementos de transmisión como se observa en la figura 36.

4.1.5 Acople de neumáticos

Los neumáticos se acoplaron a los ejes de transmisión mediante pasadores colocados en las terminaciones de cada rueda (figura 37), además para impedir su deslizamiento hacia afuera se colocó tuercas enroscadas en la parte final de cada eje.



Figura 40. Acople para neumático

4.1.6 Recubrimiento del chasis

La cobertura de la plataforma se realizó utilizando planchas laminadas en frío ASTM A366, de un espesor de 0.75 mm. Estas se fabricaron siguiendo los planos de manufactura y dobladas según las medidas correspondientes. Fueron ancladas al chasis mediante pernos y posterior a ello se coló una pintura base para la protección a la corrosión (figura 38). La cobertura inferior tiene la facilidad de ser desensamblada para poder ingresar y manipular los motores o los componentes mecánicos dentro de la plataforma. La cobertura superior se la coloca y desmonta sin necesidad de bisagras o binchas, posee un sello magnético para mejorar su sujeción.



Figura 41. Recubrimiento de chasis

Para estetizar la estructura y adicionar protección al ambiente se colocó pintura anticorrosiva de tonalidad azul (figura 39).



Figura 42. Cobertura de pintura

4.1.7 Instalación de circuitos de control

Los circuitos de control (Arduino, Shield puente H, Módulo XBEE) fueron montados sobre un soporte rectangular, el cual se manufacturó en acrílico.

En él se realizaron perforaciones para colocar postes de baquelita, donde se montaron y aseguraron todos los circuitos de control. Evitando de esta forma que sean afectados por vibraciones o movimientos bruscos de la plataforma.

Además este soporte se lo introduce en una caja fabricada a su tamaño, mediante canaletas se asegura y facilita el desmontaje de la tarjeta. La caja brinda una protección extra a factores ambientales, como se observa en la figura 40.

4.1.8 Instalación de cámara para percepción del entorno

La percepción del entorno es un factor muy importante para poder realizar la teleoperación desde una cabina de mando. La plataforma robótica al ser operada por terreno no estructurado, es decir no se tiene conocimiento cierto de lo que puede encontrar a su paso; cuenta con una cámara de video que brinda toda la información de lo que le rodea. La cámara tiene la facilidad de rotar 350° de izquierda a derecha y 180° de arriba abajo, con lo que se puede enfocar la visión hacia cualquier punto deseado. Además cuenta con visión nocturna facilitando su operación en lugares carentes de iluminación.

La cámara de video fue colocada en la parte delantera de la plataforma, para evidenciar los obstáculos de forma rápida (figura 41). Para la comunicación de la cámara se hace uso de un router, el cual emite una señal wifi que es la tecnología que usa para emitir y recibir información.

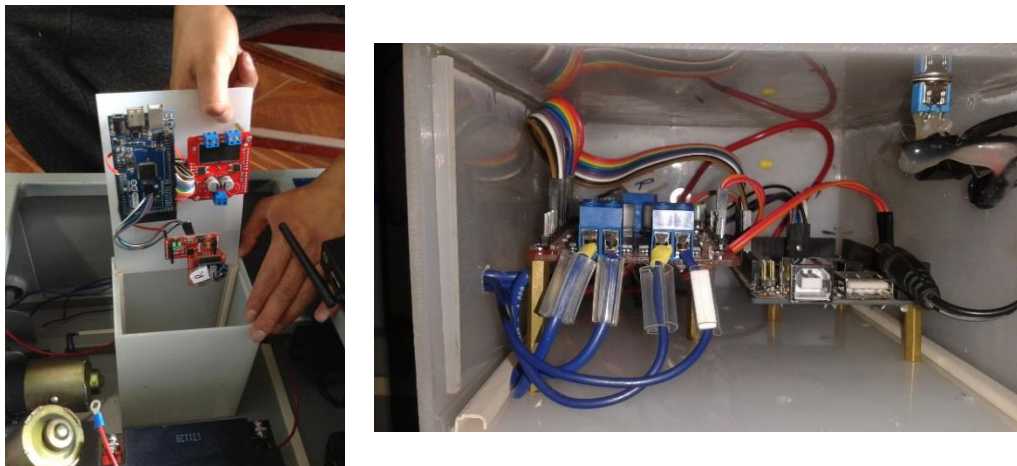


Figura 43. Circuitos de control y cobertura



Figura 44. Instalación de cámara de video

4.1.9 Suministro energético

La batería que alimenta el circuito de potencia y control de motores se localiza en la parte central derecha de la plataforma robótica, consiguiendo con ello distribuir el peso de forma uniforme. La batería tiene sujeción mediante correas metálicas hacia el chasis de la plataforma, ya que es la estructura más resistente para soportarla (figura 42). Con la carga completa de la batería la plataforma robótica tiene una autonomía de dos y media horas, esto dependiendo del requerimiento de los motores ya que en superficies con mayor fricción necesitará mayor energía (corriente) para poder romper la inercia y moverse; por tanto la batería tendrá menor durabilidad.



Figura 45. Ubicación y anclaje de batería

4.1.10 Cableado

El cableado es muy importante para identificar cada cable, saber en dónde debe ser colocado y no cometer errores en la conexión, evitando inutilizar cualquier circuito ya que puede darse confusiones entre la parte de control y la de potencia. El cableado de la plataforma robótica está dirigido por canaletas con recubrimiento evitando el movimiento de los cables, cada cable tiene etiquetas con nombres además de utilizar los terminales adecuados para cable AWG 18. Tiene codificación de colores por ejemplo, negro para el terminal negativo de la batería y rojo para el terminal positivo.

4.1.11 Instalación protecciones de seguridad

La protección contra cualquier incidente es una prioridad para evitar accidentes y afectar la integridad de una persona. La segunda prioridad es evitar daños en la plataforma robótica, que pueden producirse por un manejo inadecuado de la plataforma o un descontrol de la misma. Por esos motivos se ha colocado un botón de paro de emergencia y switch de encendido utilizable únicamente mediante una llave (figura 43).



Figura 46. Paro de emergencia y switch de encendido

4.2 Pruebas y funcionamiento

Las pruebas de la plataforma robótica para exteriores, se llevaron a cabo una vez concluida su construcción física y control de teleoperación, para poder evaluar su funcionamiento en diversas situaciones. Por ello se plateo como primera prueba la conductividad de la plataforma en línea recta, segundo el control para realizar giros, tercero se realizó pruebas para

superar pendientes, cuarto desempeño en diversas superficies y por último el alcance en distancia de teleoperación.

4.2.1 Primera evaluación

La primera evaluación se la realizó el momento de tener acoplado el sistema de transmisión junto a los motores y el control por teleoperación. El objetivo de la prueba es verificar si la plataforma robótica avanza en línea recta sin tener desviaciones, para evitar que la plataforma tenga problemas de desplazamiento.

4.2.1.1 Resultados

La evaluación de la primera prueba muestra que existe una ligera desviación hacia la derecha, provocando que la plataforma no siga una trayectoria recta. Al ser un complemento mecánico se procedió a desensamblar los ejes de transmisión junto a los acoples de sujeción que albergaban a los rodamientos. Encontrando como problema que el eje estaba desalineado, es decir los componentes de sujeción no se encontraban alineados y no posicionaban al eje en forma perpendicular al chasis; provocando que el neumático tenga una inclinación hacia la derecha y el momento de desplazar la plataforma hacia adelante se evidencie la desviación.

La corrección del problema es realizar mediciones y acoplar los componentes de sujeción de forma alineada, evitando que el neumático tenga una inclinación y altere la trayectoria de la plataforma.

4.2.2 Segunda evaluación

La segunda evaluación tiene como objetivo establecer la mejor combinación en la activación de cada motor para lograr que la plataforma gire adecuadamente. Debido a que la plataforma robótica no tiene dirección mecánica que facilite la orientación, se debe trabajar con el control de sentido de giro de cada motor.

4.2.2.1 Resultados

La primera prueba fue truncar (detener el movimiento) de los motores laterales; es decir si se desea curvar hacia la derecha, los motores laterales derechos deben detenerse, permitiendo que solo los motores laterales izquierdos realicen el movimiento y generen el giro a la derecha.

En esta prueba se detectó que los motores que realizaban el movimiento y permitían el giro, efectuaban demasiado esfuerzo, produciendo que se recalienten y con la posibilidad de quemar el bobinado interno. El movimiento se lograba de forma lenta y con gran dificultad, por lo que fue descartada esta posibilidad.

La segunda prueba es ejercer tracción en los motores laterales en sentido contrario a los opuestos. En esta prueba el giro se dio de forma adecuada y rápida, además de presentar como ventaja que la plataforma robótica gire en su propia posición.

Concluyendo la segunda evaluación se optó por la prueba número dos: por ser más rápida, permitir el giro en la misma posición y no producir recalentamiento en los motores.

4.2.3 Tercera evaluación

La presencia de terreno inclinado es un gran impedimento a superar, dependiendo el grado de la pendiente la dificultad será diferente. Por tanto la tercera evaluación tiene como objetivo verificar si la plataforma puede superar la inclinación planteada en el diseño del proyecto, que es de 40°.

4.2.3.1 Resultados

Las pruebas para la superación de pendientes, se las realizó en diferentes terrenos y a diferentes inclinaciones. Obteniendo como resultados que la plataforma robótica cumple el grado de inclinación deseado únicamente en un terreno donde los neumáticos tengan la mayor adherencia, este resultado se dio en superficie de concreto. Además se obtuvo que en superficies con vegetación específicamente césped, no se

logra superar pendientes mayores a los 20°; debido a que los neumáticos se deslizan y no consiguen la adherencia deseada.

4.2.4 Cuarta evaluación

En la cuarta evaluación se tiene como objetivo encontrar las superficies adecuadas e inadecuadas para la conducción. Consiguiendo con ello identificar cuál es la más óptima para que la plataforma robótica desempeñe una mejor movilidad.

4.2.4.1 Resultados

Se procedió a realizar pruebas en cuatro superficies diferentes: concreto, asfalto, tierra y césped. Alcanzando como resultados que las superficies con mejores prestaciones de movilidad son las tres primeras planteadas (concreto, asfalto y tierra), en ellas se encuentran beneficios de mejor adherencia y mayor tracción. Permitiendo que los motores trabajen sin presentar mayor esfuerzo, además brinda la ventaja que el suministro energético sea más duradero ya que los motores no consumen elevadas corrientes.

La superficie con menores prestaciones para movilidad es la de césped, por cuanto los neumáticos no tienen tracción sobre vegetación, provocando pequeños deslizamientos que impiden una apropiada movilidad y manejo de la plataforma.

4.2.5 Quinta evaluación

La quinta evaluación tiene como objetivo encontrar el alcance máximo en distancia para la teleoperación. Según los rangos de alcance de los módulos de radiofrecuencia XBEE pro serie 1, se tiene un alcance de hasta 1500m en línea de vista, sin interrupciones; la cámara de video tiene el alcance brindado por la señal wifi emitida por el router, la cual es de 300m de igual manera con línea de vista.

4.2.5.1 Resultados

Para resolver la problemática de alcance en teleoperación, se sometió a pruebas en diferentes entornos, en primer lugar dentro de edificaciones con

una moderada interrupción de paredes y objetos. Se obtuvo como resultado que la señal de radiofrecuencia de los módulos XBEE tiene un alcance de 200m, pero la señal wifi es más limitada, las ondas emitidas por el router tiene mayor dificultad para atravesar paredes y brindan solo un alcance de 70m.

La segunda prueba se la realizo en campo abierto, obteniendo que los módulos XBEE tiene un alcance de 400 a 500m y para la video cámara es de 90 a 110m. Dándose estos resultados debido a interferencias por árboles o vegetación, objetos metálicos (automóviles) que provocan el rebote de la señal y finalmente la interferencia de otras señales que se encuentran en el ambiente como celulares, equipos de radiofrecuencia (radios) o incluso redes LAN.

4.3 Resumen

- La construcción de la plataforma robótica para exteriores se desarrolló en varias etapas. Primero se construyó el chasis donde se incorporarán el resto de elementos. Segundo se instalaron los circuitos eléctricos y electrónicos que permiten el control por teleoperación de la plataforma. Y por último elementos de seguridad y recubrimientos para garantizar el funcionamiento en exteriores.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el capítulo se expone las conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir de la culminación del proyecto. Además se plantea las posibles investigaciones que se pueden realizar a futuro, generadas por diferentes necesidades que se las han encontrado a lo largo de la elaboración del trabajo.

5.1 Conclusiones

- Se diseñó y construyó exitosamente una plataforma robótica para exteriores teleoperada, con características de gran movilidad y desplazamiento. La plataforma es capaz de superar obstáculos de hasta 12cm debido al diámetro de los neumáticos, subir pendientes con un grado de inclinación de 40°, tener una autonomía energética de hasta 2,5 horas, capacidad de soportar peso extra de 40Kg por tiempo prolongado, en teleoperación se consiguió un alcance de 100m sin mayores dificultades. Finalmente la plataforma es resistenten a polvo y lluvia moderada logrando la capacidad de trabajar adecuadamente en exteriores.
- Se diseñó y construyó una estructura metálica en tubo cuadrado de 20x20x1,5 mm ASTM A36, en ella se acopló cuatro ejes de transmisión manufacturado en acero ASI 1045, los cuales son sujetos al chasis mediante bocines y rodamientos. La potencia de la plataforma se da gracias a cuatro motores de 12V y 50W de potencia con caja reductora de limpiaparabrisas que producen un movimiento diferencial. El recubrimiento para el chasis se elaboró en plancha lamada en frío ASTM A366 de un espesor de 0,75 mm, consiguiendo rigidez y protección al ambiente.
- Se logró implementar el sistema electrónico, diseñando y empleando primero un módulo de recepción con los siguientes elementos: 1) Arduino Mega – Microcontrolador para procesar líneas de código, 2)

Shield Monster Driver – Puente H de potencia con capacidad de controlar dos motores mediante modulación de PWM, 3) Módulo XBEE – Receptor de señal RF para mando a distancia. Segundo un módulo de emisión para manejo de la plataforma robótica, con los siguientes elementos: 1) Arduino Mega – Microcontrolador para procesar líneas de código, 2) Módulo XBEE – Emisor de señal RF, 3) Joystick - Control de movimientos para plataforma robótica. Además cada módulo electrónico utiliza software de programación libre, facilitando el uso de cada uno.

- Se realizó con gran éxito el sistema de teleoperación mediante comunicación de radiofrecuencia, construyendo un módulo emisor y uno receptor. Al módulo emisor se implementó un nodo de control usando el sistema operativo robótico (ROS) que ejecuta una HMI programada en Python.
- Mediante pruebas se logró efectuar la combinación adecuada para la activación de cada motor y permitir que la plataforma gire adecuadamente, encontrando que el movimiento diferencial es el más adecuado. Es decir la tracción se debe ejercer en sentido contrario, los motores laterales derechos deben girar opuesto a los laterales izquierdo, consiguiendo un giro rápido, giro en la misma posición y no existe recalentamiento en los motores.
- El sistema de teleoperación obtuvo como resultados: dentro de edificaciones con moderada interrupción de paredes y objetos. Un alcance de 130m para radiofrecuencia, pero la señal wifi un alcance de 50m. En prueba a campo abierto, los módulos XBEE tiene un alcance de 400 a 500m y para la video cámara es de 90 a 110m. Teniendo interferencias por vegetación, objetos metálicos (automóviles), señales de celulares, equipos de radiofrecuencia o incluso redes LAN.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda para la construcción de la plataforma robótica seguir los planos de manufactura adecuadamente, realizando cortes, perforaciones, soldaduras de forma correcta. Consiguiendo como resultado ensamblar cada pieza sin dificultad y estar dentro de los márgenes de tolerancia.
- Al observar el resultado de las evaluaciones efectuadas a la plataforma, se encontró que el terreno idóneo para desempeñarse mejor es el concreto y superficies de tierra, pero tiene debilidad en terrenos con vegetación (césped); por tanto no se recomienda ingresar a este tipo de terrenos si la plataforma tiene problemas de adherencia a la superficie.
- La plataforma robótica al tener la capacidad de soportar carga extra, plantea la posibilidad de incorporar nuevos proyectos para cubrir necesidades en exteriores; pudiendo integrarse sistemas de: odometría, autonomía para realizar trayectorias, mapeo de zonas exteriores, detección de objetos explosivos o peligros para los seres humanos, y un sinnúmero de aplicaciones más.
- Al tener la posibilidad de que la plataforma sea desarmable en su totalidad, se recomienda realizar mantenimiento periódico tanto en los componentes mecánicos y revisión de las conexiones dentro del sistema eléctrico y electrónico.
- Un proyecto a futuro sería la ampliación del sistema de teleoperación, brindando un mayor alcance tanto para la señal de radiofrecuencia como para la emisión de imágenes de la cámara de video. Una posibilidad puede ser realizar puntos de repetición que cubran el área donde se desplazará la plataforma robótica.
- Se recomienda para prototipos futuros, diseñar una suspensión que permita a la plataforma moverse de mejor manera sobre superficies a desnivel, sin perder adherencia. Además se recomienda integrar un sistema de ubicación geográfica para poder ubicar o desplazar a la plataforma en cualquier lugar.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldebaran. (s.f.). <https://www.aldebaran.com/en>.
- ARDUINO. (2015). *ARDUINO MEGA*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- Barrientos, A. (1997). *Fundamentos de Robótica*. Madrid: McGRAW-HILL.
- Baturone, A. O. (2001). En A. O. Baturone, *Robótica Manipuladores y robots móviles*. España: MARCOMBO, S.A.
- BOSCH. (2005). *Catálogo de motores eléctricos* . Obtenido de <http://www.bosch.com.br/br/negociosindustriais/produtos/peqPorte/pg/pdf/catalogomt.pdf>
- Bräunl, T. (2006). *Embedded Robotics, Mobile Robot Design and Applications with Embebbed Systems*. Springer.
- Carnegie Mellon University. (1994). *The Robotics Institute - Dante II*. Obtenido de https://www.ri.cmu.edu/research_project_detail.html?project_id=163&menu_id=261
- Cepeda, D. P. (2014). *Diseño y construcción de un robot todo terreno utilizando el sistema ROCKER-BOGIE y teleoperado inalámbricamente para el laboratorio de robótica de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE*. Sangolquí. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8169>
- Competition, V. R. (2015). *Vex Robotics Competition*. Obtenido de <http://www.vexrobotics.com.mx/vex/Producto/mecanum.html>
- Conti, F. (2014). *Motores paso a paso*. Librería y editorial Alsina.
- DIARIAMOTOR Freire, J. (13 de Febrero de 2007). *DIARIAMOTOR*. Obtenido de <http://www.diariomotor.com/2007/02/13/traccion-delantera-o-propulsion-trasera-%C2%BFque-preferes/>

- Dynamics, B. (2015). *Cheetah - Wildcat*. Obtenido de http://www.bostondynamics.com/robot_cheetah.html
- Eidelman, A. (2008). *Robots Móviles*. Obtenido de profesores.esfq.edu.ec/laurents/IME440/IME440_RobotMovil.pdf
- Foundation, O. S. (2015). *ROS. org*. Obtenido de <http://wiki.ros.org/es>
- Hidalgo, M. H. (2014). *Diseño y construcción de un robot móvil experimental 8X8 articulado para saltar obstáculos*. Sangolqui. Obtenido de Repositorio Digital: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/7672>
- HONDA. (2015). *HONDA, The Power of Dreams*. Obtenido de <http://world.honda.com/ASIMO/technology/2000/index.html>
- HONDA. (2015). *The Honda humanoid Robot ASIMO*. Obtenido de http://world.honda.com/ASIMO/history/p1_p2_p3.html
- INTPLUS Super Robótica. (06 de 02 de 2015). Obtenido de <http://www.superrobotica.com/S330300.htm>
- Lanniser, S. (2015). *Raspberrypi - Comunidad en español*. Obtenido de <http://www.raspberrypi-es.com/2013/04/>
- NASA. (10 de Agosto de 2012). *Mars Pathfinder*. Obtenido de www.nasa.gov/mission_pages/mars-pathfinder/
- Place, P. (2015). Obtenido de Power Place - Solution Total: http://www.powerplace.com.ec/site/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=68&Itemid=1&vmcchk=1&Itemid=1
- Real Academia Española. (Octubre de 2014). *Real Academia Española*. Obtenido de <http://lema.rae.es/drae/?val=rob%C3%B3tica>
- Robomotios. (2015). *RBMT Robomotion*. Obtenido de <http://www.robomotion.es/>
- ROBÓTICA. (2014). *ROBÓTICA*. Obtenido de <http://trabajorobotica.weebly.com/los-robots-maacutes-avanzados.html>

S.L.L., R. A. (2015). *Robotnik*. Obtenido de <http://www.robotnik.es/robots-moviles/summit-x/>

S.L.L., R. A. (7 de Agosto de 2015). *Robotnik*. Obtenido de <http://www.robotnik.es/robots-moviles/autonomo-agvs/>

Siegwart, R. (2011). *Autonomous Mobile Robots*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.

SONY. (2015). Obtenido de SONY AIBO: www.sony-aibo.com

Standford Research Institute. (2015). *Artificial Intelligence Ceneter*. Obtenido de www.ai.sri.com/shakey/

STripFET. (2015). *STripFET - VNH2SP30-E*. Obtenido de <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00043711.pdf>

Super Robótica. (06 de 02 de 2015). Obtenido de <http://www.superrobotica.com/S300167.htm>

Systems, C. W. (2015). *Wheelift Systems*. Obtenido de http://www.wheelift.com/agv_systems.html

xatakafoto. (2009). *Sensores con tecnología CCD vs CMOS*. Obtenido de <http://www.xatakafoto.com/camaras/sensores-con-tecnologia-ccd-vs-cmos>

ANEXOS

A1: MATRIZ FUNCIÓN DE DESARROLLO DE CALIDAD O QFD

A2: PLANOS MECÁNICOS

A3: DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROGRAMACIÓN

A4: DIAGRAMAS ELECTRÓNICOS

A5: PROGRAMAS MÓDULO EMISOR Y RECEPTOR

A6: MANUAL DE USUARIO CÁMARA WANSCAM

A7: DATASHEETS