

**ROBOT CONTROLADO INALÁMBRICAMENTE PARA LA MANIPULACIÓN
Y TRASLADO DE QUÍMICOS TÓXICOS Y RESIDUOS CONTAMINANTES
GENERADOS EN EL LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA.**

CRISTIAN JAVIER VÉLEZ GUTIÉRREZ

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
FUSAGASUGÁ
2016**

**ROBOT CONTROLADO INALÁMBRICAMENTE PARA LA MANIPULACIÓN
Y TRASLADO DE QUÍMICOS TÓXICOS Y RESIDUOS CONTAMINANTES
GENERADOS EN EL LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA.**

CRISTIAN JAVIER VÉLEZ GUTIÉRREZ

Trabajo para optar el título de ingeniero electrónico

**ASESOR
ISMAEL ENRIQUE ROA LAGUADO
INGENIERO ELECTRÓNICO.**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TRABAJO DE GRADO
FUSAGASUGÁ
2016**

Nota de aceptación

El trabajo de grado titulado **“ROBOT CONTROLADO INALÁMBRICAMENTE PARA LA MANIPULACIÓN Y TRASLADO DE QUÍMICOS TÓXICOS Y RESIDUOS CONTAMINANTES GENERADOS EN EL LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA.”**, elaborado por el estudiante **Cristian Javier Vélez Gutiérrez**, como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electrónico, fue aprobado por el jurado calificador.

Ismael Enrique Roa Laguado
Asesor de tesis

Cristian Javier Vélez Gutiérrez

Ni la institución, ni el jurado serán responsables de las ideas expuestas por los autores del presente trabajo

ACUERDO 00171 DE DICIEMBRE 14 DE 1989

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a la memoria de mi padre, quien durante el tiempo que Dios le permitió compartir conmigo, me brindó su amor, su apoyo incondicional y su sabiduría y a pesar de tener su ausencia en la culminación de esta etapa, su recuerdo me acompañará por siempre.

Cristian Javier Vélez Gutiérrez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios, ya que me brindó las capacidades y conocimientos necesarios para culminar mi carrera de ingeniero electrónico; a mi madre quien me ha acompañado y brindado su apoyo incondicional en mi formación como persona y a todas las personas que me manifestaron su apoyo y buena disposición en el proceso de mi formación profesional.

Cristian Javier Vélez Gutiérrez

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	14
1. CAPITULO 1. EL PROBLEMA	15
1.1. Planteamiento del problema	15
1.2. Formulación del problema.....	16
1.3. OBJETIVOS.....	17
1.3.1. Objetivo General.....	17
1.3.2. Objetivos Específicos.....	17
1.4. JUSTIFICACIÓN	18
1.5. ANTECEDENTES	19
1.5.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	19
2. CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	21
2.1. Estado del arte	21
2.2. Fundamentos teóricos.....	21
2.2.1. ¿Qué significan los términos “robot” y “manipulador”?	21
2.2.2. Generación de trayectorias.....	22
2.2.3. Los robots industriales: Diversos tipos para usos múltiples.....	22
2.2.4. Tecnología del soporte lógico.	24
2.2.5. Mahoro robot	25
2.2.6. IRobot Warrior 710 Kobra	26
2.2.7. El robot de Volkswagen	27
2.2.8. Aplicación de la robótica.....	29
2.2.9. Campos de aplicación de la robótica	30
2.3. MARCO CONCEPTUAL	31
3. CAPITULO 3. DISEÑO METODOLÓGICO	34
3.1. Metodología	34
3.2. Requerimientos y restricciones del diseño.....	35
3.3. Descripción del robot	36
3.3.1. Robot	36
3.4. Diseño en Blender.....	37
3.5. Componentes del robot diseñados en Blender	38
3.5.1. Mano robótica.....	38

3.5.2.	Brazo robótico de cuatro grados de libertad	39
3.5.2.1.	Base rotatoria del brazo	39
3.5.3.	Vehículo.....	40
3.5.3.1.	Chasis	41
3.5.3.2.	Llantas.....	42
3.6.	Funcionamiento.....	42
3.6.1.	Rotación del brazo.....	42
3.6.2.	Rotación del antebrazo y brazo.	43
3.6.3.	Movimiento de la mano.....	44
3.7.	Consideraciones Matemáticas	45
3.7.1.	Implementación al diseño Perfilaría de aluminio.....	53
3.7.1.1.	Sistema de Engranajes para el antebrazo.....	55
3.7.1.2.	Sistema de Poleas del Brazo.....	56
3.7.1.3.	Sistema de Engranajes para el desplazamiento del vehículo	57
3.8.	Selección de materiales y componentes del robot.....	58
3.8.1.1.	Perfilaría de aluminio.....	59
3.8.2.	Selección de componentes electrónicos.....	59
3.8.2.1.	Actuadores	59
3.8.2.2.	Ejes	61
3.8.2.3.	Engranajes	61
3.9.	Mando de control	61
3.9.1.	Estructura del mando de control	62
3.9.1.1.	Joystick.....	62
3.10.	Análisis y arquitectura hardware de control	63
3.10.1.	Sistema de procesamiento	63
3.10.2.	Microcontrolador.....	63
3.11.	Plataforma arduino (hardware)	65
3.11.1.	Tarjeta Arduino	65
3.11.2.	Módulo Shield L293D	67
3.12.	Comunicación inalámbrica.....	68
3.13.	Módulo bluetooth maestro/esclavo hc-05	70
3.11.	Implementación de la arquitectura software	72
3.12.	Entorno de programación	72
3.12.1.	Diagrama de flujo del vehículo robótico.....	74

3.12.2.	Diagrama de flujo del brazo y mano robótica	75
3.12.3.	Diagramas de flujo para la programación	76
3.12.3.1.	Diagramas de flujo control del brazo robótico.....	76
3.12.3.2.	Diagramas de flujo control del vehículo de transporte del brazo	78
3.13.	Desarrollo de prototipos.....	80
3.14.	Diagramas de conexión del robot	80
3.14.1.	Alimentación DC.....	80
3.14.2.	Joystick.....	81
3.14.3.	Módulo Shield I293d	81
3.14.4.	Módulos RX y TX de 433mhz	82
3.14.5.	Módulos bluetooth maestro/esclavo HC-05.....	84
3.14.5.1.	Configuración módulos bluetooth	85
4.	CAPITULO 4. RESULTADOS DEL SISTEMA ROBOTICO	87
4.1.1.	Construcción del vehículo.....	87
4.1.2.	Construcción del brazo	88
4.1.3.	Construcción de la mano	89
4.2.	Comunicación entre sistemas	91
4.3.	Comportamiento del sistema	92
5.	RECOMENDACIONES	100
6.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	101
7.	REFERENCIAS.....	102

TABLA DE FIGURAS

· Figura 1. <i>Utilizando sus "brazos y manos" este sistema robótico puede agarrar herramientas y levantar pequeños objetos. (Cortesía: ACEC)</i>	24
· Figura 2. <i>Robot Mahoro</i>	26
· Figura 3. <i>IRobot 710 Kobra</i>	27
· Figura 4. <i>El robot de Volkswagen</i>	28
· Figura 5. <i>Diagrama de flujo del diseño</i>	34
· Figura 6. <i>Partes de la mano robótica</i>	38
· Figura 7. <i>Partes que conforman el brazo robótico</i>	39
· Figura 8. <i>Base rotatoria</i>	40
· Figura 9. <i>Vehículo de transporte del brazo</i>	40
· Figura 10. <i>Chasis del vehículo de transporte del brazo</i>	41
· Figura 11. <i>Llantas del carro del robot</i>	42
· Figura 12. <i>Esquema de la base rotatoria del brazo</i>	43
· Figura 13. <i>Rotación del antebrazo</i>	43
· Figura 14. <i>Rotación del Brazo</i>	44
· Figura 15. <i>Esquema de la muñeca</i>	44
· Figura 16. <i>Esquema del Robot</i>	45
· Figura 17. <i>Distribución de pesos para el brazo y ante brazo</i>	46
· Figura 18. <i>Diagrama de cuerpo libre para apoyo en la base</i>	47
· Figura 19. <i>Diagrama de fuerzas en la rueda en el plano horizontal</i>	49
· Figura 20. <i>Análisis de fuerzas para el antebrazo</i>	51
· Figura 21. <i>Sistema de Poleas</i>	54
· Figura 22. <i>Implementación de Poleas al diseño</i>	54
· Figura 23. <i>Pivote para demostración de fuerzas</i>	55
· Figura 24. <i>Disposición de las poleas</i>	56
· Figura 25. <i>Variables que intervienen en los engranajes</i>	58
· Figura 26. <i>Servomotor MG995 de rotación continua</i>	60
· Figura 27. <i>Motor Pittman GM8712G749</i>	60
· Figura 28. <i>Engranajes de arrastre del vehículo robótico</i>	61
· Figura 29. <i>Esquema del Joystick KY-023</i>	62
· Figura 30. <i>Partes del Joystick</i>	62
· Figura 31. <i>Microcontrolador ATmega328P de ATMEL</i>	64
· Figura 32. <i>Identificación de la función de cada pin del microcontrolador ATmega328P de ATMEL</i>	65
· Figura 33. <i>Señalización de las partes del Arduino UNO</i>	66
· Figura 34. <i>Módulo Shield L293D</i>	68

· Figura 35. <i>Modulo RF Transmisor y Receptor 433MHz.</i>	69
· Figura 36. <i>Módulo Bluetooth Maestro/Esclavo HC-05</i>	71
· Figura 37. <i>Interfaz gráfica de Arduino</i>	73
· Figura 38. <i>Diagrama de flujo del vehículo robótico</i>	74
· Figura 39. <i>Diagrama de flujo del brazo y mano robótica</i>	75
· Figura 40. <i>Diagrama de flujo control del brazo robótico (Modo Maestro)</i>	76
· Figura 41. <i>Diagrama de flujo brazo robótico (modo esclavo)</i>	77
· Figura 42. <i>Diagrama de flujo control del vehículo (modo transmisor)</i>	78
· Figura 43. <i>Diagrama de flujo vehículo robótico (modo receptor)</i>	79
· Figura 44. <i>Batería de 5v a 6ª</i>	80
· Figura 45. <i>Joystick.</i>	81
· Figura 46. <i>Módulo Shield l293d</i>	82
· Figura 47. <i>Modulo motor Shield L293D.</i>	82
· Figura 48. <i>Módulos RF de 433MHz.</i>	83
· Figura 49. <i>Diagramas de los Módulos RF.</i>	83
· Figura 50. <i>Módulos TX y RX de 433MHz y conexión del módulo RX al control de mando</i>	84
· Figura 51. <i>Módulos bluetooth Maestro/Esclavo HC-05</i>	85
· Figura 52. <i>Código para la configuración de los módulos bluetooth</i>	86
· Figura 53. <i>Etapas de validación del sistema.</i>	87
· Figura 54. <i>Estructura del automóvil robótico.</i>	88
· Figura 55. <i>Estructura del brazo robótico terminada mostrando sus articulaciones.</i>	89
· Figura 56. <i>Mano robótica fabricada en aluminio.</i>	90
· Figura 57. <i>Sistema de control del brazo robótico</i>	91
· Figura 58. <i>Sistema de control del Vehículo.</i>	92
· Figura 59. <i>Control del mando del sistema de control del brazo y del vehículo</i>	92
· Figura 60. <i>Robot controlado inalámbricamente para la manipulación y traslado de químicos tóxicos y residuos contaminantes</i>	93
· Figura 61. <i>Desplazamiento del vehículo.</i>	94
· Figura 62. <i>Caja reductora del vehículo</i>	95
· Figura 63. <i>Robot controlado inalámbricamente para la manipulación y traslado de químicos tóxicos y residuos contaminantes con sistema de poleas</i>	96
· Figura 64. <i>Motores del Brazo del robot.</i>	97
· Figura 65. <i>Manipulación con carga.</i>	97
· Figura 66. <i>Manipulación con carga #2</i>	98
· Figura 67. <i>Manipulación con carga #3</i>	98

· **Figura 68.** *Elementos empleados para manipulación con cargar.*99

LISTA DE TABLAS

· Tabla 1. <i>Campos de aplicación de la robótica</i>	30
· Tabla 2. <i>Área del lugar de trabajo y dimensiones de los bancos de laboratorio</i>	35
· Tabla 3. <i>Restricciones del robot</i>	36
· Tabla 4. <i>Características del motor DC y engranajes</i>	55
· Tabla 5. <i>Características del motor dc y diámetro de poleas</i>	57
· Tabla 6. <i>Tabla comparativa de materiales para construcción de la estructura</i>	59
· Tabla 7. <i>Características del Microprocesador ATMEGA328</i>	66
· Tabla 8. <i>Especificaciones Técnicas</i>	67
· Tabla 9. <i>Características eléctricas y físicas del Módulo Shield L293D</i>	68
· Tabla 10. <i>Características eléctricas y físicas del módulo transmisor mx-fs-03v</i>	70
· Tabla 11. <i>Características eléctricas y físicas del módulo receptor mx-05v</i>	70
· Tabla 12. <i>Características eléctricas y físicas del módulo bluetooth maestro/esclavo hc-05</i>	71
· Tabla 13. <i>Comandos AT del módulo Bluetooth</i>	86
· Tabla 14. <i>Tabla de Dimensiones automóvil robótico</i>	88
· Tabla 15. <i>Tabla de Dimensiones del brazo robótico</i>	88
· Tabla 16. <i>Tabla de Dimensiones automóvil robótico de la mano</i>	89
· Tabla 17. <i>Pruebas de velocidad del motor del vehículo</i>	94
· Tabla 18. <i>Estado de resultados durante la realización de pruebas</i>	95
· Tabla 19. <i>Pruebas con carga del brazo robótico</i>	99

RESUMEN

La electrónica desde sus inicios ha aportado al desarrollo significativo de prototipos robóticos, que sustancialmente han mejorado labores físicas realizadas por el ser humano y de esta manera perfeccionar los procesos de tipo industrial, farmacéutico, químico, entre otras¹. Teniendo en cuenta los aportes que ha realizado la electrónica para estos campos, se ha decidido aplicar conocimientos en la manipulación de sustancias químicas para un laboratorio universitario, donde se pretende evitar la manipulación directa de elementos tóxicos que requieren un manejo especial.

El propósito de la investigación fue desarrollar un robot controlado inalámbricamente para la manipulación y traslado de químicos tóxicos y residuos contaminantes generados en el laboratorio de microbiología de la universidad de Cundinamarca, teniendo como objetivo optimizar los procesos productivos para manipulación de sustancias químicas, así mismo brindar un apoyo en el desarrollo de las prácticas de los estudiantes.

La metodología implementada se basó en la investigación de múltiples proyectos, que tenían como función la manipulación y transporte de químicos tóxicos. Esta idea se desarrolló con ayuda del programa de diseño en 3D conocida como Blender para la realización del diseño del robot prototipo para luego iniciar la construcción física del mismo, de este modo disponer de la mecánica y electrónica necesaria para la puesta en marcha; ejecutando las pruebas pertinentes en el laboratorio.

Los resultados obtenidos con el desarrollo del robot durante las pruebas con diferentes recipientes, se demostrara la idoneidad para la ejecución de este tipo de labores, puesto que se evidenciara la estabilidad para el traslado de las cargas sin generar derrames. Así mismo será una herramienta eficiente para las actividades que requieren en estos entornos.

El robot es una herramienta tecnológica que servirá de apoyo para la manipulación de elementos peligrosos; como también el transporte de los mismos, permitiendo trabajar de forma óptima en el lugar y prestando sus servicios de forma segura. Su aplicación se puede extender a otros lugares donde requieran realizar estas mismas labores.

¹ <http://www.comunidadelectronicos.com/articulos/historia.htm>

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la humanidad ha desarrollado sistemas especializados, los cuales han permitido mitigar las necesidades que se han venido presentando en la evolución de la tecnología para el surgimiento de una nueva era, conocida como la revolución industrial transformando el modelo de vida de la época. La revolución industrial, ha sido uno de los acontecimientos más trascendentales del tiempo moderno, debido a la creación de procesos técnicos, como la automatización y la robótica, consideradas ramas de la electrónica.²

Desde la década de los años 40 con la invención del transistor, se da inicio a la globalización de las nuevas tecnologías las cuales exigen la adecuación de nuevos avances en aplicaciones de la vida real como lo son la robótica y la automatización de procesos en el siglo XXI.³ Del mismo modo, el desempeño y labor del ingeniero ha permitido expandirse en el mundo, convirtiendo la electrónica eje primordial de la vida y como enfoque “la robótica”, con el propósito de transformar el modelo de interacción máquina-hombre, para dar paso al control operativo o mando a distancia.⁴

Con lo mencionado anteriormente se busca una alternativa de aplicación para el laboratorio de microbiología de la Universidad De Cundinamarca, en los programas de Zootecnia y Agronomía para la manipulación de sustancias químicas o nocivas. Actualmente, este proceso es realizado de forma manual por personal especializado los cuales organizan y dan orientación en la manipulación de cualquier elemento del laboratorio para su correcto uso.

Con el desarrollo del sistema robótico, se pretende proporcionar una herramienta tecnológica para la manipulación y el transporte de sustancias químicas evitando el contacto hombre – máquina, optimizando estos procesos durante las labores propuestas dentro del lugar.

² <http://www.profesorenlinea.cl/universalhistoria/RevolucionIndustrial.htm>

³ <http://connuestraamerica.blogspot.com.co/2011/09/globalizacion-y-nuevas-tecnologias.html>

⁴ http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/2004/Rob%C3%B3tica/seminario%202004%20robotica/Seminario_Robotica/Documentos/AP LICACI%C3%93N%20DE%20LA%20ROB%C3%93TICA.htm

1. CAPITULO 1. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

En la industria química el personal es quien se encarga de trasladar de un lado a otros materiales tóxicos, así como la inspección de ciertos lugares pero hay algunos donde la accesibilidad es muy difícil. Sin embargo, cuando se terminaban las labores, las herramientas y atuendos se debían ubicar en recintos apartados para evitar la contaminación.

Actualmente, este proceso conlleva a errores y accidentes debido a una manipulación incorrecta de dichas sustancias, por esta razón se han presentado según datos oficiales, en el año 2010 se registraron en España 731 enfermedades profesionales por exposición a agentes químicos y 25 casos de enfermedades profesionales por agentes cancerígenos.

Estos datos varían sensiblemente cuando, adentrándonos en el tema, podemos ver la existencia de estudios estimativos⁵ en donde se sospecha que, aproximadamente, entre el 4 y el 8.4% de las muertes por cáncer son de origen laboral.⁶ Estas cifras varían en función del tipo de cáncer, habiéndose descrito porcentajes de hasta el 15% para los cánceres de pulmón. Combinando estas estimaciones con las cifras de mortalidad por cáncer en España (100.189 muertes) se podría estimar que en el año 2009 se produjeron en España entre 4.000 y 8.400 muertes como consecuencia de la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.⁷

Con el fin de optimizar el proceso de manipulación y transporte de sustancias tóxicas bajo las normas de bioseguridad establecidas por el laboratorio de microbiología de la universidad de Cundinamarca, se desea desarrollar un robot teledirigido el cual será controlado por un usuario a una distancia con un rango máximo de 10 mts para la manipulación y traslado de los materiales tóxicos⁸.

⁵ J Doll R, Peto R. National Cancer Institute (EEUU). 1981 jun;66(6): 1191-308. The causes of cancer: quantitative estimates of avoidable risks of cancer in the United States today.

⁶ Alba Hidalgo, M.A: "la exposición laboral a agentes químicos cancerígenos". Revista MAPFRE seguridad. N° 105, primer trimestre de 2007.

⁷ <http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/23493/1/21167163.pdf>.

⁸ Norma técnica colombiana NTC 1461 – Higiene y seguridad. Colores y señales de seguridad.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo optimizar los procesos de manipulación de elementos tóxicos del laboratorio de microbiología de la Universidad de Cundinamarca?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Diseñar un prototipo robotizado de control teledirigido, para la manipulación y traslado de elementos tóxicos, en el laboratorio de microbiología de la Universidad de Cundinamarca.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Definir el área y perímetro total por el cual se desplazara el robot dentro del laboratorio.
- Elaborar el esquema del brazo robótico con sus cuatro grados de libertad.
- Construir un sistema de comunicación y control para el manejo del robot.
- Realizar pruebas de laboratorio con diferentes sustancias y pesos determinados.

1.4. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el modo de operación en la industria química, en lo que se refiere a manipulación, traslado y almacenamiento ha cambiado abruptamente, debido a la gran cantidad de procesos manuales, que se ha venido presentando a lo largo del tiempo. No obstante se pretende mejorar estos procedimientos de forma teledirigida.

Este procedimiento de identificación y valoración a los que se encuentran expuestos docentes, técnicos y estudiantes de la comunidad universitaria, es el punto de partida que establece la necesidad de generar criterios para la ejecución de un elemento tecnológico que se encargue del manejo adecuado de las sustancias químicas y residuos producidos en el transcurso de las actividades relacionadas con el laboratorio

Con este proyecto se desea que el personal encargado en la manipulación y traslado de sustancias químicas dentro del laboratorio y facilite su movilidad dentro del área. Por lo tanto se implementará un robot teledirigido móvil, el cual consta de un brazo mecánico, articulado por cuatro grados de libertad; posee una mano controlada inalámbricamente por un operario, que a su vez presenta en su parte superior una plataforma móvil para poder desplazarse en el lugar.

Este sistema se convierte en una herramienta tecnológica que perfeccione los procesos de trabajo dentro de dicho entorno, así mismo facilite a la academia en el desarrollo de sus actividades.

Beneficios Tecnológicos

Se pretende con este sistema robótico optimizar procesos de trabajo dentro del laboratorio de Microbiología, fortaleciendo el uso de tecnologías y abrir campo a muchas más aplicaciones que puedan beneficiar a la comunidad académica, siendo este un aspecto amplio de fortalecimiento a nivel de investigación y desarrollo.

Beneficios Institucionales

Transformar el modelo de trabajo beneficiando al estudiante en sus actividades académicas y hacer que las condiciones sean más cómodas durante las prácticas. Esta herramienta es de gran utilidad para los estudiantes de zootecnia e ingeniería Agronómica quienes podrán desarrollar sus prácticas.

Este es un punto de partida para fortalecer el conocimiento y conocer alternativas de mejoramiento de procesos que arrojan resultados favorables dentro de la comunidad académica.

1.5. ANTECEDENTES

1.5.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La historia reciente de nuestra sociedad ha dependido directamente del desarrollo de la ciencia y la tecnología, ya que el número de descubrimientos científicos es proporcional a la creación de nuevas herramientas y, en correspondencia, se han extendido las posibilidades de experimentación y obtención del conocimiento. En base a esto la robótica y la automatización industrial han sido determinantes en el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias o procesos industriales. Los cuales proponen el tema “Robots para inspección industrial”. En este trabajo se han demostrado las habilidades y el enorme potencial para las tareas de inspección industrial de los robots.

El estudio confirmó que estos sistemas automatizados pueden realizar diferentes acciones en entornos peligrosos además pese al cambio entre los tipos de superficies y la movilización a través de espacios estrechos de difícil acceso. El artículo describe un estudio sobre robots escaladores en diferentes ambientes junto con las técnicas de adhesión que operan en ambientes industriales críticos. La principal labor de estos robots es la vigilancia e inspección en lugares donde se ejecutan experimentos delicados.⁹

Un segundo trabajo corresponde a “Tele operación múltiple entre Robots Móviles en Inspección de áreas difíciles”. El documento analiza el sistema de tele operación multi-robot teniendo en cuenta la cooperación entre el operador humano y robots en múltiples tareas de inspección.

Se implementó un prototipo para un sistema de tele operación, habiendo realizado una prueba real la cual consta de una plataforma móvil omni-direccional para múltiples robots.¹⁰

Un tercer trabajo llamado “Dispositivo comandado remotamente de intercambio de recursos a través de Internet: Un nuevo enfoque distribuido basado en una arquitectura en capas”. En este documento los avances tecnológicos en el área de la telemática han abierto toda una nueva gama de aplicaciones.

Debido a que las operaciones a distancia a través de redes informáticas, y en particular sobre el Internet, han atraído una gran atención en los últimos años,

⁹ Sattar, T., Robotic Non Destructive Testing, Viewpoint: Robotic none destructive testing, Special issue on NDT Robots, In Industrial Robot: An International Journal, Vol.37 , No. 5, 2010, Emerald Group Publishing Limited, ISSN 0143-991X

¹⁰ H. Asama et al. eds., Distributed Autonomous Robotic Systems 2, Springer-Verlag, Tokyo, 1996

este artículo presenta una visión general de las tendencias actuales en esta emergente área interdisciplinaria, y comenta sobre los fundamentos de la operación a distancia compatible.¹¹

¹¹ <https://books.google.com.co/books?id=ZEfqCAAQBAJ&pg=PA249&lpg=PA249&dq=M.W.+Thring,+Telechiric+mining,&source=bl&ots=1VTLKY8i4T&sig=mtqWFrr56uKtSL6rj1Hf1UM33eY&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiH1vXS3t3OAhXFOCYKHTsmB2AQ6AEILzAE#v=onepage&q=M.W.%20Thring%2C%20Telechiric%20mining%2C&f=false>
Libro: M.W. Thring, ^aTelechiric mining,^o 2nd R.O.MAN.SY, p. 459, 1976

2. CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

Desde hace ya algunos decenios, la automatización y los robots se han empleado de diversas formas para labores de manejo industrial, montaje y manipulación con resultados positivos. En la industria nuclear se ha creado, y se sigue creando, una amplia gama de manipuladores y equipos especializados que realizan por control a distancia tareas de inspección, mantenimiento, reparación y renovación. El empleo de dispositivos de esa índole constituye un medio importante de reducir la exposición del hombre a las radiaciones durante las operaciones de clausura y descontaminación en las instalaciones nucleares. Por consiguiente, también puede reducir los costos de la clausura.¹²

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. ¿Qué significan los términos “robot” y “manipulador”?

Un robot es una máquina de manipulación programable que tiene una memoria, y que puede ser programada una y otra vez fácilmente cuando se le asigna una nueva labor. Esta última capacidad es la característica que diferencia a los robots de otras piezas de equipo automatizadas, aunque el equipo controlado numéricamente también posee una elevada flexibilidad. En esencia, los robots están formados por componentes mecánicos, impulsores, controles y sensores, que por lo general tienen muchos grados de libertad.

Por otra parte, un manipulador tiene muchas de las características de un robot, pero suele ser operado directamente mediante alguna forma de control manual, que puede ser a distancia. Es posible programar el control de un manipulador (creando así una especie de robot), al igual que se pueda controlar manualmente un robot mediante un sistema de control adecuado.¹³

En las labores de clausura y descontaminación, son importantes los siguientes componentes para el empleo de robots y manipuladores:

- Análisis de las tareas
- Tecnología de control a distancia
- Ingeniería mecánica avanzada
- Tecnología de simulación

¹² <https://gromep.webs.upv.es/telerobotica>

¹³ https://www.iaea.org/sites/default/files/27405393539_es.pdf

- Equipo de sensores a distancia
- Interfaz hombre-máquina.

2.2.2. Generación de trayectorias

El objetivo principal del control de un robot manipulador es conseguir que los motores que representan la cintura, hombro, codo y muñeca, alcancen el movimiento descrito por las trayectorias prediseñadas.

2.2.3. Los robots industriales: Diversos tipos para usos múltiples.

Las funciones cinemáticas de los robots industriales suelen evaluarse por comparación con las del "manipulador multipropósito" original, es decir, el brazo y la mano del hombre, y la mayoría de los robots se diseñan con el objetivo de tratar de reproducir la capacidad humana. Muchos tienen un brazo mecánico articulado al que se pueden anexar diversos dispositivos, como pinzas, afiladores, pulverizadores de pintura, pistolas de soldar o llaves neumáticas. El diseño y el funcionamiento de estos dispositivos (llamados "ejecutores"), que asumen el lugar de la mano del hombre, son tan importantes como el diseño del propio brazo del robot. Además de controlar el movimiento en el espacio, el brazo y la muñeca del hombre pueden dirigir un objeto en tres planos de rotación, lo que ofrece un total de seis grados de libertad (tres ejes de traslación y tres de rotación). La mano del hombre tiene 22 movimientos distintos. Si a ellos se unen las funciones sensoriales del hombre, el sistema de retroalimentación y la capacidad del cerebro humano de seleccionar automáticamente la retroalimentación sensorial que más se adecúa a cada movimiento, se ve que el brazo del hombre es un mecanismo muy versátil y complejo.¹⁴

Para simular las funciones de movimiento en el espacio y de cambio de dirección que poseen el brazo y la muñeca del hombre, un brazo o manipulador robótico debe tener a los menos seis grados de libertad. A menudo se emplean hasta ocho o nueve grados de libertad para permitir al brazo robótico rodear los obstáculos. En la mayoría de los casos, los 22 movimientos de la mano del hombre se sustituyen con un sencillo dispositivo similar a unas tenazas, aunque en casos muy especiales se han creado manos antropomórficas con dedos articulados y dotados de movimiento. Los impulsores del robot pueden manipularse de forma neumática, hidráulica, eléctrica, mecánica o mediante alguna combinación de las cuatro formas básicas de energía. La tarea más difícil de la creación de un brazo robótico es simular las funciones de control del

¹⁴ https://www.iaea.org/sites/default/files/27405393539_es.pdf

brazo del hombre. El desarrollo de computadoras, procesadores y memorias especializados ha introducido una nueva fase en el control robótico. Mediante el empleo de ecuaciones matemáticas para lograr movimientos complejos y dispositivos sensoriales más complicados el diseñador puede aumentar la inteligencia del robot.

El diseño de los robots y los sistemas de control que se utilizan en la actualidad varía mucho y oscila entre los sencillos robots de secuencia limitada y los robots más perfeccionados controlados por computadora.

En fábricas de todo el mundo se emplean con resultados positivos miles de robots de secuencia limitada, fundamentalmente del tipo utilizado para tareas de "selección y colocación". Estos robots sólo requieren un limitado número de movimientos secuenciales para realizar su tarea y no necesitan el control de movimientos de los robots de técnica más perfeccionada. Cada fase de la secuencia de operaciones se programa con antelación y se controla mediante una señal eléctrica o neumática procedente de un cuadro de mandos con contactos enchufables. Suelen utilizarse topes mecánicos para limitar el movimiento de cada articulación. Aunque la mayoría de los dispositivos carece de capacidad para obtener retroalimentación de su medio de trabajo, algunos se han combinado con otros dispositivos que dan cabida a alguna inteligencia. Parecería que la tecnología asociada a los robots de secuencia limitada no tendría gran aplicación en las tareas de clausura y descontaminación, puesto que resulta relativamente difícil volver a programar a estos robots.

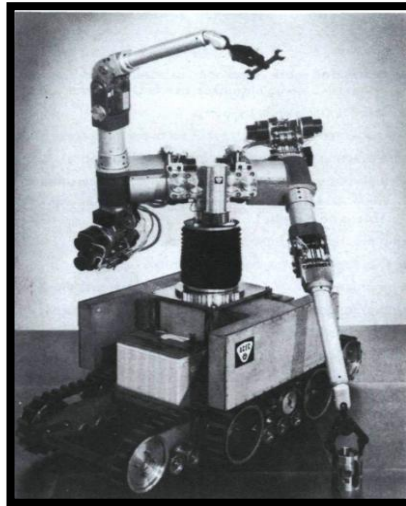
Uno de los componentes más importantes de los robots comerciales más perfeccionados es el sistema de control, que prescribe cuándo y cómo desempeñará sus tareas el soporte físico robótico. El sistema de control, que está compuesto por una computadora, una memoria de gran capacidad y retroalimentación sensorial, debe tener capacidades de programación rápida y sencilla, esté o no en línea. Además, debe ser capaz de interactuar con un operador y con la retroalimentación de tantos sensores como requiera la tarea. Los sensores permiten medir el estado del sistema en tiempo real y ofrecen retroalimentación a los controles. Entre los sensores típicos se encuentran los telémetros de láser, los sistemas de televisión y los sensores táctiles, de fuerza, de torsión y de proximidad. Las computadoras almacenan datos de entrada y programas complejos para el robot, comparan la ejecución medida y deseada, generan secuencias complejas de salidas deseadas y permiten la comunicación entre el hombre y el complejo robot.¹⁵

¹⁵ https://www.iaea.org/sites/default/files/27405393539_es.pdf

2.2.4. Tecnología del soporte lógico.

Tan importante como el soporte físico y los controles robóticos es la nueva tecnología del soporte lógico que se está creando. Por ejemplo, los sistemas de computación gráficos interactivos permitirían al ingeniero en automatización poner a prueba el equipo manipulado por el robot en la pantalla de la computadora y no mediante el método de "ensayo y error" en un medio altamente radiactivo. Esto significa, por ejemplo, que el ingeniero puede alimentar a la computadora gráfica el diseño y la ubicación de la tubería, el equipo y la instalación circundante. El robot y su instrumento de trabajo también pueden programarse antes de la instalación. Por ejemplo, si es necesario cortar tubos de varios tamaños y formas, se podría programar con antelación un robot manipulado a distancia fijado a un vehículo móvil, una grúa o una plataforma. El robot tendría un soplete cortador como elemento ejecutor para cortar los tubos en la secuencia debida. Los choques se evitarían con el empleo de sensores o del modelo del soporte lógico del medio ambiente procedente del sistema gráfico. Parecería provechoso desarrollar este tipo de tecnología para las actividades de clausura y descontaminación, así como de mantenimiento, empleando robots avanzados o tipos más convencionales de tecnología de sistemas de control a distancia combinados con diversos instrumentos.

Figura 1. *Utilizando sus "brazos y manos" este sistema robótico puede agarrar herramientas y levantar pequeños objetos. (Cortesía: ACEC)*



Fuente. Aplicación de Transferencia de Material. URL. http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/2004/Rob%C3%B3tica/seminario%202004%20robotica/Seminario_Robotica/Documentos/APLICACI%C3%93N%20DE%20LA%20ROB%C3%93TICA.htm

2.2.5. Mahoro robot

Mahoro es un robot de propósito general co-desarrollado por AIST y Yaskawa diseñado para llevar a cabo el trabajo peligroso de laboratorio previamente hecho manualmente por los seres humanos.

Se puede realizar tareas tales como el cultivo y dispensación con mucha más precisión y velocidad que un ser humano. Por ejemplo, cuando se probó contra los trabajadores de laboratorio veteranos Mahoro completó las tareas con mejores resultados y en la mitad del tiempo. Los accidentes también son mucho menos probable que suceda, pero cuando las tareas que implican materiales nucleares y las enfermedades mortales van mal, nadie se hizo daño en el proceso.

Los robots como Mahoro ya existen en las fábricas y otras líneas de producción, pero Mahoro es diferente en el sentido de que los brazos tienen siete articulaciones adosadas los robots de fábrica que tienen seis o menos. Este séptimo eje significa los brazos del robot pueden replicar la articulación del codo de un brazo humano, dando el robot mucha más flexibilidad. Así Mahoro puede moverse como un ser humano, que le permite ser más eficiente que otros robots.

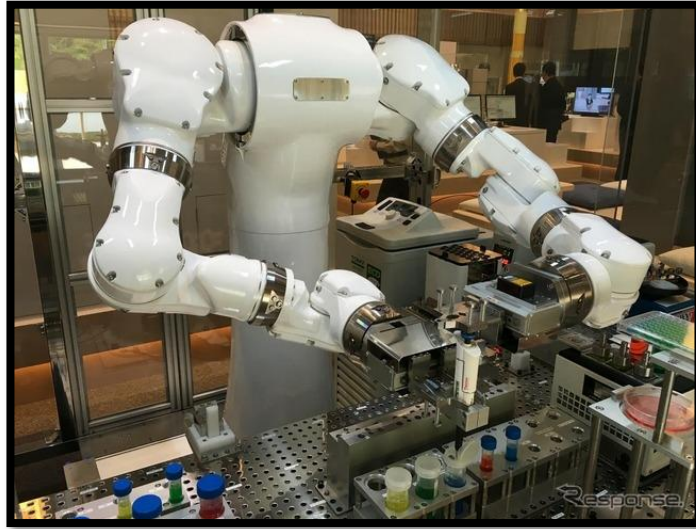
La enseñanza de un robot con tantas articulaciones por lo general requiere una gran cantidad de programación. Sin embargo, todo el proceso se acelera para Mahoro mediante el uso de un espacio virtual.

Para ello, un escáner 3D se utiliza para capturar datos en 3D para todas las herramientas que utilizan en el laboratorio, esta información se introduce en el ordenador, que a continuación, crea un Portal de laboratorio, banco, y el robot. El operador simplemente selecciona en el que quieren que el robot se mueva y que va a seguir las instrucciones y saber qué es lo que tiene que hacer para el futuro. Este sistema también significa que pueden ejecutar las pruebas de colisión para determinar si el robot va a golpear en cualquier cosa que esté en su camino. Así que el equipo de laboratorio se puede mover alrededor para crear un entorno más seguro y más eficiente.

Con suerte Mahoro no costará demasiados trabajadores de laboratorio sus puestos de trabajo, pero ya está siendo utilizado en algunas universidades y compañías farmacéuticas. Sus creadores tienen la intención de mejorar aún más Mahoro, así que es lo suficientemente seguro para trabajar junto a los humanos y no sólo de forma aislada.¹⁶

¹⁶ <http://www.geek.com/news/mahoro-robot-carries-out-dangerous-lab-work-faster-than-any-human-1501549/>

Figura 2. Robot Mahoro



Fuente.

http://jpx.responsejp.com/jpx/images/2016/06/03/276314_1.jpg?fit=normal

2.2.6. IRobot Warrior 710 Kobra

El 710 Kobra es un robot para trabajo pesado, el cual fue diseñado para misiones múltiples y fabricado por iRobot fabricante de robots de América para proporcionar una mayor eficacia de la seguridad y de la misión de los soldados, socorristas y personal de seguridad.

El robot es adecuado para misiones tales como la detección de explosivos, desactivación de artefactos explosivos (EOD) / desactivación de bombas, la observación persistente, y las inspecciones de punto de control / vehículo. También se puede utilizar para detectar e identificar agentes químicos, biológicos, radiológicos y nucleares (CBRN) y materiales de materiales peligrosos desde una distancia de separación.¹⁷

¹⁷ <http://www.army-technology.com/projects/irobot-710-kobra-multi-mission-robot/>

Figura 3. IRobot 710 Kobra.



Fuente. <http://gadgetdemagia.ru/robtica/22926-irobot-lanza-nuevo-710-guerrero-robot.html>

2.2.7. El robot de Volkswagen

Volkswagen ha integrado un brazo robótico industrial del fabricante danés Universal Robots en la cadena de montaje de su planta de motores en Salzgitter (Alemania). El robot ligero de seis ejes UR5 se encuentra instalado en la sección de montaje de las culatas de los cilindros, donde se encarga de manipular delicados calentadores. Este es el primer robot colaborativo utilizado por Volkswagen en todo el mundo. Debido a su sistema integrado de seguridad, el brazo robótico de seis ejes trabaja directamente junto a las personas sin necesidad de barreras de protección.

El robot recoge con cuidado los delicados calentadores y los introduce en los orificios roscados de difícil acceso. Un empleado se encarga luego de fijar los calentadores y aislar la cabeza del cilindro. Gracias a la colaboración directa con el robot, que actúa como asistente, el empleado puede realizar estas actividades en una posición erguida y saludable. De esta forma puede mantener una vigilancia constante del proceso para poder intervenir rápidamente en caso necesario.¹⁸

¹⁸ <http://almadeherrero.blogspot.com.co/2013/09/el-robot-de-volkswagen.html>

Figura 4. *El robot de Volkswagen*



Fuente. <http://almadeherrero.blogspot.com.co/2013/09/el-robot-de-volkswagen.html>

Los sistemas robóticos avanzados, que en un gran número de fábricas se emplean para soldar, realizar labores de fundición, pintar con pistola, llevar a cabo trabajos de montaje delicados, etc., exonerarán a muchos trabajadores de tareas peligrosas y desagradables. La aplicación directa de sistemas robóticos industriales específicos a las tareas de descontaminación y clausura en la industria nuclear depende de los niveles de actividad y contaminación. Sin embargo, la aplicación de la tecnología, los componentes y los robots específicos es viable y conveniente para muchas tareas. Debe tenerse en cuenta que existen robots que poseen fuerza, tacto y capacidad sensorial visual, pero que todavía se encuentran en etapa de perfeccionamiento; incluso las modestas tareas de mantenimiento constituyen un reto para la tecnología actual de la robótica.

Los sistemas robóticos trabajan mejor cuando las coordenadas del medio físico que los rodean están bien definidas e incorporadas a la memoria de los robots. Las inversiones continuas en investigación y desarrollo en la esfera de la inteligencia artificial y el establecimiento de normas sobre la interfaz comunes para todos los proveedores de robots aumentarán la flexibilidad de las aplicaciones futuras de la robótica.¹⁹

Al evaluar el atractivo financiero que entraña la aplicación de la tecnología robótica a cualquier actividad, no deben aplicarse los métodos convencionales de rendimiento de la inversión y de cálculo de la amortización. Además del ahorro corriente de los salarios de los trabajadores desplazados por el sistema

¹⁹ <http://www.uaz.edu.mx/cippublicaciones/ricvol3num1/Ingenieria/Generaciondetrayectorias.pdf>

robótico, entre otros ahorros se incluyen el costo de rubros tales como los seguros de salud, la menor supervisión, el ahorro de espacio para estacionamiento, las menores necesidades de capacitación, de calefacción, de luz y de energía, la no concesión de pensiones, licencias por enfermedad o costos hombre, etc. Se ha elaborado una técnica de análisis de costo beneficio que permite comparar el costo de las aplicaciones de la robótica en las diferentes áreas.

2.2.8. Aplicación de la robótica.

La noción de robótica implica una cierta idea preconcebida de una estructura mecánica universal capaz de adaptarse, como el hombre, a muy diversos tipos de acciones, destacando en mayor o menor grado, las características de movilidad, programación, autonomía y multifuncionalidad.

Sin embargo, en la actualidad abarca una amplia gama de dispositivos con muy diversos trazos físicos y funcionales asociados a su particular estructura mecánica, a sus características operativas y al campo de aplicación para el cual han sido diseñados. Es importante destacar que todos estos factores están íntimamente relacionados, de tal forma que la configuración y el comportamiento de un robot condicionan su adecuación para un campo determinado de aplicaciones y viceversa, a pesar de la versatilidad inherente al propio concepto de robot.

Los robots se clasifican según su campo de aplicación en robots industriales y robots de servicios. Van desde robots tortugas en los salones de clases, robots soldadores en la industria automotriz, hasta brazos tele operadores en el transbordador espacial, lo que evidencia que son utilizados en una diversidad de campos.

2.2.9. Campos de aplicación de la robótica

La Tabla 1 muestra los campos de aplicación de la robótica, clasificándolos de acuerdo a su función en robots industriales y robots de servicio.

Tabla 1. *Campos de aplicación de la robótica.*

INDUSTRIA	Trabajos en Fundición
	Aplicación de Transferencia de Material
	Palatización
	Carga y Descarga de Máquinas
	Operaciones de Procesamiento
	Otras Operaciones de Proceso
	Montaje
	Control de Calidad
	Manipulación en Salas Blancas
ROBOTS DE SERVICIO	Laboratorios
	Industria Nuclear
	Agricultura
	Espacio
	Vehículos Submarinos
	Educación
	Construcción
	Medicina
Ciencia Ficción	

Fuente. Aplicación de la Robótica.²⁰

²⁰ http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/2004/Rob%C3%B3tica/seminario%202004%20robotica/Seminario_Robotica/Documentos/APLICACION%20DE%20LA%20ROB%C3%93TICA.htm

2.3. MARCO CONCEPTUAL

A continuación se presentan los conceptos básicos que permitan al lector entender los fundamentos teóricos que soportan el desarrollo del brazo robótico.

- **Actuador:** Es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.
- **Algoritmo:** Como un conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema.
- **Bluetooth:** La tecnología inalámbrica Bluetooth es una tecnología de ondas de radio de corto alcance (2.4 giga hertzios de frecuencia) cuyo objetivo es el simplificar las comunicaciones entre dispositivos informáticos, como ordenadores móviles, teléfonos móviles, otros dispositivos de mano y entre estos dispositivos e Internet. También pretende simplificar la sincronización de datos entre los dispositivos y otros ordenadores.
- **Engranajes:** Se denomina engranaje o ruedas dentadas al mecanismo utilizado para transmitir potencia de un componente a otro dentro de una máquina.
- **Hardware:** es la parte física de un ordenador o sistema informático, está formado por los componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos, tales como circuitos de cables y circuitos de luz, placas, utensilios, cadenas y cualquier otro material, en estado físico, que sea necesario para hacer que el equipo funcione.
- **Joystick:** Dispositivo que se conecta con un ordenador o videoconsola para controlar de forma manual un software, especialmente juegos o programas de simulación. Pueden clasificarse en joysticks digitales y joysticks analógicos, estos últimos más precisos.
- **Microcontrolador:** es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria

y Unidades de E/S, es decir, se trata de un computador completo en un solo circuito integrado.

- **Motor eléctrico:** Es una máquina que para producir el movimiento deseado resulta capaz de transformar la energía eléctrica propiamente dicha en energía mecánica, todo logrado a través de diferentes interacciones electromagnéticas.
- **Radiofrecuencia:** Radiofrecuencia (RF) es la frecuencia o índice de oscilación dentro de la gama que abarca desde los 3 Hz a 300 GHz Esta gama corresponde a la frecuencia de corriente alterna. Se produce generalmente en circuitos eléctricos.
- **Renderizado:** Es un término usado en para referirse al proceso de generar una imagen desde un modelo. Aplicado a las visualizaciones por computadora, más específicamente en 3D, la renderización es un proceso de cálculo complejo desarrollado por un ordenador destinado a generar una imagen 3D.
- **Robot:** Es una máquina programable que puede manipular objetos y realizar operaciones que antes sólo podían realizar los seres humanos.
- **Sensor:** Es más que un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que seamos capaces de cuantificar y manipular.
- **Servomotor:** Es un dispositivo pequeño que tiene un eje de rendimiento controlado. Este puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal de que una señal codificada exista en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje. Cuando la señal codificada cambia, la posición angular de los piñones cambia. En la práctica, se usan servos para posicionar superficies de control como el movimiento de palancas, pequeños ascensores y timones. Ellos también se usan en radio control, títeres, y por supuesto, en robots.
- **Software:** Es un término informático que hace referencia a un programa o conjunto de programas de cómputo que incluye datos, procedimientos y pautas que permiten realizar distintas tareas en un sistema informático.
- **Telecontrol:** Consiste en el envío de indicaciones a distancia mediante un enlace de transmisión (por ejemplo, a través de cables, radio, dirección IP), utilizando órdenes enviadas para controlar un sistema o sistemas

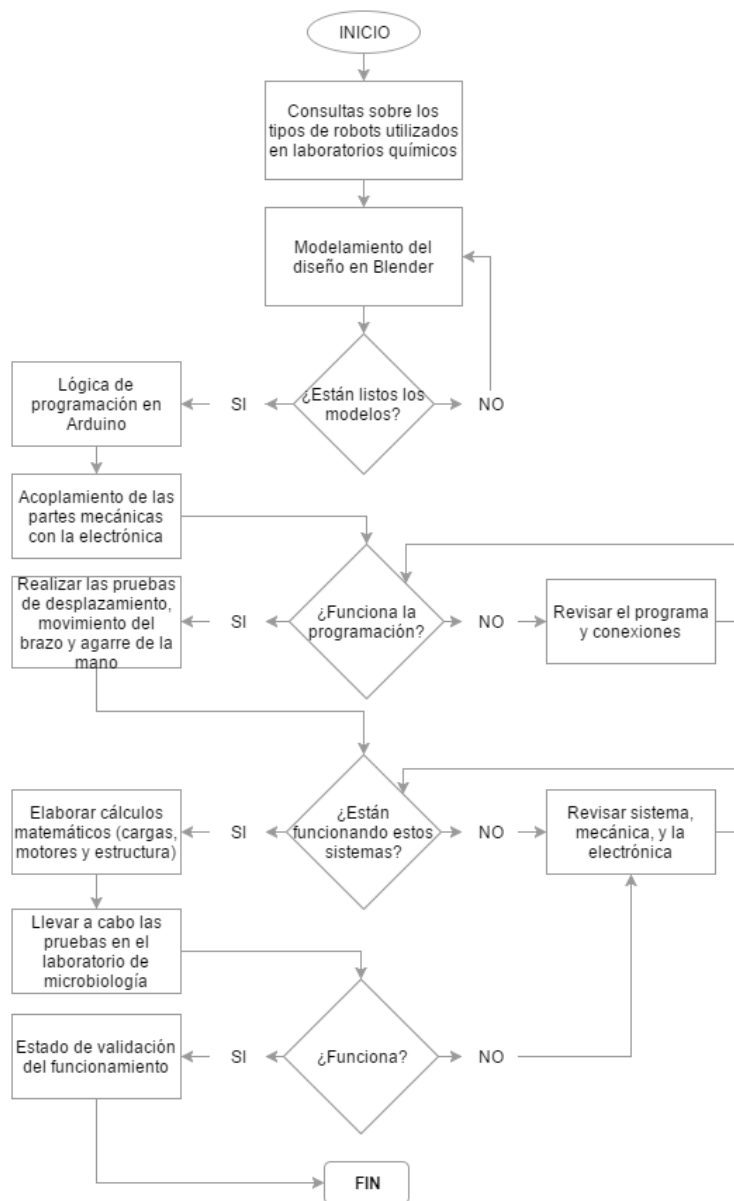
remotos que no están directamente conectados al lugar desde donde se envía el telecontrol.

3. CAPITULO 3. DISEÑO METODOLÓGICO

Este capítulo expone el modelamiento virtual del brazo manipulador, el proceso de selección de materiales para su construcción y componentes electrónicos basados en el diseño mecánico del robot que describe su comportamiento. A continuación, en la figura 5 se muestra la metodología empleada para desarrollo del robot manipulador.

3.1. Metodología

Figura 5. Diagrama de flujo del diseño



Fuente. Autor

3.2. Requerimientos y restricciones del diseño

Para la implementación del robot prototipo es necesario conocer el área del lugar de trabajo mediante los requerimientos y restricciones propuestas por parte del personal del laboratorio de microbiología de la Universidad de Cundinamarca. Para ello se realizaron medidas de largo y ancho del lugar donde se desplazará el robot, así mismo, se tuvo en cuenta la altura a la cual estarían las sustancias toxicas sobre el banco de trabajo. Por otra parte, el robot debe trasladar sustancias con un peso inferior a los 2 Kg, deberá mantener una velocidad constante y moderada para evitar derrames y choques que proporcionen accidentes. Finalmente, el robot está diseñado para manipular solamente elementos plásticos, para ello se debe mantener una fuerza de agarre en la mano de 15 Kg/cm. A continuación, en las tablas 2 y 3 se muestran los requerimientos y restricciones del lugar de trabajo y del robot manipulador respectivamente.

Tabla 2. Área del lugar de trabajo y dimensiones de los bancos de laboratorio.

LUGAR	LARGO (m)	ANCHO (m)	AREA (m²)
Laboratorio de Microbiología	8.61	6.53	56.22
Laboratorio de Nutrición (almacén de soluciones químicas)	4.92	2.15	10.57
LUGAR	ALTO (m)	ANCHO (m)	
Bancos de trabajo	0.9	1.34	

Fuente. Autor.

Tabla 3. Restricciones del robot.

ITEM	Robot
PESO LIMITE MANO	2Kg
VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL AUTOMOVIL	Constante
FUERZA DE AGARRE DE LA MANO	15Kg/cm
TIPO DE MATERIAL A MANIPULAR	Plástico
SEGURO	SI
COMODO	SI
VERSATIL	SI
MONTAJE SENCILLO	SI
ECONOMICO	SI

Fuente. Autor.

3.3. Descripción del robot

Para el diseño del robot se analizó con detenimiento el lugar de aplicación, cuyo lugar tiene por objeto el laboratorio de microbiología de la Universidad de Cundinamarca, donde se requiere prestar más atención a que los estudiantes no siempre manipulen elementos contaminantes y de ciertos grados de toxicidad. Por lo cual se desea adaptar el robot al lugar de trabajo y haciendo más optimas las necesidades del estudiante.

3.3.1. Robot

Para que este sistema se desempeñe con óptimas condiciones de manipulación y transporte, se divide en tres funciones, en la primera función se encuentra la mano robótica que tiene como objetivo la manipulación de los elementos de laboratorio con suprema firmeza y cuidado al momento de agarre para que no haya derramamientos o accidentes. La segunda función se basa en un brazo articulado de cuatro grados de libertad, el cual hace un movimiento de agarre y levantamiento del material. Finalmente, la tercera función se basa en el transporte de los elementos donde el teleoperario requiera ubicarlo.

Las características que debe presentar el robot son las siguientes:

- **Seguridad:** La mano tener un agarre óptimo al material que se desee agarrar para no tener derramamientos ni contaminación en el lugar de trabajo, además el brazo debe presentar suavidad al momento de articularse para que luego el vehículo donde se acopla el brazo arranque y transporte lo requerido, pues el operario debe entrenarse bien al momento de tele manipular el robot para que desempeñe sus funciones.
- **Comodidad:** facilidad en la manipulación y transporte de material brindando estabilidad al material que se lleva.
- **Versatilidad:** La mano se adapta con facilidad a elementos pequeños y grandes que no superen los dieciséis centímetros de diámetro, no hay dificultades en el recorrido del robot alrededor de los bancos de trabajo.
- **Montaje sencillo:** facilita al operador realizar las tareas de manipulación y transporte de material dentro del laboratorio.
- **Económico:** Es diseñado con materiales de fácil adquisición en las ferreterías.
- **Comunicación:** no hay interrupción ni fallas de la señal en el momento en que el tele operario de una orden a realizar en el lugar.

3.4. Diseño en Blender

Blender es un software dedicado principalmente al modelado de estructuras y figuras en 3D y a la animación de las mismas. En esta plataforma se pueden lograr simulaciones, edición de video entre otros. La distribución de este programa es de forma gratuita y compatible con todas las versiones de Windows, Linux, etc. Fue creado por Not a Number (NaN). Se orienta a las profesiones del diseño y multimedia y su uso se destina a crear virtualizaciones en 3D y videos de alta calidad lo que lo convierte en un programa versátil para el usuario.

En este caso Blender es usado como herramienta de modelado virtual con el cual se pretende recrear la estructura del robot para contemplar el diseño al cual se quiere llegar y corregir posibles errores de construcción. Para ello se usaron las herramientas de extrusión, corte, rotación, entre otras funciones del programa para perfilar las diferentes piezas y finalmente unirlas para crear una única estructura.

- *Renderizado.* Este término se usa para referirse a un modelo que se desarrolla por medio de un software computarizado en 3D y a partir de ese modelo se genera una imagen realista para dar una idea de cómo se vería en forma real el diseño ya que esto es un proceso lento para así conseguir los resultados finales requeridos por el diseñador. Teniendo hecho cada uno de los ensamblajes respectivos del robot en el software se realiza un renderizado para así mejorar la presentación final del robot.

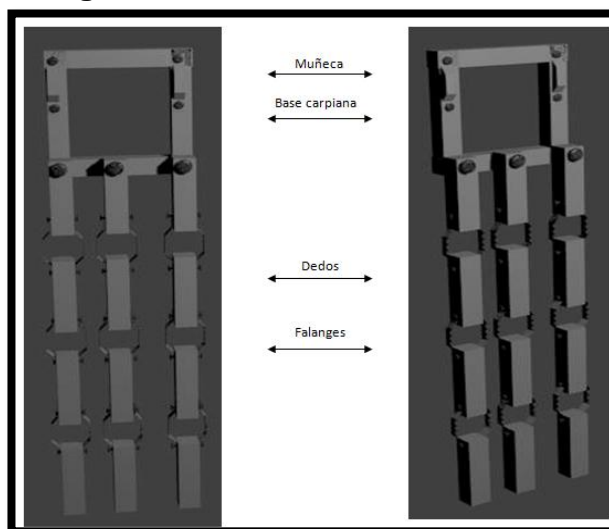
3.5. Componentes del robot diseñados en Blender

Por medio de las herramientas de modelado de Blender, se diseñan los tres componentes principales del sistema robótico: La mano, la cual se encarga de sostener los envases con los componentes químicos; el brazo, que orienta la posición de la mano y el vehículo que soporta la estructura del brazo y lo transporta al lugar deseado.

3.5.1. Mano robótica.

La mano se compone de tres dedos los cuales tienen cuatro falanges, base carpiana y muñeca, cuyo objetivo es brindar agarre en el momento de sostener los envases con contenido químico y movilidad a la estructura de la mano para llegar a ellos. A continuación en la figura 6, se muestra el diseño de la mano robótica en Blender.

Figura 6. *Partes de la mano robótica.*

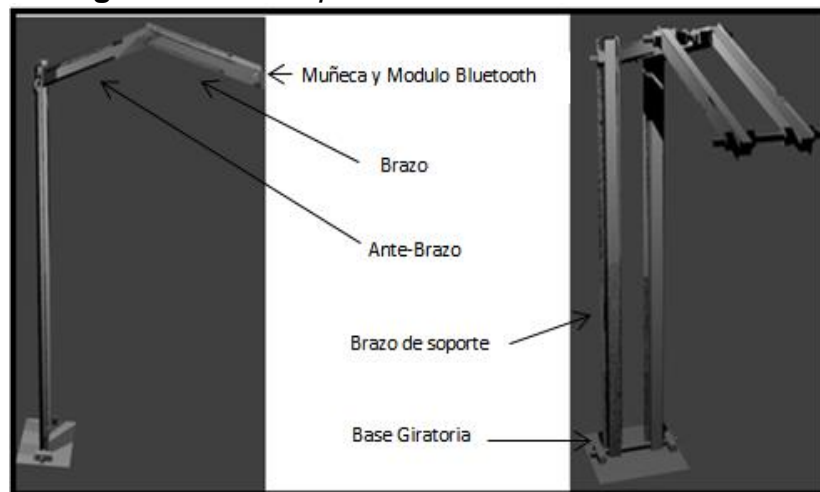


Fuente. Autor.

3.5.2. Brazo robótico de cuatro grados de libertad

El brazo está formado por cuatro secciones: base giratoria, brazo, antebrazo y muñeca, además de un módulo bluetooth. Lo anterior permite al sistema en general tener control y maniobrabilidad en el entorno así como facilidad en el transporte de materiales, esto gracias a la resistencia de la estructura la cual puede llegar a soportar una carga de 2kg manteniendo la estabilidad del brazo para no provocar accidentes en el laboratorio. En el brazo robótico se alojan 1 servomotor y tres motores DC para lograr los respectivos movimientos junto con una tarjeta madre que contiene un dispositivo de comunicación para que el teleoperario manipule con gran facilidad el brazo. A continuación en la figura 7 se observan las partes que conforman el brazo robótico:

Figura 7. Partes que conforman el brazo robótico.

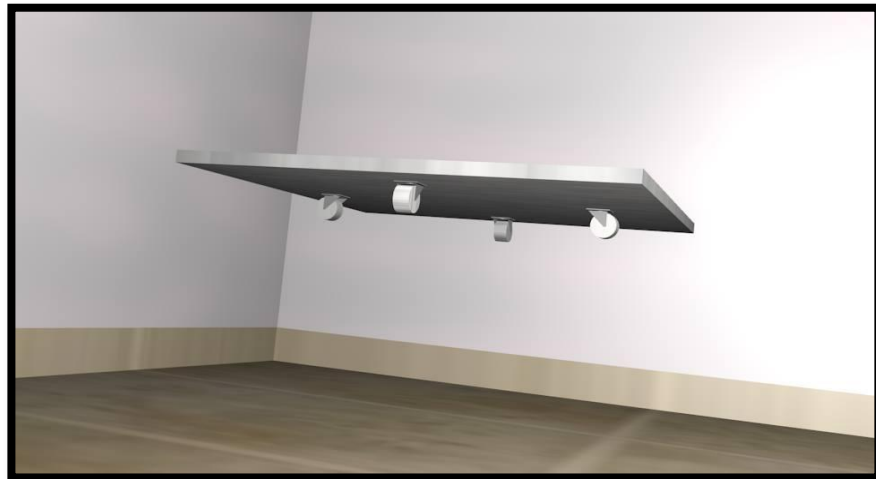


Fuente. Autor.

3.5.2.1. Base rotatoria del brazo

La base tiene como función soportar la estructura del brazo y brindarle a la misma una rotación de 90 grados sobre su mismo eje. A continuación en la figura 8 se observa el diseño de la base rotatoria:

Figura 8. *Base rotatoria.*

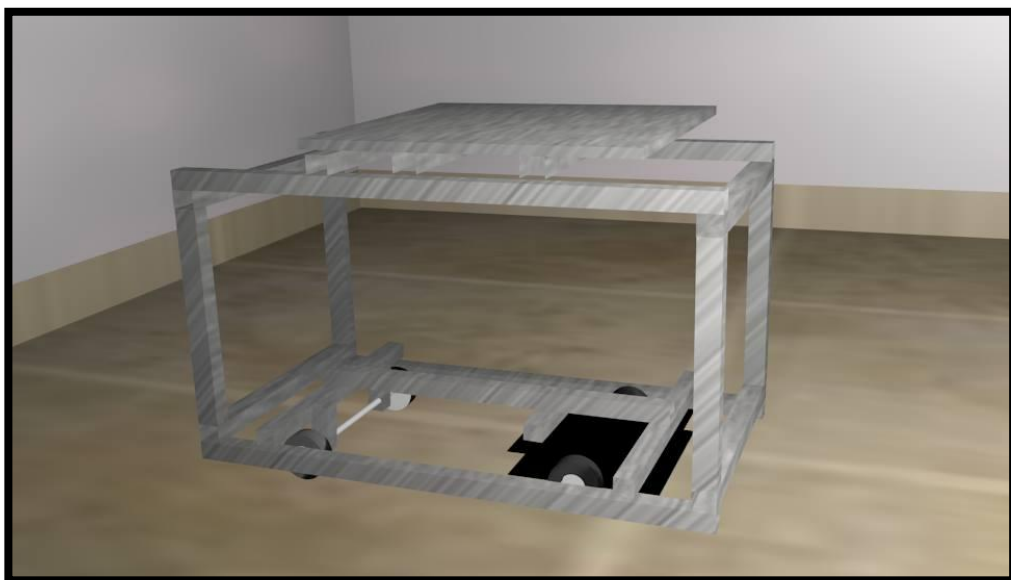


Fuente. Autor.

3.5.3. Vehículo

El vehículo se construye con forma rectangular, dentro de la cual se alojaran los mecanismos de amortiguación y dirección del vehículo así como los engranajes necesarios para ofrecer un torque óptimo para el movimiento del carro; también se alojan elementos electrónicos de comunicación y potencia para su debido funcionamiento.

Figura 9. *Vehículo de transporte del brazo.*



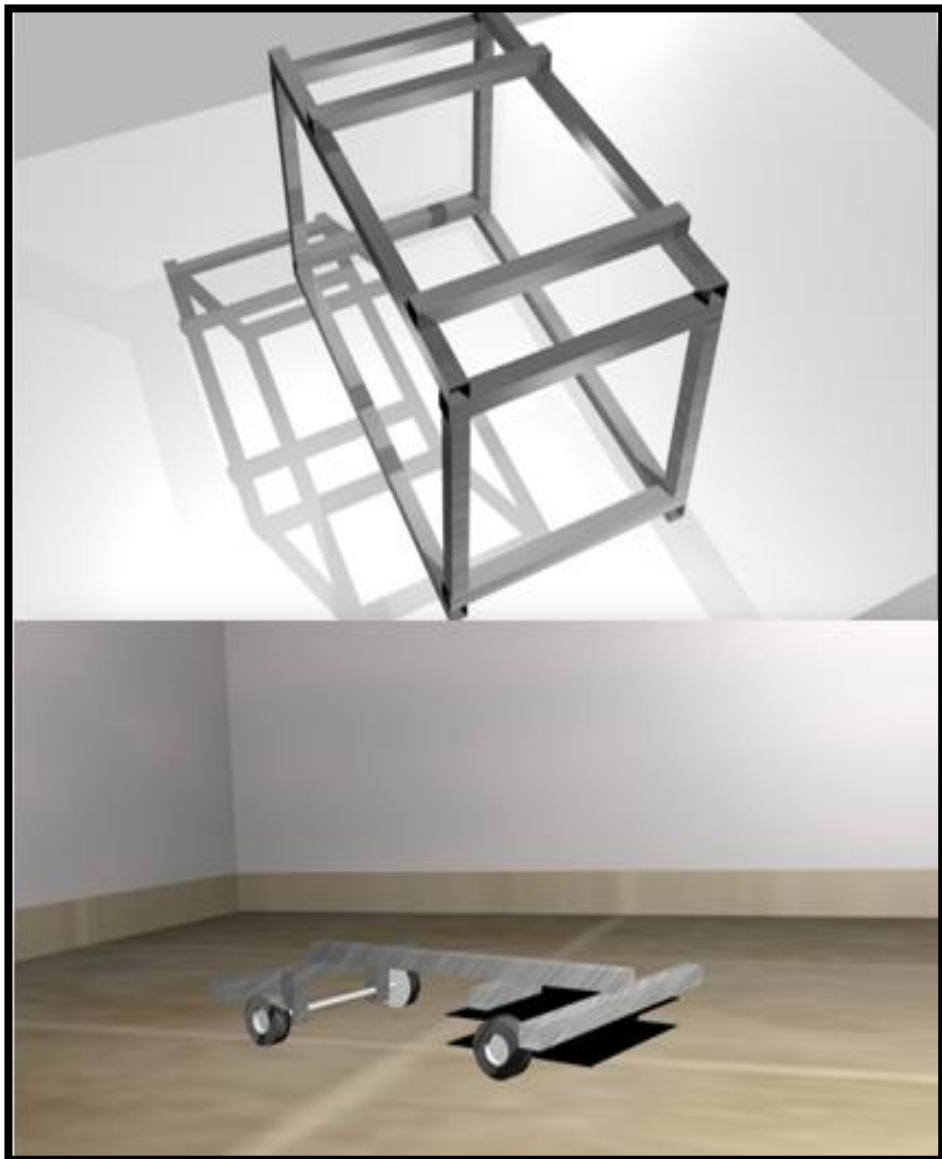
Fuente. Autor.

Los componentes del vehículo de radio control son:

3.5.3.1. Chasis

Como se ve en la Figura 10, el chasis es un conjunto de elementos que unidos dan forma estructural que sostiene y da rigidez y a su vez da forma a un diseño en construcción. Su función es sostener todas las partes mecánicas como el motor y la electrónica, y es aquella que conectara las cuatro ruedas y es allí donde se recibirá todas esas cargas. También se debe tener en cuenta en el diseño factores como el peso, resistencia, sencillez, rigidez torsional.

Figura 10. *Chasis del vehículo de transporte del brazo.*

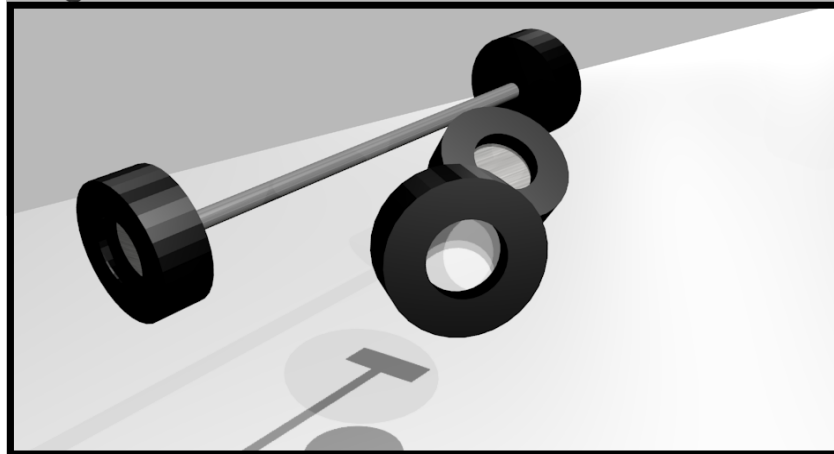


Fuente. Autor.

3.5.3.2. Llantas

Las llantas utilizadas en robots móviles son normalmente plásticas, la cuales poseen un neumático con un acople metálico para conectar un eje o un motor directamente como se ve en la Figura 11.

Figura 11. *Llantas del carro del robot.*



Fuente. Autor.

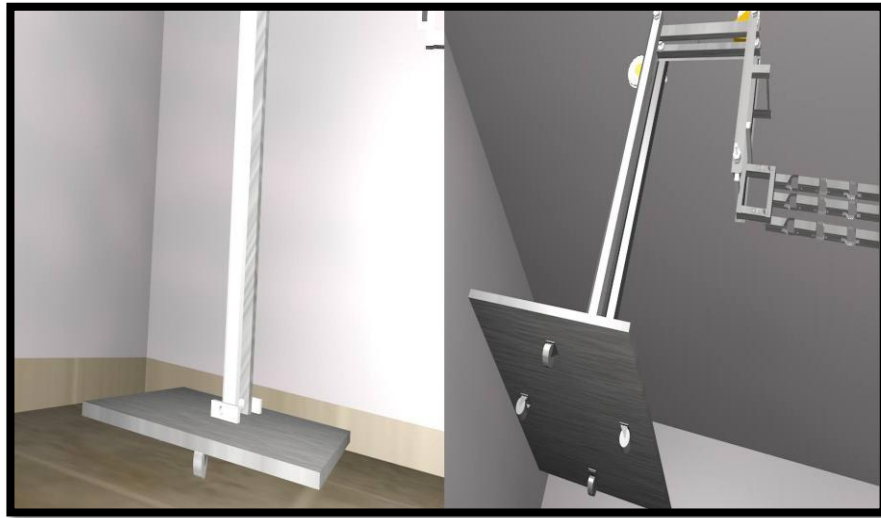
3.6. Funcionamiento

El robot posee un brazo el cual tiene cuatro grados de libertad para facilitar el recorrido en distancia, en el momento en que la mano agarre un objeto para ser transportado. A continuación se describe en forma ordenada cada una de sus funciones:

3.6.1. Rotación del brazo

El brazo se reposa sobre una torreta la cual cuenta con una rotación de 360 grados y es accionada por un pulsador que activa un motor DC que gira de acuerdo al tiempo en el cual se mantenga presionado el pulsador, esto se puede observar en la figura 12:

Figura 12. Esquema de la base rotatoria del brazo

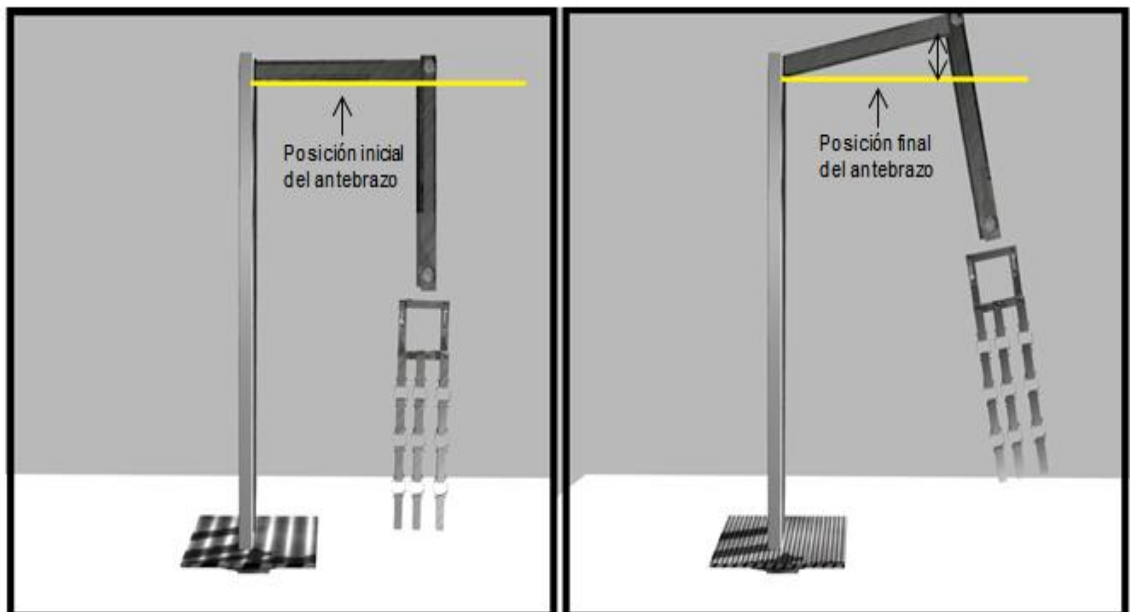


Fuente. Autor.

3.6.2. Rotación del antebrazo y brazo.

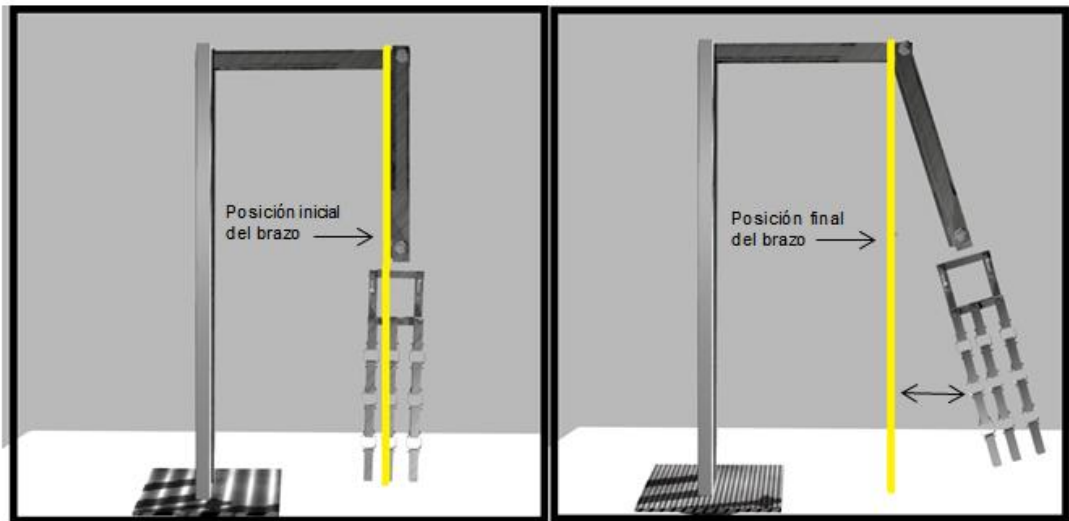
Para el respectivo movimiento del antebrazo y el brazo, el motor DC que se aloja en la articulación correspondiente se activa por un pulsador que tiene el teleoperario, permitiendo así la rotación. A continuación se puede observar en la figura 13 lo mencionado anteriormente:

Figura 13. Rotación del antebrazo



Fuente. Autor.

Figura 14. Rotación del Brazo.

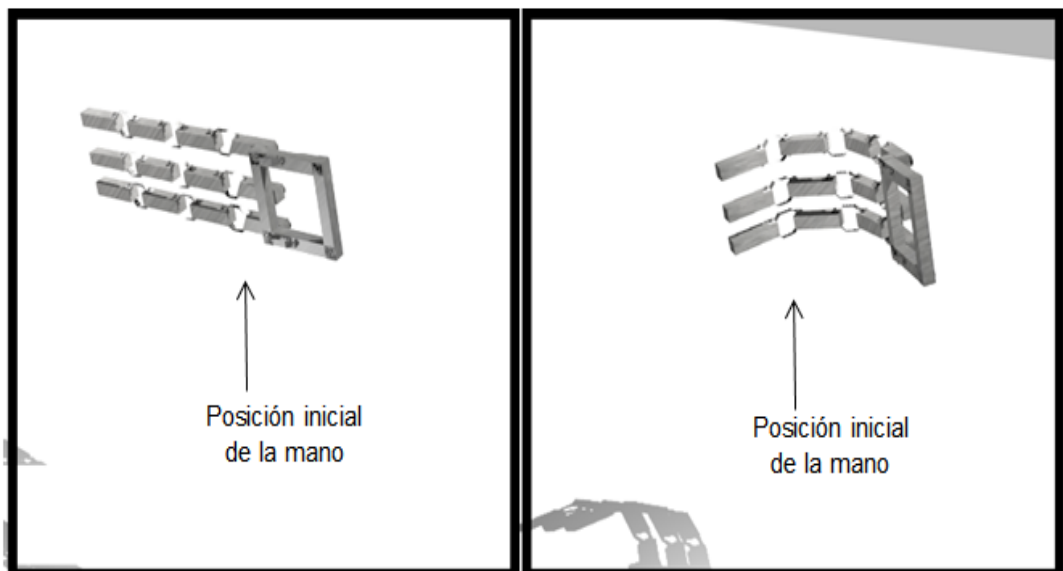


Fuente. Autor.

3.6.3. Movimiento de la mano

El servomotor que se aloja en la muñeca que posteriormente la ubica en una posición vertical en el momento de depositar algún objeto. Este debe hacerlo con extremo cuidado y delicadeza evitando así un accidente.

Figura 15. Esquema de la muñeca

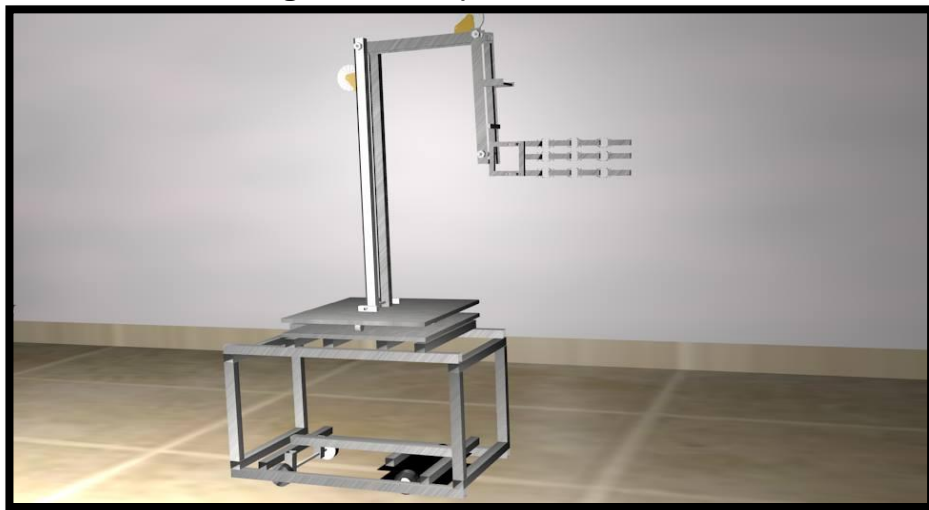


Fuente. Autor.

3.6.4. Desplazamiento horizontal y dirección

Este vehículo tiene un desplazamiento horizontal gracias a un mecanismo de engranes y un motor eléctrico (ver figura 16) de un torque que debe ser considerable para obtener una fuerza eficiente al momento de moverse en el laboratorio. No obstante enfocándonos a la mecánica de la dirección, cuenta con un servomotor que contiene un disco metálico con una barra de metal la cual permite el giro de las llantas y así dar direccionamiento al vehículo. En la imagen respectiva se toma como referencia el vehículo diseñado para el proyecto y como vemos tiene componentes que se relacionan para obtener movimiento y estabilidad en la estructura.

Figura 16. *Esquema del Robot.*

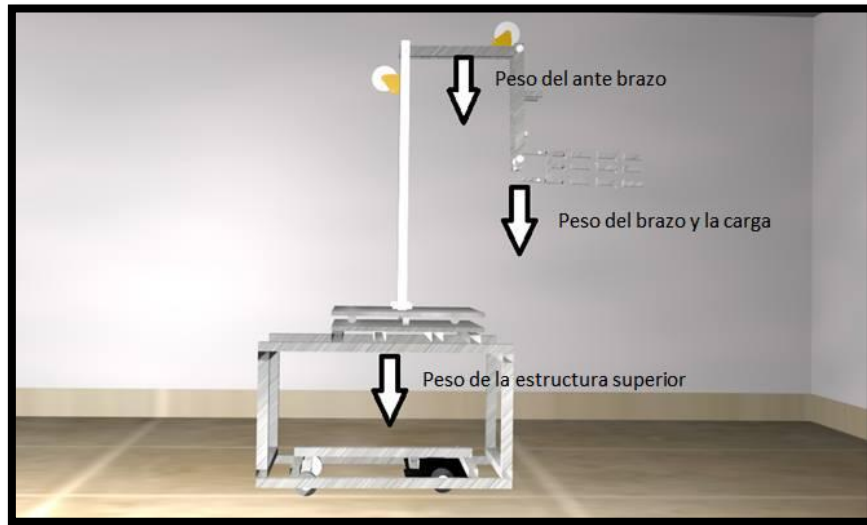


Fuente. Autor

3.7. Consideraciones Matemáticas

A continuación en la figura 17 se lleva a cabo el análisis estructural que permita por medio de formulamiento mecánico que permita conocer el conjunto de esfuerzos, reacciones y torques que actúan sobre la estructura, afectando el comportamiento del material y componentes electrónicos.

Figura 17. Distribución de pesos para el brazo y ante brazo.



Fuente. Autor.

De acuerdo a la Figura 17, los pesos de la estructura se definen como:

$$w_{total} = P_m + P_L + (P_B * 2) \quad (1)$$

$$w_{total} = 0.1139Kg + 2Kg + (0.099 * 2) = 2.311Kg \quad (2)$$

$$w_{brazo} = (0.099 * 2)kg = 0.198 Kg \quad (3)$$

Dónde:

w_{total} = *Peso Total del ante brazo y mano*

P_m = *Peso de la mano*

P_L = *Peso máximo de la carga en la mano*

P_B = *Peso de las barras del ante brazo*

w_{brazo} = *Peso del brazo*

De acuerdo a los valores anteriores, se calcula la fuerza para cada peso teniendo en cuenta que fuerza es resultado de la masa por la gravedad. Por lo tanto se obtiene:

$$Fuerza = Peso(Kg) * gravedad(m/s) \quad (4)$$

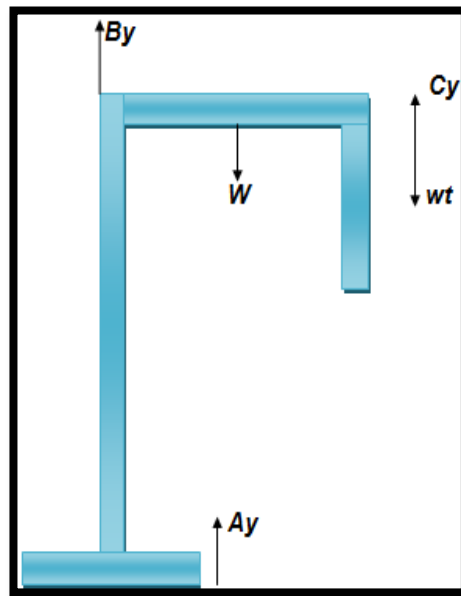
$$F_{\text{brazo y mano}} = 2.311 \text{Kg} * \frac{9.8 \text{m}}{\text{s}} = 22.6797 \text{N} \quad (5)$$

$$w_t = 2.311 \text{Kg} * 9.8 \text{m/s} = 22.6478 \text{N} \quad (6)$$

$$w = 0.198 \text{Kg} * 9.8 \text{m/s} = 1.9404 \text{N} \quad (7)$$

Motor A

Figura 18. Diagrama de cuerpo libre para apoyo en la base



Fuente. Autor.

$$B_y = 0.9752 \text{N} \quad (8)$$

$$C_y = 25.6507 \text{N} \quad (9)$$

$$w = 22.6478 \text{N} \quad (10)$$

$$\sum F_y = A_y + B_y - w + C_y - w_t \quad (11)$$

$$A_y = -B_y + w - C_y + w_t \quad (12)$$

$$A_y = 0.9752 \text{N} + 1.9404 \text{N} - 23.6507 \text{N} + 22.6478 \text{N} = 1.91 \text{N} \quad (13)$$

$$F_{max} = \frac{1.91N * (1.5) \rightarrow \text{factor de seguridad}}{0.85 \rightarrow \text{coeficiente de eficiencia del motor}} = 3.3753N \quad (14)^{21}$$

$$\text{Torque} = F_{max} * \text{antebrazo} \quad (15)$$

$$\text{Torque} = 3.3753N * 1.15m = 3.88Nm \quad (16)$$

Las fuerzas By y Cy se calculan más adelante, en esta parte se mencionan para poder desarrollar y calcular las variables que actúan sobre el motor A.

Rozamiento por rodadura

Este se produce cuando dos sólidos están en contacto y uno rueda sobre el otro. Sin embargo aplicando esto a un caso ideal, la rodadura no tendría rozamiento ya que esta solo se produce en un punto en donde la velocidad es nula, pues en este caso se presenta, cuando hay dos sólidos perfectamente indeformables; en el caso de una llanta, ocurre que la parte que roza el suelo se deforma y es ahí donde se presentan las fuerzas que actúan sobre ella.

$$C_r = \frac{Z}{d} \quad (17)$$

d = Diámetro de la rueda

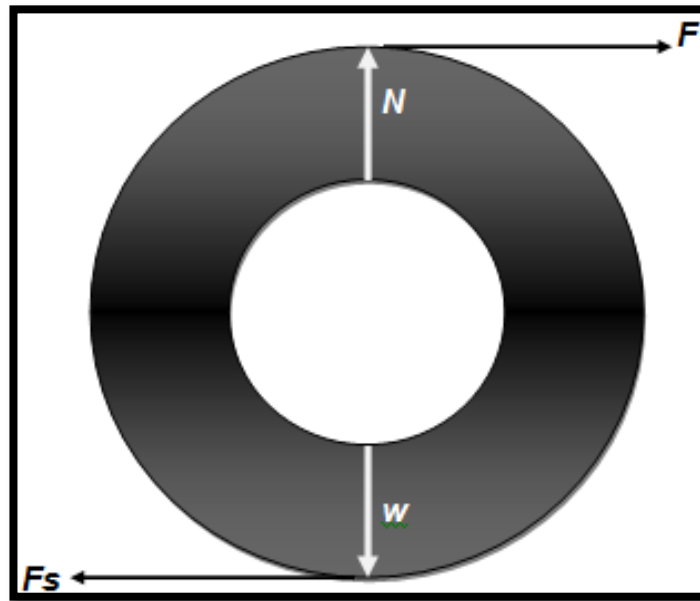
Z = Distancia de hundimiento

$Z = 0.3mm = 0.003m$

$d = 6.5cm = 0.065m$

²¹ http://www.igm.mex.tl/images/5147/Factor%20de%20Seguridad_Servicio_Dise%C3%B1o.pdf

Figura 19. Diagrama de fuerzas en la rueda en el plano horizontal



Fuente. Autor.

$$\sum F_x = F - F_s = 0 \quad (18)$$

$$\sum F_y = N - w = 0 \quad (19)$$

$$Nd - F_s r = 0 \quad (20)$$

Resolviendo

$$w - d_1 = F_r \rightarrow F = \frac{d_1}{r} w \quad (21)$$

$$C_r = \frac{d_1}{r} \rightarrow F = C_r * w \text{ peso} \quad (22)$$

$$C_r = \sqrt{\frac{0.003m}{0.065m}} = 0.2148m \quad (23)$$

$$C_r = \frac{0.003m}{0.065m} = 0.046m \quad (24)$$

$$F = 0.046m * \left(11Kg * \frac{9.8m}{S} \right) = 4.95N \quad (25)$$

$$M = 4.95N (0.035) = 0.17Nm \quad (26)$$

Fricción por rozamiento²²

Se produce por dos cuerpos en contacto, ya que por su naturaleza oponen resistencia a cualquier tipo de movimiento de uno respecto al otro.

Neumático – Terreno firme = 0.4 – 0.6

Deslizamiento

$$N = m * g \quad (27)$$

Velocidad constante

Un elemento que tiene trayectoria circular puede tener rapidez constante pero no velocidad constante ya que la dirección del movimiento está en constante cambio.

$$F = F_D \quad (28)$$

$$F_D = U * Normal \quad (29)$$

$$F_D = 0.5 * (11Kg * 9.8) = 53.9N \quad (30)$$

$$T = 53.9N(0.0325) = 1.75Nm \quad (31)$$

Rozamiento estático²³

Depende de las condiciones y naturaleza de cada material las cuales son casi independientes del área de superficie de contacto

Caucho – Concreto = $U_s = 1.0$, $U_k = 0.8$

$$F = F_s \quad (32)$$

$$F = 1.0(107.8N) = 107.8N \quad (33)$$

²² Tabla de valores de los coeficientes. Pág. 8. Goma (neumático) sobre terreno firme. <http://www.uv.es/dae/Apunte4.pdf>

²³ Tabla de valores de los coeficientes. Pág. 8. Caucho sobre concreto. <http://www.uv.es/dae/Apunte4.pdf>

$$F = 0.8(107.8N) = 86.24N \quad (34)$$

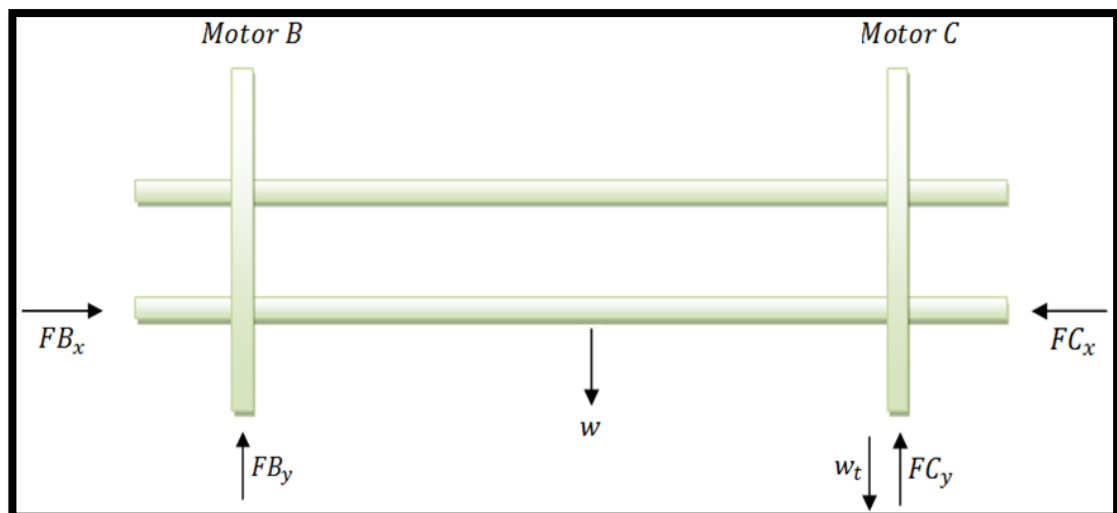
$$T = 3.5Nm \quad (35)$$

$$T = 2.8Nm \quad (36)$$

Calculo por armadura para el Ante brazo

Una armadura es una estructura de barras unidas por sus extremos de modo que formen una estructura rígida y estable, es decir que la sumatoria de sus fuerzas sea igual a cero.

Figura 20. Análisis de fuerzas para el antebrazo.



Fuente. Autor.

Como se observa en la Figura 20, se descompone en un plano las fuerzas y reacciones que afectan a la estructura en estudio y se desarrollan ecuaciones que permitan hacer el análisis estructural para conocer el valor de fuerzas generadas en los apoyos.

$$\sum F_x = FB_x = FC_x = 0 \quad (37)$$

$$\sum F_y = FB_y + FC_y - w - w_t = 0 \quad (38)$$

$$\sum M_B = -w(0.25) - w_t(0.50) + FC_y(0.50) \quad (39)$$

$$0.5 * FC_y = (1.9422N * 0.25m) + (22.6797N * 0.5m) \quad (40)$$

$$FC_y = \frac{0.4855Nm + 11.3398Nm}{0.5} = 23.6507N \quad (41)$$

Despejando F_{By}

$$F_{By} = -23.6507N + 1.9422N + 22.6797N = 0.9752N \quad (42)$$

Una vez conocidas las reacciones en los diferentes apoyos (pasadores), se aplican las fórmulas para el esfuerzo máximo generado, el toque, el esfuerzo máximo cortante y la potencia eléctrica de los motores.

Para el motor B

$$FC_y = 23.6507N \quad (43)$$

$$Fuerza\ maxima = \frac{FC_y * Factor\ Seguridad}{eficiencia\ del\ motor} \quad (44)$$

$$Fmax = \frac{23.6507 * 1.5}{0.85} = 41.7365N \quad (45)$$

$$T = Fmax * 0.5m \quad (46)$$

$$T = 41.7365N * 0.5m = 20.8682Nm \quad (47)$$

$$\tau_{max} = \frac{TC}{J} \quad (48)$$

$$\tau_{max} = \frac{20.8682Nm (0.0125)}{\frac{\pi}{2} (0.0125)^4} = 6.80 * 10^6 Pa \rightarrow 6.8MPa \quad (49)$$

$$\tau_{max\ Aluminio} = 70MPa \quad (50)$$

Potencia

$$P = T * w \quad (51)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 1.25 \text{ rad/seg} \quad (52)$$

$$P = 26.0852 \text{ watts} \quad (53)$$

Motor C

$$FB_y = 0.9712N \quad (54)$$

$$\begin{aligned} \text{Fuerza maxima} &= \frac{FC_y * \text{Factor Seguridad}}{\text{eficiencia del motor}} \quad F_{max} = \frac{0.9712N(1.5)}{0.85} \\ &= 1.7138N \end{aligned} \quad (55)$$

$$T = 1.7138N(0.5m) = 0.8569Nm \quad (56)$$

$$T_{max} = \frac{0.8569Nm(0.0125)}{\frac{\pi}{2}(0.0125)^4} = 0.2793 * 10^6 Pa \rightarrow 0.2793Pa \quad (57)$$

$$\omega = 1.25 \frac{\text{seg}}{\text{rad}} \quad (58)$$

$$P = T * \omega = 1.0711 \text{ watts} \quad (59)$$

Donde para ambos casos

$F_{max} = \text{Fuerza Máxima}$

$T = \text{Torque}$

$T_{max} = \text{Esfuerzo Ultim o máximo}$

$\omega = \text{Velocidad angular}$

$P = \text{Potencia del motor}$

3.7.1. Implementación al diseño Perfilara de aluminio

Las poleas son sistemas de transmisión de fuerzas, y son implementadas con la finalidad de disminuir el esfuerzo generado por una carga, obteniendo una ventaja mecánica sobre el sistema venciendo la resistencia.

Figura 21. Sistema de Poleas.

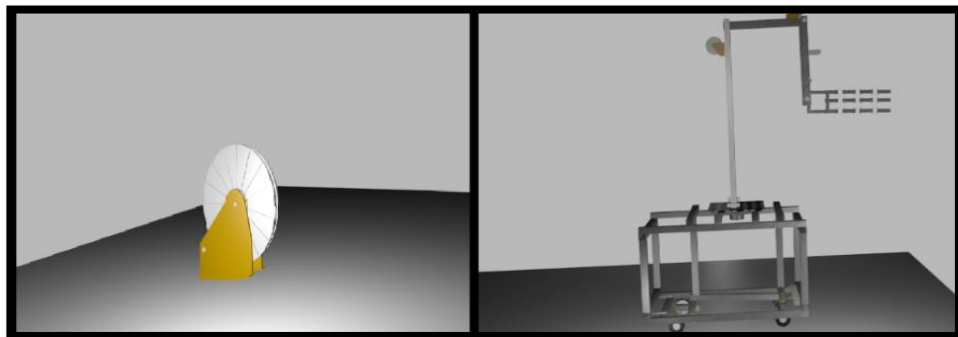


Fuente. Calculo con poleas Fijas y móviles.

URL. <https://eudotec.wordpress.com/2013/02/11/calculos-con-polea-fijas-y-moviles/>

En este caso y teniendo en cuenta los resultados anteriores se plantea agregar al diseño un sistema de poleas como se ve en la Figura 21, que permita aumentar el torque del motor en el número de poleas usadas.

Figura 22. Implementación de Poleas al diseño.



Fuente. Autor.

Teniendo en cuenta lo anterior se aplica la fórmula 60, que permitirá conocer la fuerza que soportara cada una de las cadenas de transmisión implementadas.

$$F = \frac{\text{Resistencia}}{\text{Número de poleas móviles}} * \text{Gravedad} \quad (60)$$

3.7.1.1. Sistema de Engranajes para el antebrazo

A continuación se desarrollan los cálculos necesarios para conocer las diferentes variables que actúan en el antebrazo, sobretodo el torque necesario que se efectúa utilizando engranajes para disminuir esfuerzo y aumentar eficiencia de trabajo. Para realizar los cálculos necesarios se deben conocer algunos parámetros del motor y el número de dientes de los engranajes a utilizar.

Tabla 4. Características del motor DC y engranajes

Características Motor DC	Características Engranajes
RPM = 2400	1 piñón helicoidal = 50 dientes
Potencia = 134.4W	1 husillo = 5 entradas
Torque = 0.53 Nm	

Figura 23. Pivote para demostración de fuerzas



Fuente. Autor.

$$F(0.05) = 19.6N * 0.45m \quad (61)$$

$$F = \frac{19.6N * 0.45m}{0.05} = 21.7N \quad (62)$$

$$RPM \text{ salida} = \frac{RPM \text{ entrada} * (\# \text{ entradas husillo})}{\# \text{ dientes engranaje}} \quad (64)$$

$$RPM \text{ salida} = \frac{2400 \text{ RPM} * (5)}{50} = 240 \text{ RPM} \quad (65)$$

→ RPM de salida del sistema

$$w = \frac{2\pi * RPM}{60} \quad (66)$$

$$w = \frac{2\pi * 240}{60} = 25.13 \text{ rad/s} \quad (67)$$

$$T = \frac{\# \text{ Dientes}}{\# \text{ Entradas}} * \text{torque entrada} \rightarrow \text{TORQUE} \quad (68)$$

$$T = \frac{50}{5} * 0.53 = 5.3 \text{ Nm} \quad (69)$$

$$\text{FUERZA} = \frac{\text{TORQUE}}{\text{DISTANCIA}} \quad (70)$$

$$\text{FUERZA} = \frac{5.3 \text{ Nm}}{0.07 \text{ m}} = 75.71 \text{ N} \quad (71)$$

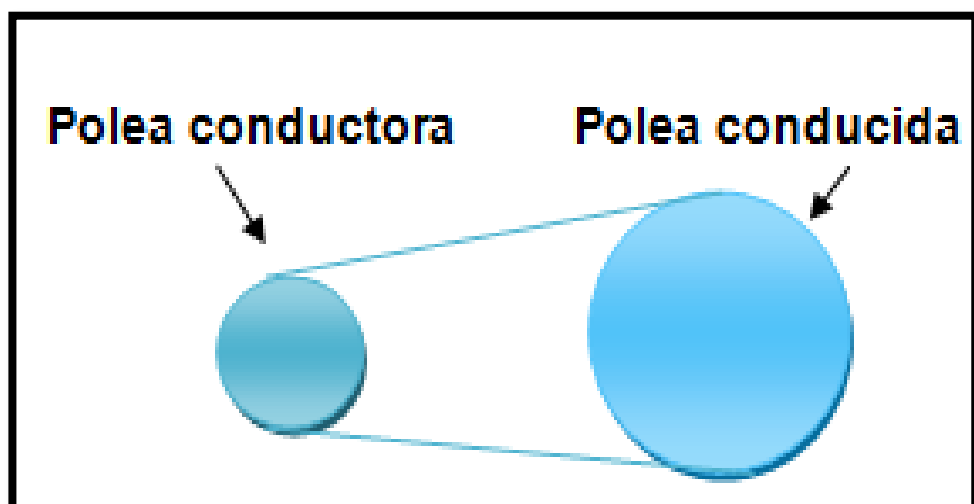
$$\text{Potencia} = \text{torque} * w \quad (72)$$

$$\text{Potencia} = 5.3 \text{ Nm} * 25.13 \text{ rad/s} = 133.18 \text{ W} \quad (73)$$

3.7.1.2. Sistema de Poleas del Brazo

Con la implementación de este sistema de poleas (ver figura 24) se busca incrementar el torque que ejerce el motor para poder levantar el brazo con su respectiva carga, en pocas palabras compensa la fuerza necesaria para que el motor no se extralimite y pueda dañarse.

Figura 24. Disposición de las poleas



Fuente. Autor.

Tabla 5. Características del motor dc y diámetro de poleas

CARACTERISTICAS DEL MOTOR DC Y DIAMETRO DE POLEAS	
Velocidad del motor	15RPM
Diámetro polea #1	0.02m
Diámetro polea #2	0.085m

$$RPM\ salida = \frac{RPM\ entrada * (diámetro\ #1)}{diámetro\ #2} \quad (74)$$

$$RPM\ salida = \frac{15\ RPM * (0.02m)}{0.085m} = 3.52\ RPM \quad (75)$$

RPM de salida del sistema

$$w = \frac{2\pi * 3.52\ RPM}{60} = 0.3695 \frac{rad}{s} \rightarrow \text{velocidad angular} \quad (76)$$

$$Torque\ salida = \frac{diámetro\ #2}{(diámetro\ #1)} * torque\ entrada \quad (77)$$

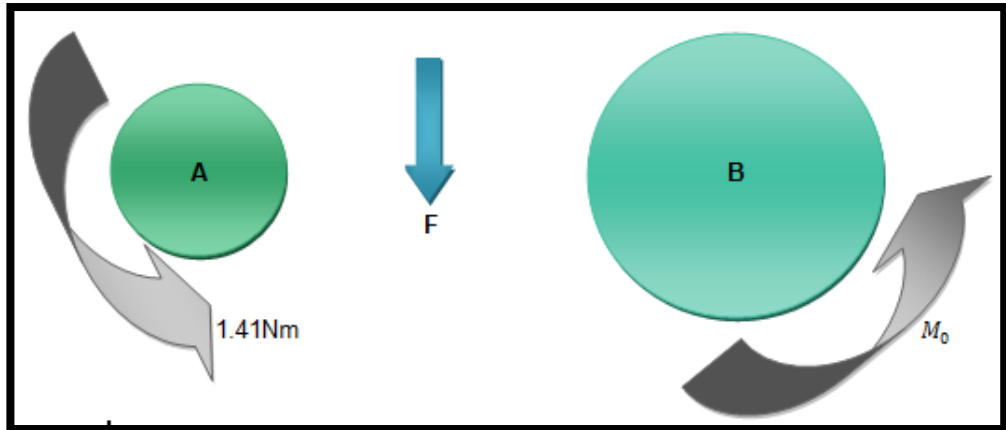
$$Torque\ salida = \frac{0.085m}{0.02m} * 1.47\ Nm = 6.24\ Nm \quad (78)$$

$$P = 6.24\ N * 0.3695 \frac{rad}{s} = 2.2909\ W \quad (79)$$

3.7.1.3. Sistema de Engranajes para el desplazamiento del vehículo

Con este sistema de engranes se pretende incrementar el torque del motor. Para ello se realiza el modelo matemático que permite tener un valor de referencia del torque que se aplicara para mover toda la estructura.

Figura 25. Variables que intervienen en los engranajes



Fuente. **Autor.**

$$\sum M_A = 1.47Nm - F(0.0075m) = 196N \quad (80)$$

$$\sum M_B = M_o - 196N(0.0255m) = 4.998N \quad (81)$$

3.8. Selección de materiales y componentes del robot

A continuación se expone el proceso de selección de materiales para la construcción estructura del robot así mismo como la selección de los componentes electrónicos para el funcionamiento del brazo robótico.

3.8.1. Selección de material para la construcción de la estructura.

Se busca un material para la estructura que sea liviano, económico y que soporte el peso máximo de carga designado a la estructura. Para ello se ha realizado un cuadro comparativo entre diferentes materiales con el fin de seleccionar aquel que cumpla con las especificaciones nombradas anteriormente.

Tabla 6. *Tabla comparativa de materiales para construcción de la estructura.*

Material	Esfuerzo ultimo(MPa)	Elasticidad (MPa)	Resistencia a la corrosión	Costo
Aluminio	70	70.000	Si	Barato
Madera	50 - 100	2626.4	No aplica	Caro
Acero	340 - 830	210.000	Si	Caro

Fuente. Tracción, compresión y esfuerzo cortante. **URL.**

<https://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema01.pdf>

Se opta por utilizar piezas de aluminio ya que reúne una serie de propiedades mecánicas excelentes dentro del grupo de materiales seleccionados y dentro del grupo de los metales no féreos en general, sin embargo aquí se ha escogido por ser un material liviano, de bajo costo y resistente al peso de carga de la estructura, ya que el esfuerzo máximo soportado por la estructura es de 6.8 MPa, y el del material es de 70 MPa.

3.8.1.1. Perfilaría de aluminio

Se seleccionan barras de aluminio cuadradas con aleta sencilla de una pulgada de diámetro para el brazo y para el antebrazo barras de aluminio de media pulgada con doble aleta, para la base se selecciona una base giratoria de un computador de mesa el cual es de hierro y plástico. Siguiendo con el chasis del vehículo se utilizaron barras de aluminio sin aleta de media pulgada así como tornillos de pulgada y media para el acople de cada pieza, y sus articulaciones son atravesadas por un tornillo roscado de medio centímetro de diámetro

3.8.2. Selección de componentes electrónicos

3.8.2.1. Actuadores

Los actuadores implementados en el robot son eléctricos de corriente continua, de los cuales seis son servomotores MG995 de rotación continua de 15kg de torque y un motor Pittman GM8712G749 que se usa en el desplazamiento del vehículo acompañado de una Piñonería.

Figura 26. Servomotor MG995 de rotación continua.



Fuente. Servomotor MG995 Piñonería Metálica 180°. URL. <https://www.vistronica.com/robotica/motores/servomotor-mg995-pinoneria-metalica-180-detail.html>

Figura 27. Motor Pittman GM8712G749



Fuente. Pitmman. URL. www.Ebay.com

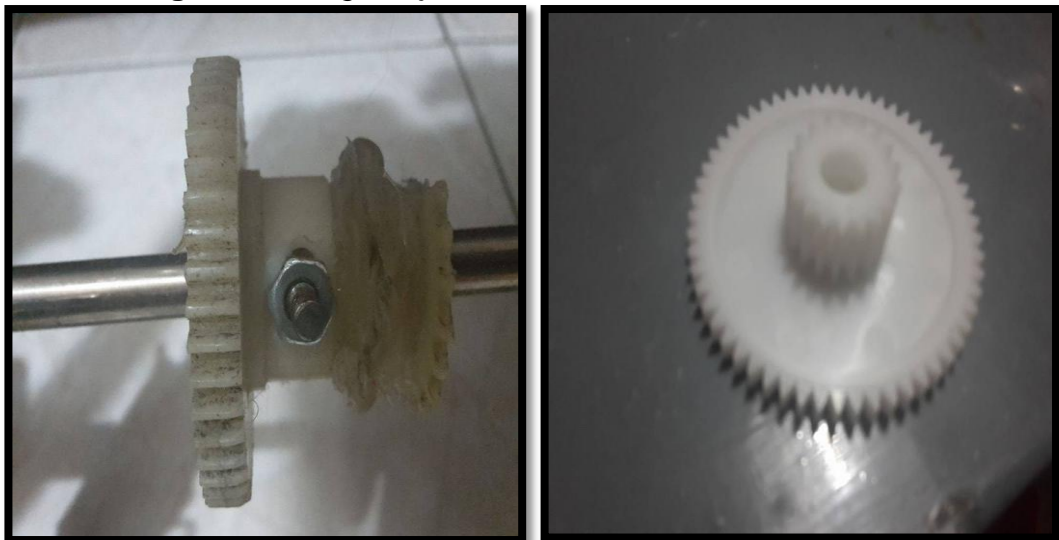
3.8.2.2. Ejes

Se utilizan tornillos roscados de medio centímetro para las articulaciones del brazo y para el vehículo un eje trasero metálico liso de medio centímetro de diámetro.

3.8.2.3. Engranajes

En el eje de las ruedas traseras se acopla un engrane de relación de dientes de 24 y un engranaje que va en el eje del motor de tipo helicoidal para la transmisión de fuerza y así poder mover la estructura. Sin embargo para la instalación se opta por obtener una posición de reposo del motor donde no se produzca demasiada vibración dependiendo la velocidad del motor y el desplazamiento del vehículo en el laboratorio.

Figura 28. *Engranajes de arrastre del vehículo robótico.*



Fuente. Autor.

3.9. Mando de control

En todo sistema que requiera dar una orden y transmitir información sin medios alámbricos, se toma como primera medida la utilización del emisor y receptor, donde el emisor será el mando que controlara y dará ordenes al vehículo que será el receptor.

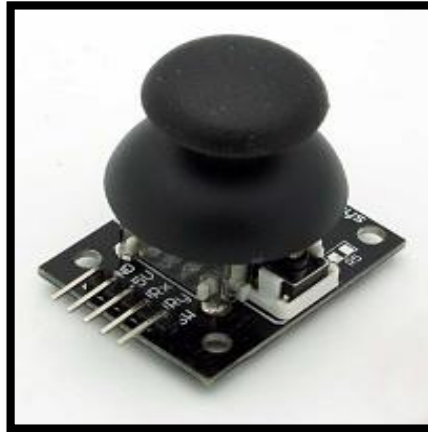
3.9.1. Estructura del mando de control

A continuación se muestra el conjunto de componentes que conforman el mando y la función dentro del sistema.

3.9.1.1. Joystick

Es la palanca de mando y en el robot esta será la que dará la orden de movimiento del vehículo ya que controlara el giro de las llantas delanteras para la dirección y también para hacer que avance o retroceda.

Figura 29. Esquema del Joystick KY-023.

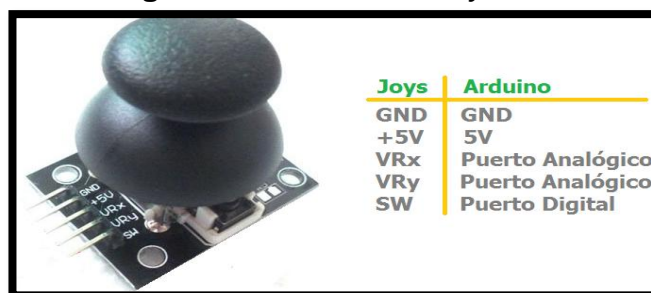


Fuente. Joystick KY-023.URL. www.Ebay.com

- **Componentes del control de mando “JOYSTICK”**

Como el mando a utilizar será el Joystick se explicaran sus partes y por consiguiente constara del Arduino uno y el módulo de RF Transmisor y Emisor de 433 MHz, para la comunicación con el vehículo.

Figura 30. Partes del Joystick



Fuente. Joystick KY-023.URL. www.Ebay.com

- GND: tierra del módulo.
- +5V: voltaje de alimentación necesario para el debido funcionamiento.
- VRx: puerto analógico que controlara el eje X.
- VRy: puerto analógico que controlara el eje Y.
- SW: switch el cual va conectado a un puerto digital.

3.10. Análisis y arquitectura hardware de control

3.10.1. Sistema de procesamiento

Con ello se genera información para obtener el manejo o control, lo que quiere decir que se convierte el dato en información en donde interviene unos procesos con los cuales se hace funcional, estos son: ingreso (dato), memorización, proceso y salida (información). Sin embargo para lograr este objetivo se necesitan elementos físicos los cuales esta desarrollados para funcionar y cumplir los procesos mencionados anteriormente. Este elemento se llama microcontrolador.

3.10.2. Microcontrolador

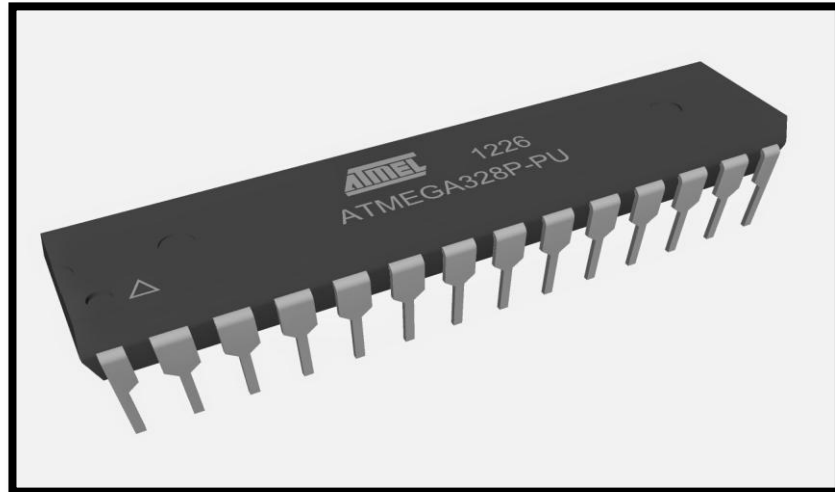
El microcontrolador es un circuito integrado el cual tiene en forma embebida la unidad central de procesamiento, unidades de memoria RAM y ROM, puertos de entrada y salida y periféricos. Por consiguiente estas partes están interconectadas en conjunto, pues gracias a esta funcionalidad se puede tener el gobierno de varios o múltiples procesos y para que sea válido esto se requiere un programa que se graba en el Microcontrolador para que realice dichas funciones. Su función principal es leer y ejecutar los programas que el usuario ingresa, de hecho esto se genera con la programación que es indispensable en el momento de diseñar circuitos y sistemas que los incluyan. La simplificación lograda con los microcontroladores es grande ya que nos evitan generar circuitería analógica para realizar los procesos y funciones que se necesiten. Sin embargo estos dispositivos procesan e interpretan los datos de forma binaria con patrones de 1 y 0, y es así como se interpreta el lenguaje de máquina, pues estos representan la unidad mínima de información conocida como bit. Por consiguiente para algunas personas les resulta una forma con cierto grado de dificultad al manejar este sistema, por ello se debe familiarizarse primero de una forma adecuada para el buen uso y manejo del microcontrolador.

Hay gran variedad de lenguajes de programación que vienen ya sea de bajo nivel hasta alto nivel y pues estos son los más utilizados y contienen variedad de frases o palabras que indican algún tipo de orden o función para así

asemejar la programación al lenguaje humano, los más familiares son el lenguaje C, C++, para la programación de microcontroladores y lenguajes más robustos como el lenguaje ensamblador que en la programación de este se utiliza lenguaje de máquina. De todas formas cuales quiera el lenguaje de programación utilizado para programar un microcontrolador es importante estudiar todas las sentencias y bibliotecas que tengan para saber el tipo de función que desempeñan y así aprovechar en gran parte las capacidades de un microcontrolador.

Bueno hay que tener algo en cuenta y es que la diferencia que hay entre un microcontrolador y una unidad de procesamiento normal es grande, ya que tiene más versatilidad un microcontrolador en su programación y aun mejor es que es más fácil llegarlo a convertirlo en una computadora en funcionamiento minimizando la cantidad de circuitos integrados externos de apoyo. Por consiguiente existen fabricantes conocidos como lo es Intel, Atmel, Toshiba, Texas Instruments, Motorola, entre otros. Y ofrecen su producto son similitudes en características eléctricas, térmicas, etc. Pero se aplican y sirven para lo mismo. En el proyecto el microcontrolador utilizado es el ATmega328P de ATMEL.

Figura 31. *Microcontrolador ATmega328P de ATMEL.*



Fuente. Sigma. **URL.** <http://www.sigmaelectronica.net/atmega328-boot-p-2365.html>

Tabla 8. Especificaciones Técnicas

Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 V
Voltaje de entrada (limite)	6-20 V
Digital I/O Pins 14	6 Salidas PWM
Entradas Analógicas	6 pins
DC corriente I/O	Pin 40 mA
DC corriente 3.3V	Pin 40 mA
Memoria Flash 32 KB	2 KB para el bootloader
SRAM	1 KB
EEPROM	512 byte
Velocidad de reloj	16 MHz

Fuente. Vistronica. **URL.**

<http://www.vistronica.com/images/Documentos/ATMEGA328P-PU.pdf>

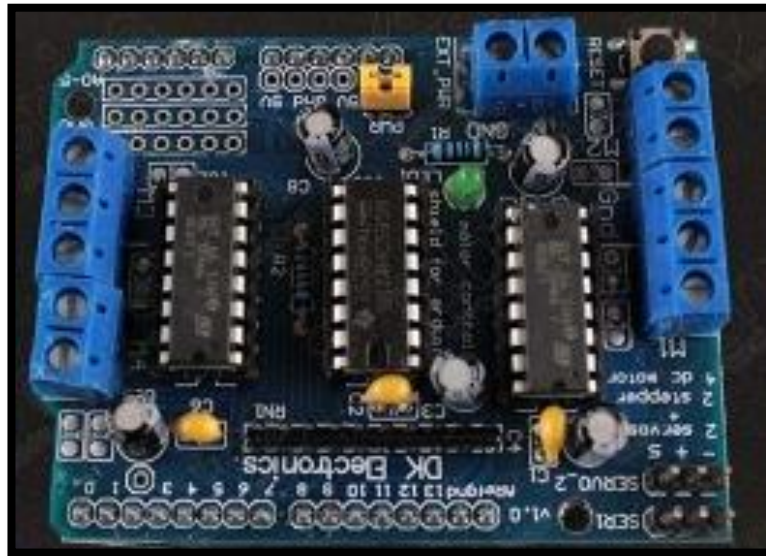
Las Entradas analógicas son de 10 bits, por lo que entregan valores entre 0 y 1023. El rango de voltaje está dado entre 0 y 5 voltios, pero utilizando el pin AREF, este rango se puede variar a algún otro deseado.

3.11.2. Módulo Shield L293D

Para el respectivo movimiento del vehículo que es la puesta en marcha y la dirección, el cual es realizado mediante el Joystick. Pero enfocándonos en el motor que da el movimiento hacia adelante y hacia atrás y el servomotor que permite el giro ya sea derecha o izquierda debe ir un elemento que posibilite estas opciones y para ello se hace necesario utilizar el Modulo Shield L293D, pues esta board es prácticamente un Puente H o driver de control de motores, posee un nivel de tensión alto integrado, el cual proporciona un nivel de alto de corriente. Posee cuatro canales, para cuatro motores respectivamente. La board soporta motores de corriente continua de hasta 600mA por canal, proporcionando un pico de corriente de hasta 1.2A, no obstante, el módulo posee protección térmica, por lo que no existe ningún problema en utilizar motores de 4.5V hasta 36V. Este módulo puede efectuar el movimiento de motores DC, motores paso a paso (unipolar o bipolar) y hasta servomotores.

Tiene dos terminales externas para el debido acople de potencia para separar las fuentes de alimentación del motor y de la arduino. Es compatible con e Arduino MEGA, UNO y Duemilanove.

Figura 34. Módulo Shield L293D



Fuente. Vistronica. **URL.** <https://www.vistronica.com/arduino/shield/modulo-shield-l293d-detail.html>

Tabla 9. Características eléctricas y físicas del Módulo Shield L293D

4 Puentes H	2 Driver L293D para 2 motores
Corriente DC por canal	600mA
Corriente pico por canal	1.2A
Voltaje de entrada (motores)	4.5V~3.6V
Soporta: 4 Motores DC bidireccionales, 2 Motores paso a paso(unipolares o bipolares)	
Separación	Fuente de motores/fuente del Arduino
2 Conexiones	Servomotores
1 Botón	Reset

Fuente. Vistronica. **URL.** <https://www.vistronica.com/arduino/shield/modulo-shield-l293d-detail.html>

3.12. Comunicación inalámbrica

Se puede considerar la comunicación inalámbrica como aquella en la que en los extremos de la comunicación no hay un medio de propagación físico sino solo por modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. Como tal es una conexión de dispositivos electrónicos los cuales se comunican de forma inalámbrica, gracias a esto para manipular el vehículo a distancia es necesario usar elementos que permitan la comunicación transmisor – receptor permitiendo así la manipulación del mismo, para ello se da uso del Módulo RF

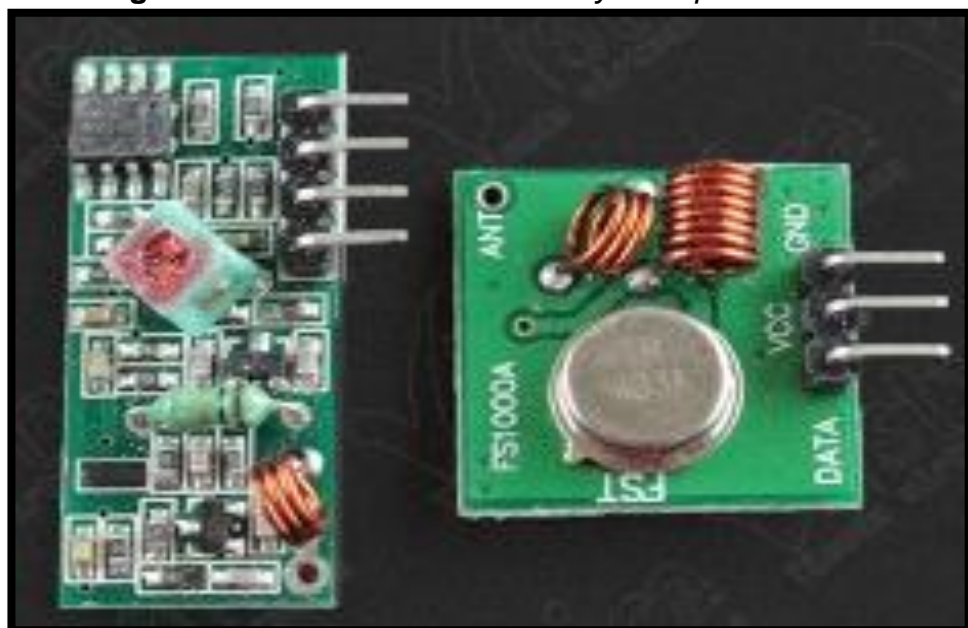
Transmisor y Receptor 433MHz, Estos pequeños módulos son un transmisor y un receptor de 433MHz, pueden adaptarse a todo tipo de microcontrolador, board arduino, AVR, Pic, entre otros. Estos pequeños dispositivos tienen la capacidad de establecer una comunicación inalámbrica entre microcontroladores (o cualquier otro dispositivo, como los ya mencionados). Para así poder desarrollar cualquier tipo de proyecto que necesite aplicación inalámbrica, como es el caso de una alarma antirrobo.

El módulo transmisor funciona desde los 3.5V hasta los 12V. A mayor voltaje, mayor es la potencia y distancia que logran alcanzar.

Estos módulos se pueden usar en sistemas antirrobo de motocicletas, automóviles, bicicletas, productos del hogar que necesiten permanecer en seguridad, puertas eléctricas, puertas tradicionales con cerradura eléctrica, ventanas, persianas, control de iluminación led, control remoto de puertas de garaje, cortinas, alarmas, controles remoto para radio, entre otros.

La antena tiene una gran influencia en el módulo receptor, preferiblemente conectada a 1/4 de longitud de onda, con una resistencia típica de 50 Ω . A modo de recomendación, este módulo se debe conectar un cable de cobre de unos 17cm de largo para alcanzar la frecuencia de 433MHz. La posición de la antena también afecta la recepción de datos. Se recomienda que al soldar un cable como antena, se cubra con algún material aislante, para que no tenga interferencias externas de ningún tipo.

Figura 35. *Modulo RF Transmisor y Receptor 433MHz.*



Fuente. Vistronica **URL.** <https://www.vistronica.com/comunicaciones/modulo-rf-transmisor-y-receptor-433mhz-detail.html>

Tabla 10. Características eléctricas y físicas del módulo transmisor mx-fs-03v

Voltaje de funcionamiento	3.5V~12V
Consumo de corriente	4mAh
Alcance	
20 metros~200 metros	
A mayor voltaje, mayor potencia para transmitir datos	
Modelo de operación	
Tasa de transferencia de datos	4KB/sec
Potencia de transmisión	10mW
Frecuencia de transmisión	433MHz
Antena (no incluida)	Alambre de cobre de 25cm (recomendado)
Pines de salida	Datos/VCC/GND
Tamaño	1.9cm x 1.9cm

Fuente. Vistronica **URL.** <https://www.vistronica.com/comunicaciones/modulo-rf-transmisor-y-receptor-433mhz-detail.html>

Tabla 11. Características eléctricas y físicas del módulo receptor mx-05v

Voltaje de funcionamiento	5v
Consumo de corriente	4mAh
Alcance: 20 metros~200 metros. A mayor voltaje, mayor potencia para transmitir datos	
20 metros~200 metros	
Sensibilidad del receptor	105dB
Frecuencia de recepción	433MHz
Frecuencia de transmisión	433MHz
Antena (no incluida): Alambre de cobre de 25cm~32cm (recomendado en forma de espiral)	

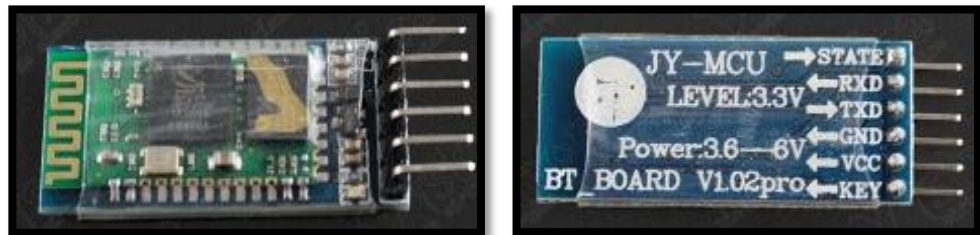
Fuente. Vistronica **URL.** <https://www.vistronica.com/comunicaciones/modulo-rf-transmisor-y-receptor-433mhz-detail.html>

3.13. Módulo bluetooth maestro/esclavo hc-05

Este módulo es apto para conectar como esclavo a un adaptador Bluetooth al PC, o un teléfono Bluetooth. Al ser maestro/esclavo también se puede utilizar como maestro de otro adaptador (un HC-05 como esclavo o un HC-06) y así conectar dos dispositivos sin tener que depender de ordenadores o teléfonos móviles. Pueden ajustarse los parámetros del módulo mediante comandos de control emitidos a través de comandos AT. Dispone de dos conexiones de salida para indicar el estado: no conectado, conectado, así mismo se puede conectar a diodos LED o a un pin de entrada de un microcontrolador y analizar su estado. Es ideal como alternativa inalámbrica a la transmisión en serie, todos los parámetros se configuran con Comandos AT. Una vez configurado se

puede asumir que es un cable serie. Con la base de conexión es aún más fácil de utilizar, no es necesario adaptar los niveles lógicos de la alimentación a 3.3V (se puede alimentar hasta a 6V) y además de esto, puede adaptarse en una protoboard. Para obtener la comunicación entre guante y mano robótica se utiliza este módulo.

Figura 36. *Módulo Bluetooth Maestro/Esclavo HC-05*



Fuente. Vistronica. **URL.** <https://www.vistronica.com/comunicaciones/modulo-bluetooth-maestros-esclavo-hc-05-detail.html>

Tabla 12. *Características eléctricas y físicas del módulo bluetooth maestro/esclavo hc-05*

Chip	BC417143
Voltaje de entrada	3.6V-6V
Corriente de entrada	8mA
Temperatura de operación	-20°C~75°C
Frecuencia	2.4GHz banda ISM
Modulación	GFSK
Tipo Asíncrono	2.1Mbps(Max)/160kbps
Tipo Sincrónico	1Mbps/1Mbps
Funciones de seguridad	Autenticación y encriptación
Interfaz serial	TTL
Protocolo Bluetooth	Bluetooth v2.0+EDR
Potencia de transmisión	4dBm, Clase 2
Sensibilidad	-84dBm a 0.1% VER
Velocidad	1Mbps
Antena	Integrada
Alcance	10 metros
Perfil	Wireless serial port
Tamaño	2.7cm x 1.3cm

Fuente. Vistronica. **URL.** <https://www.vistronica.com/comunicaciones/modulo-bluetooth-maestros-esclavo-hc-05-detail.html>

3.11. Implementación de la arquitectura software

En este apartado se explicara el modo de funcionamiento de los dispositivos inalámbricos así como también el entorno de programación utilizado para el manejo del robot, también se explicara el lenguaje de programación usado en el entorno Arduino, y por finalizar nos enfocaremos de lleno en el programa desarrollado para el funcionamiento correspondiente de todo el sistema, además de ser explicado mediante diagramas de bloques.

3.12. Entorno de programación

En Arduino existe una interfaz gráfica para escribir el código que consta de área de mensajes, consola de texto, barra de herramientas con sus respectivas funciones y menús. Sin embargo el hardware Arduino que vamos a utilizar será conectado al computador para así cargar el programa que se haya hecho y así tener la comunicación correspondiente. Pero hablando un poco de que es el hardware Arduino, pues esta es una plataforma de libre desarrollo el cual está basado en un microcontrolador y un entorno de desarrollo enfocado para ser más versátil al uso de la electrónica y múltiples cosas más.

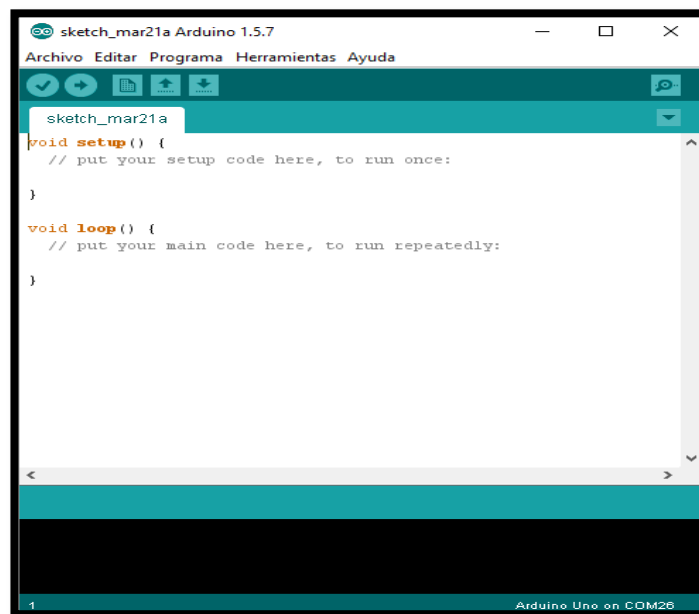
La plataforma Arduino trabaja con un entorno de desarrollo el cual usa el lenguaje de programación llamado Processing/Wiring y el cargado de arranque (boot loader) que corre en la placa. Este dispositivo puede funcionar de forma independiente si está funcionando con dispositivos inalámbricos o funciona de modo que puede ser conectado al computador, y su modo de adquisición es fácil, con él se puede llegar a controlar lo que el usuario necesite. El software escrito del Arduino se llama sketch, pues la programación se escribe en el editor de texto y al momento de guardar el archivo hecho estos se guardaran como archivos .ino, posee características de pegar, cortar, copiar, reemplazar texto, además el área de mensajes proporciona información para que el usuario verifique si hay errores o ha compilado satisfactoriamente el código. Por consiguiente se dará una explicación de cada parte de la interfaz gráfica de la plataforma arduino para entender cada función:

- **Pantalla:** Se visualizan los mensajes de error, la compilación del programa u otra información, también se muestra la conexión al puerto serial del arduino y por ultimo están los botones de la barra de herramientas donde se comprueban y cargan los programas, también se encuentran los botones de abrir, crear y guardar sketches y abrir el monitor serie.

- **Bibliotecas:** estas proporcionan una funcionalidad adicional ya que en ellas se encuentran configuradas para una cumplir una función específica, el modo de llamar una biblioteca es ir directamente sobre el botón programa y luego a importar librería, en el momento de haberla seleccionado nos daremos cuenta que se identifican por tener el #include y hará la respectiva compilación de la misma además siempre quedaran en la parte superior del código.
- **Monitor serial:** en ella se visualiza los datos que se envían a la placa arduino por comunicación serial o USB, esta se despliega en la parte superior derecha donde se encuentra una lupa, para configurar la velocidad de transmisión de los datos en la misma ventana que se despliega, en la parte inferior se encuentra el modo de velocidad que queremos y esta debe coincidir con la que se ha puesto en el sketch escrita como Serial. Begin.

En el momento de cargar el programa construido se debe tener en cuenta configurar el COM y para ello se debe ir a Herramientas, pantalla y Herramientas, puerto serie y se selecciona el puerto correspondiente, pero en caso tal no se haya reconocido el puerto, como primera medida vamos a la sección de puertos del Administrador de dispositivos de Windows.

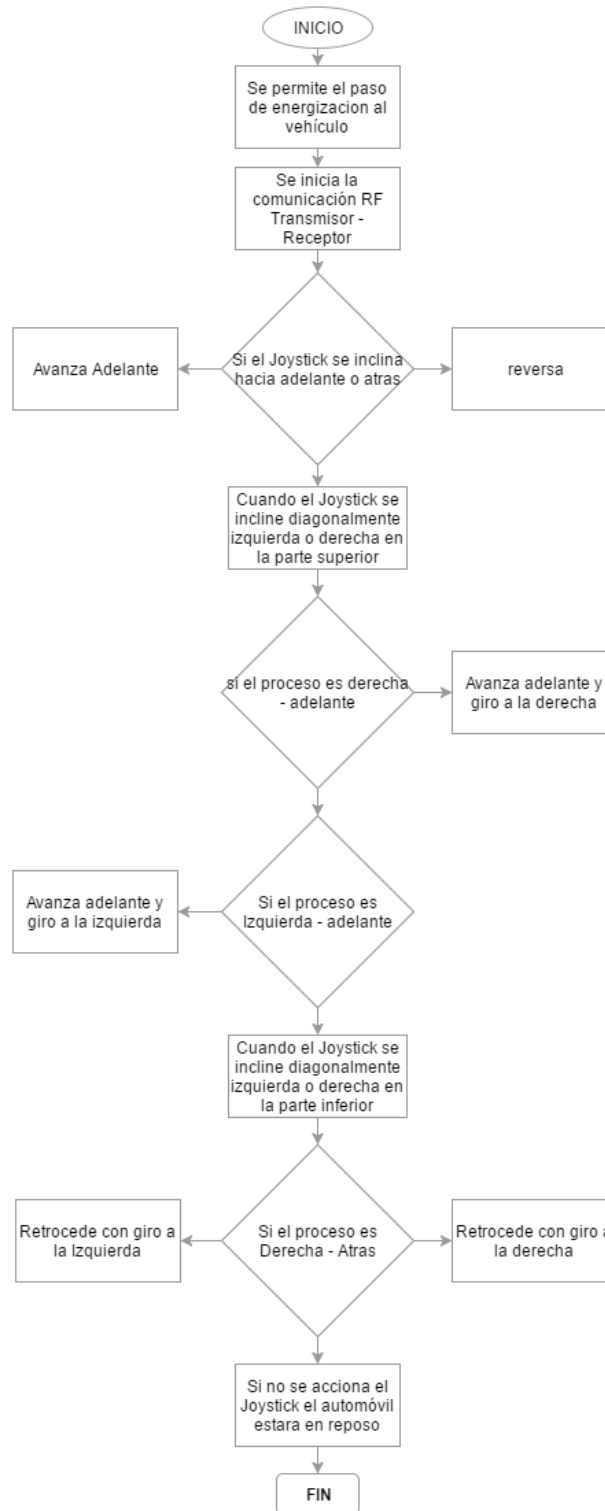
Figura 37. *Interfaz gráfica de Arduino.*



Fuente. Autor

3.12.1. Diagrama de flujo del vehículo robótico

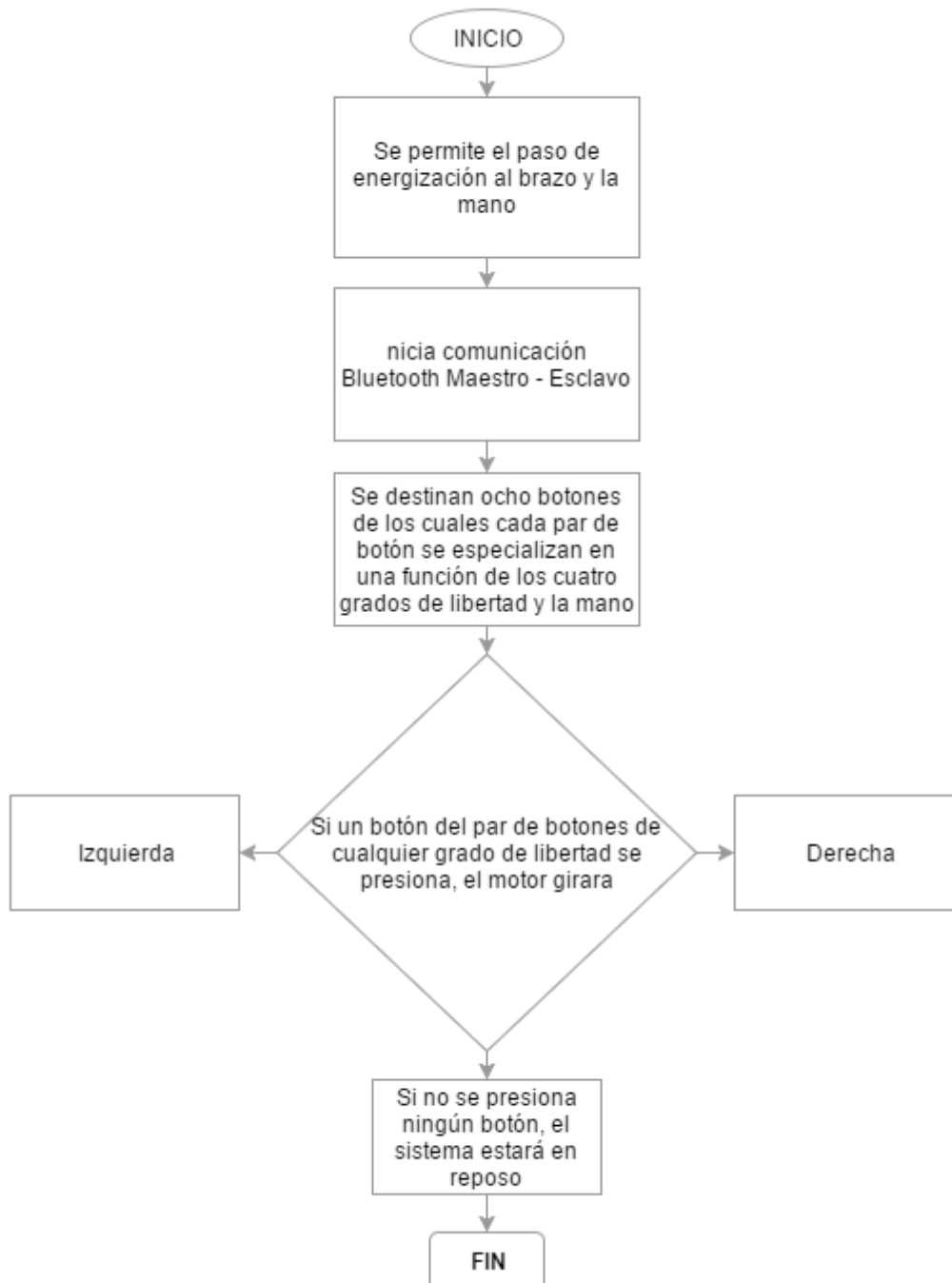
Figura 38. Diagrama de flujo del vehículo robótico



Fuente. Autor

3.12.2. Diagrama de flujo del brazo y mano robótica

Figura 39. Diagrama de flujo del brazo y mano robótica



Fuente. Autor

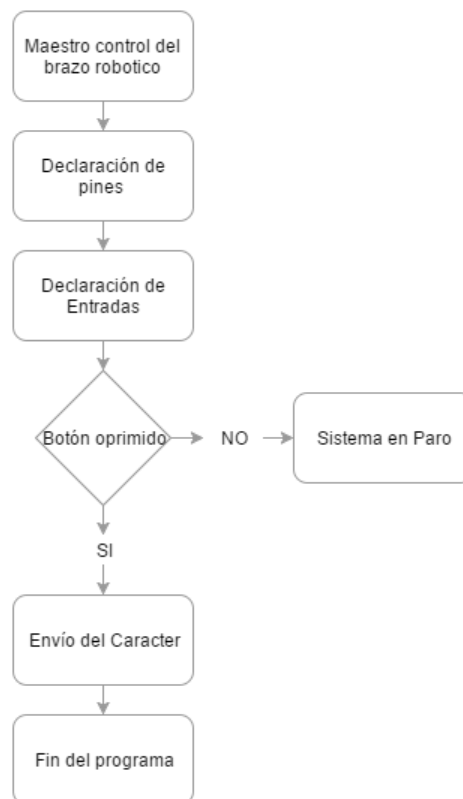
3.12.3. Diagramas de flujo para la programación

Este apartado está dedicado a mostrar los diagramas de flujo que explican la lógica de programación de cada algoritmo implementado dentro del proyecto.

3.12.3.1. Diagramas de flujo control del brazo robótico

Con esta programación se designa por medio de una botonería, los giros de cada motor izquierda o derecha; si son oprimidos los respectivos botones se activan, de lo contrario estarán estáticos. La información será enviada mediante un módulo bluetooth configurado como Maestro, los datos enviados son caracteres para poder distinguir cada función.

Figura 40. Diagrama de flujo control del brazo robótico (Modo Maestro)

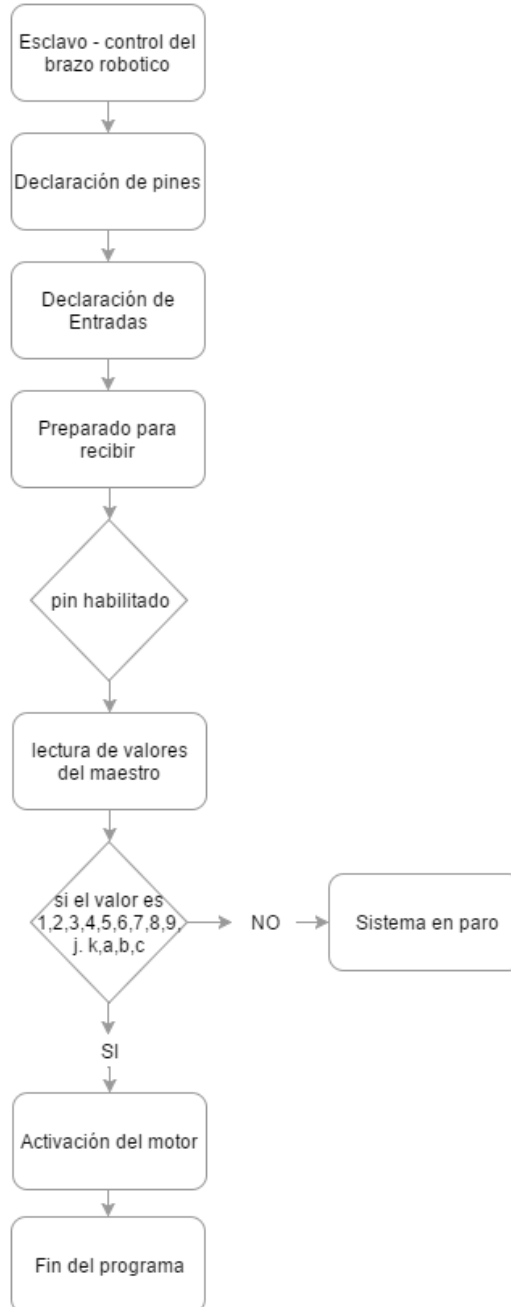


Fuente. Autor

Por otro lado el esclavo, recibe la información con los caracteres correspondientes a cada función designada en el algoritmo con el fin de controlar cada motor por independiente. Hay que tener en cuenta que un motor

es activado en el momento que se ha oprimido un botón, no se pueden arrancar sucesivamente todos.

Figura 41. Diagrama de flujo brazo robótico (modo esclavo)



Fuente. Autor

3.12.3.2. Diagramas de flujo control del vehículo de transporte del brazo

Con este código se transmite la información que se genera mediante el Joystick que trabaja con los ejes X y Y, y el cual tomará el control del vehículo a lo que respecta la dirección (izquierda y derecha), y el avance (adelante y atrás).

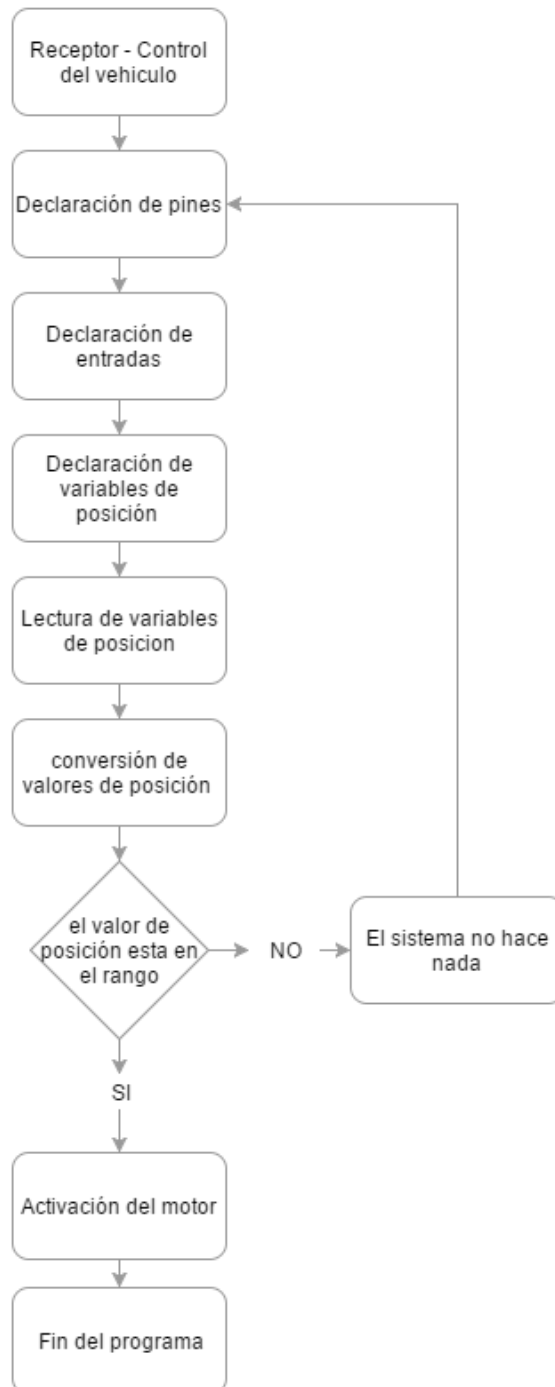
Figura 42. Diagrama de flujo control del vehículo (modo transmisor)



Fuente. Autor

Se toma la información que proviene del transmisor para poder ordenar al motor de dirección y al motor de avance lo que se requiere hacer, teniendo en cuenta que se hacen varias combinaciones de giro y avance para que el vehículo actúe de forma correcta y de muy parecido a un vehículo de tamaño real . Esto se hace por medio del sistema de recepción de información.

Figura 43. Diagrama de flujo vehículo robótico (modo receptor)



Fuente. Autor

3.13. Desarrollo de prototipos

Teniendo en cuenta que ya se dio por visto los elementos electrónicos que son implementados para el control del robot en capítulos anteriores, se explica y muestra en este apartado cada uno de los montajes, conexiones, materiales y desarrollo de algoritmo, de tal forma que el robot funcione correctamente aplicando todos los conocimientos vistos anteriormente. El resultado será visualizado en la arquitectura de cada módulo implementado en los montajes del carro, como del brazo y la mano.

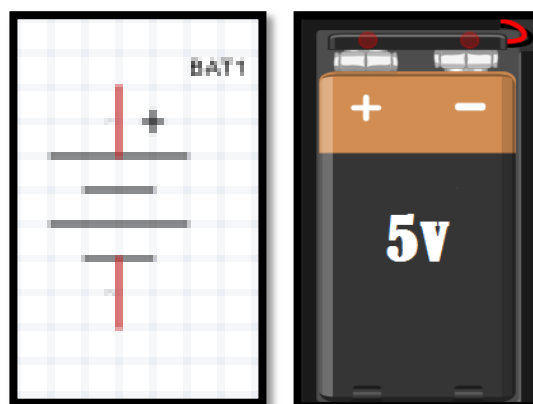
3.14. Diagramas de conexión del robot

Para la puesta en marcha del robot se da uso de elementos enfocados para el procesamiento de información (implementado en el algoritmo de programación Arduino), así como el uso de módulos de potencia usados para motores y módulos de comunicación inalámbrica como bluetooth y radio frecuencia.

3.14.1. Alimentación DC

El robot ha sido diseñado para que funcione con un voltaje de 5V a 6A por lo tanto no puede reemplazarse este tipo de batería ya que si se usa de características eléctricas superiores puede ocasionar sobrecargar y dañar los elementos. No obstante esta exclusivamente estará destinada al vehículo robotizado. Respecto a la batería que utilizara el control de mando será una del mismo voltaje pero a una corriente más baja.

Figura 44. **Batería de 5v a 6^a**

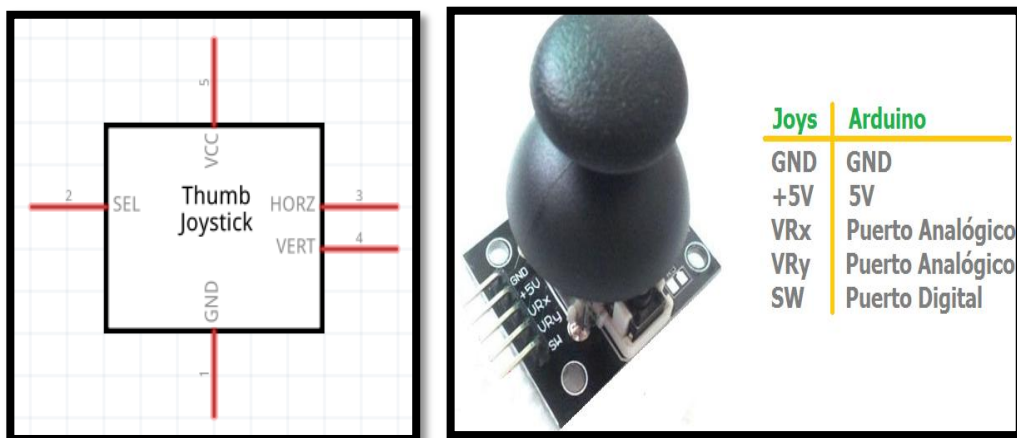


Fuente. Autor.

3.14.2. Joystick

El joystick está compuesto por cinco pines que tienen una función individual, el primero de ellos es GND, es decir la tierra del dispositivo; el segundo es VCC o pin de alimentación el cual tiene un tope de 5V; el tercero es VRX y este pin se encarga de controlar el eje X es decir, dirección derecha e izquierda; el cuarto es VRY y este se encarga de controlar el eje Y, es decir controla la dirección arriba, abajo; el quinto es SW que es un pulsador que se puede utilizar dependiendo la función que se quiera desarrollar.

Figura 45. Joystick.

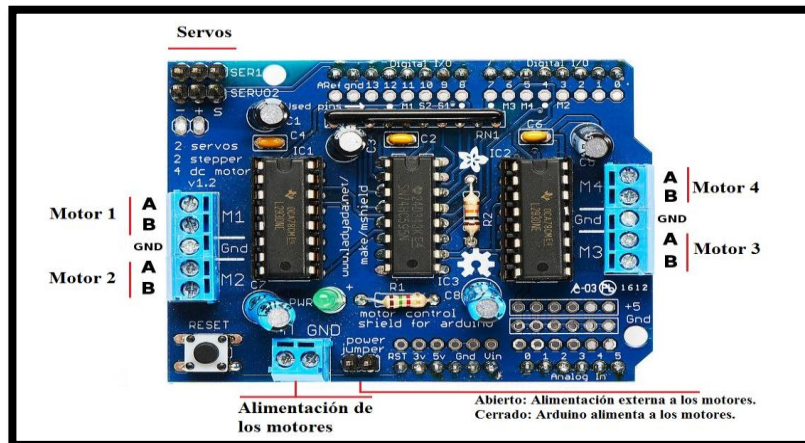


Fuente. Joystick KY-023.URL. www.Ebay.com

3.14.3. Módulo Shield I293d

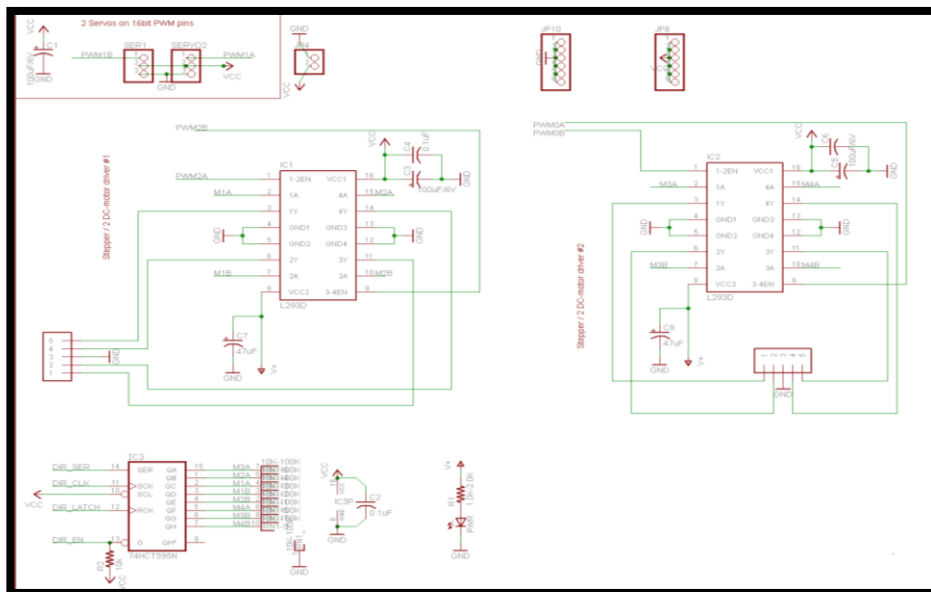
Este módulo se encarga de los elementos que requiere potencia, además de suplir corriente y voltaje necesario a los motores que se le conecten. Como tal este módulo puede controlar cuatro motores DC, dos motores paso a paso y dos servomotores. Cuando se acopla al Arduino este ocupa casi todos los pines digitales del mismo, aunque posteriormente se puede dar uso de los analógicos que también su funcionalidad puede ser digital convirtiéndose en un módulo muy fácil de usar para cualquier aplicación, además de que ambos módulos se alimentan de un voltaje de 5V. Sin embargo para el robot se usa la entrada M1 para la conexión del motor DC y la entrada SERVO1 que utiliza el pin digital 9 de PWM para la conexión del servomotor, respecto al módulo receptor este se conecta al pin analógico A0 y se alimentara a 5V y conectado a tierra.

Figura 46. Módulo Shield I293d



Fuente. Promotec. Un pequeño robot con tracción. **URL.** <http://www.promotec.net/motorshieldv1/>

Figura 47. Modulo motor Shield L293D.



Fuente. Shield Motor v1 Driver L293D
URL. <http://www.naylampmechatronics.com/arduino-shields/86-shield-motor-driver-l293d.html>

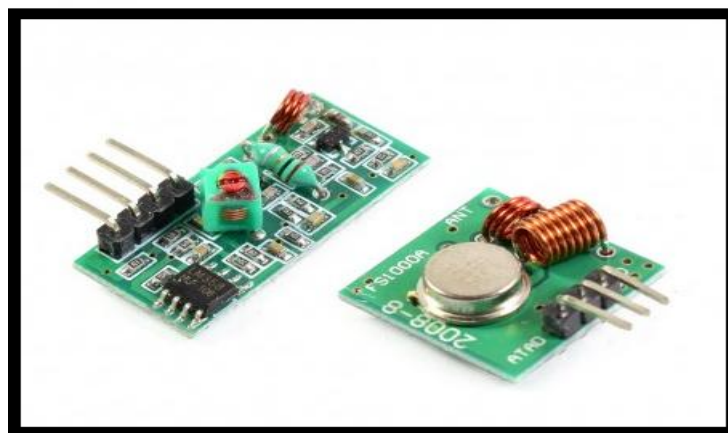
3.14.4. Módulos RX y TX de 433mhz

Respecto al módulo TX ira ubicado en el control de mando y sus pines de conexión son los siguientes, en el pin 1 ira ubicada la antena de transmisión que tendrá una longitud de 20cm, el pin 2 se encarga de enviar los datos proporcionados por el accionamiento del Joystick, el pin 3 es la tierra del

módulo y el pin 4 la alimentación que será de 5V. En la figura se muestra las conexiones del módulo.

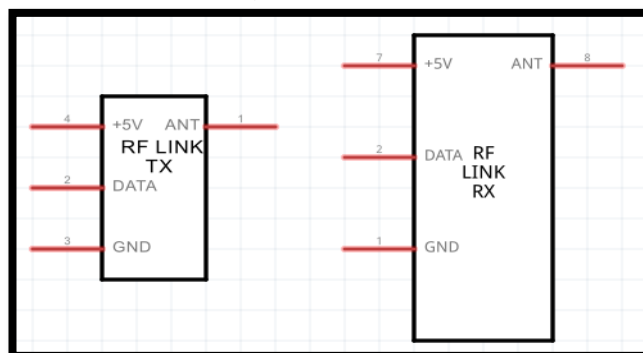
El módulo RX se ubica en el vehículo y este recibirá los datos que envié el control de mando, sus pines de conexión se conectan de la siguiente forma, el pin 1 será la tierra del módulo, el pin 2 recibirá los datos proporcionados por el transmisor, el pin 3 es la alimentación a 5V y el pin 4 la antena de recepción la cual ira roscada con una altura de 20cm. Este módulo se conecta directamente en el Shield L293D.

Figura 48. Módulos RF de 433MHz.



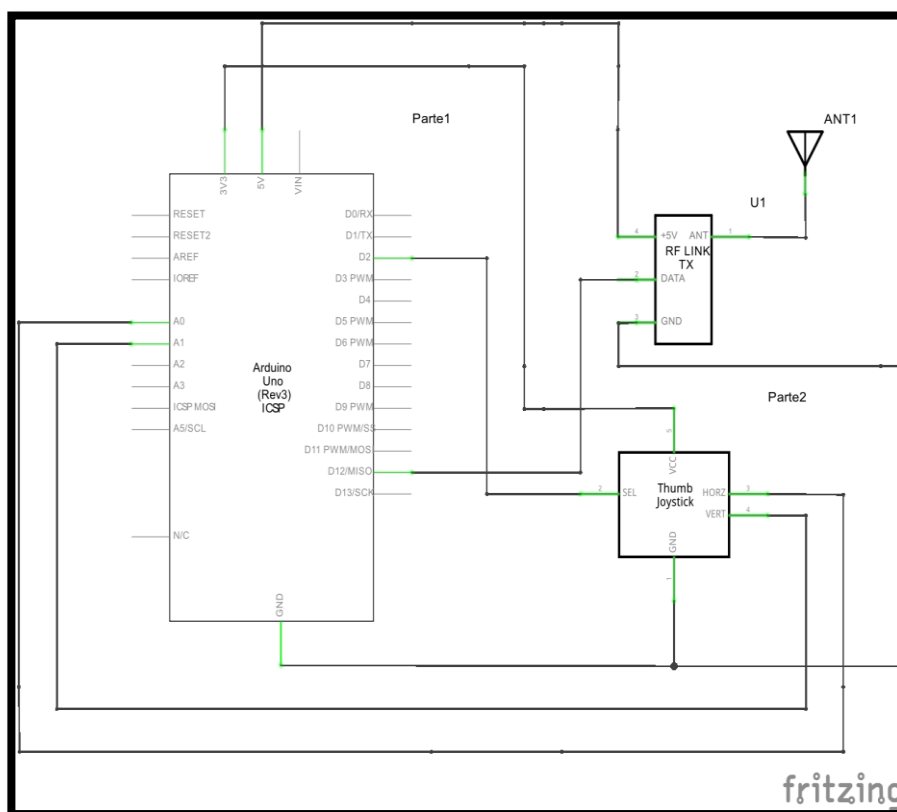
Fuente. Comunicación Inalámbrica con módulos de RF de 433Mhz
URL. http://www.naylampmechatronics.com/blog/32_Comunicaci%C3%B3n-Inal%C3%A1mbrica-con-m%C3%B3dulos-de-RF-de.html

Figura 49. Diagramas de los Módulos RF.



Fuente. Autor.

Figura 50. Módulos TX y RX de 433MHz y conexión del módulo RX al control de mando.



Fuente. Autor.

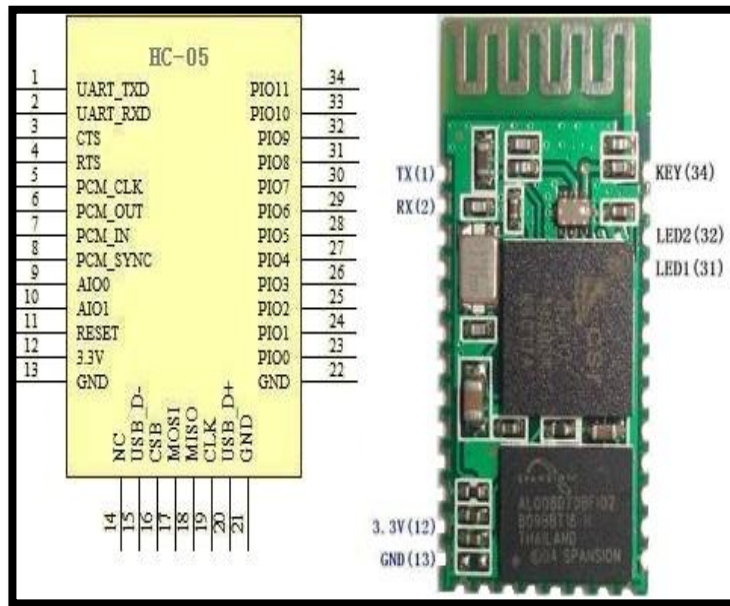
3.14.5. Módulos bluetooth maestro/esclavo HC-05

El modulo que se ha configurado como Maestro tiene como función enviar la información que se ha generado a partir del accionamiento de los botones encargados. Enviada la información al módulo que se ha configurado como Esclavo, la información enviada accionara cualquiera de los servomotores puestos en el brazo y la mano robótica.

Para lograr esto se deben configurar los módulos bluetooth con los comandos AT para poder ejecutar la acción de control con los botones de mando y así mover el servo y los motores DC a una distancia corta.

La conexión del módulo bluetooth Maestro ira de la siguiente forma, los pines TX y RX se conectaran a los pines 2 y 3 del Arduino UNO que tienen como función enviar los datos generados por la activación de cada uno de los botones de mando y transmitir la información que se direcciona hacia el Modulo bluetooth Esclavo; luego se conecta a una alimentación de 5V y por ultimo al pin que irá a tierra.

Figura 51. Módulos bluetooth Maestro/Esclavo HC-05.



Fuente. AT command mode of HC-05 and HC-06 Bluetooth module. **URL.** <http://www.instructables.com/id/AT-command-mode-of-HC-05-Bluetooth-module/step3/If-key-pin-is-not-present-or-not-connected/>

3.14.5.1. Configuración módulos bluetooth

Para la respectiva configuración de los módulos, se sube al Arduino un sketch vacío como se puede ver en la Figura 52. Teniendo esto se evitan inconvenientes que generen algún tipo de error. Una vez terminada la compilación se abre el monitor serial y es allí donde se ingresa la palabra AT, posteriormente se oprime enter y aparecerá OK indicando que se puede dar inicio al ingreso de los respectivos comandos de configuración, teniendo en cuenta que son numerosos comandos solo se configuraran los más importantes que son:

- **AT+NAME:** Nos informa el nombre que tiene asignado el modulo.
- **AT+BAUD:** Nos permite solicitar la información de la velocidad con que está funcionando el modulo para comunicarse con el arduino. La configuración se da AT+BAUD# el numeral indica el número de la casilla correspondiente a la velocidad de comunicación que se desea, por consiguiente las velocidades con sus respectivas numeraciones se ve a continuación:

Tabla 13. Comandos AT del módulo Bluetooth

1 configura	1200bps
2 configura	2400bps
3 configura	4800bps
4 configura	9600bps (Default)
5 configura	19200bps
6 configura	38400bps
7 configura	57600bps
8 configura	115200bps

Fuente. Autor

- **AT+PIN:** Con él se ingresa el pin de enlace para el modulo, teniendo en cuenta que solo son cuatro dígitos.
- **AT+ROLE:** Se configura el rol del módulo sea Maestro 1, o Esclavo 0

Para saber si se ha ingresado la configuración correcta a los módulos solo basta con digitar el comando en el monitor serie oprimiendo enter y en la parte inferior deberá aparecer la información ingresada.

Figura 52. Código para la configuración de los módulos bluetooth

```
void setup() {  
  // put your setup code here, to run once:  
  
}  
  
void loop() {  
  // put your main code here, to run repeatedly:  
  
}
```

Fuente. Autor.

Para la programación de los botones de mando ubicados en el control remoto del sistema, se permite accionar el brazo y la mano robótica.

Para el desarrollo de la programación, el algoritmo realizado consiste básicamente en crear ocho variables que corresponden al control de giro de los motores y a estos se les asigna pines digitales. En el recorrido del código se crean unas variables cuando la mano está completamente abierta y estas son necesarias para la debida calibración en la puesta en marcha de la misma. Igualmente se ponen estados altos cuando se presiona cualquiera de los botones y un estado bajo cuando sucede lo contrario.

4. CAPITULO 4. RESULTADOS DEL SISTEMA ROBOTICO

A continuación se exponen los resultados obtenidos durante la validación del sistema robótico, para corroborar su adecuado funcionamiento, para ello se evalúan diferentes aspectos del sistema como se ve en la Figura 53.

Figura 53. *Etapas de validación del sistema.*



Fuente. Autor.

4.1. Estructura

La estructura es elaborada con barras de aluminio para hacer de la estructura del robot un prototipo liviano y con resistencia al peso de carga. Igualmente se implementan tornillos, arandelas, resortes y demás materiales para su construcción.

4.1.1. Construcción del vehículo

El vehículo está elaborado con barras de aluminio de una aleta de 1/2 pulgada para brindar soporte en el momento de transportar el brazo, sus dimensiones se muestran en la tabla 14.

Tabla 14. *Tabla de Dimensiones automóvil robótico.*

Alto	0.30m
Ancho	0.40m
Largo	0.60m

Fuente. Autor.

Figura 54. *Estructura del automóvil robótico.*



Fuente. Autor.

4.1.2. Construcción del brazo

Su construcción cuenta con barras de aluminio de doble aleta de ½ pulgada, sus dimensiones se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. *Tabla de Dimensiones del brazo robótico.*

Dimensiones	Alto	Ancho	Largo
Brazo	0.5m	0.11m	0.036m
Ante-Brazo	0.036m	0.06m	0.5m
Brazo de soporte	1.15m	0.137m	0.04m

Fuente. Autor.

Figura 55. Estructura del brazo robótico terminada mostrando sus articulaciones.



Fuente. Autor.

4.1.3. Construcción de la mano

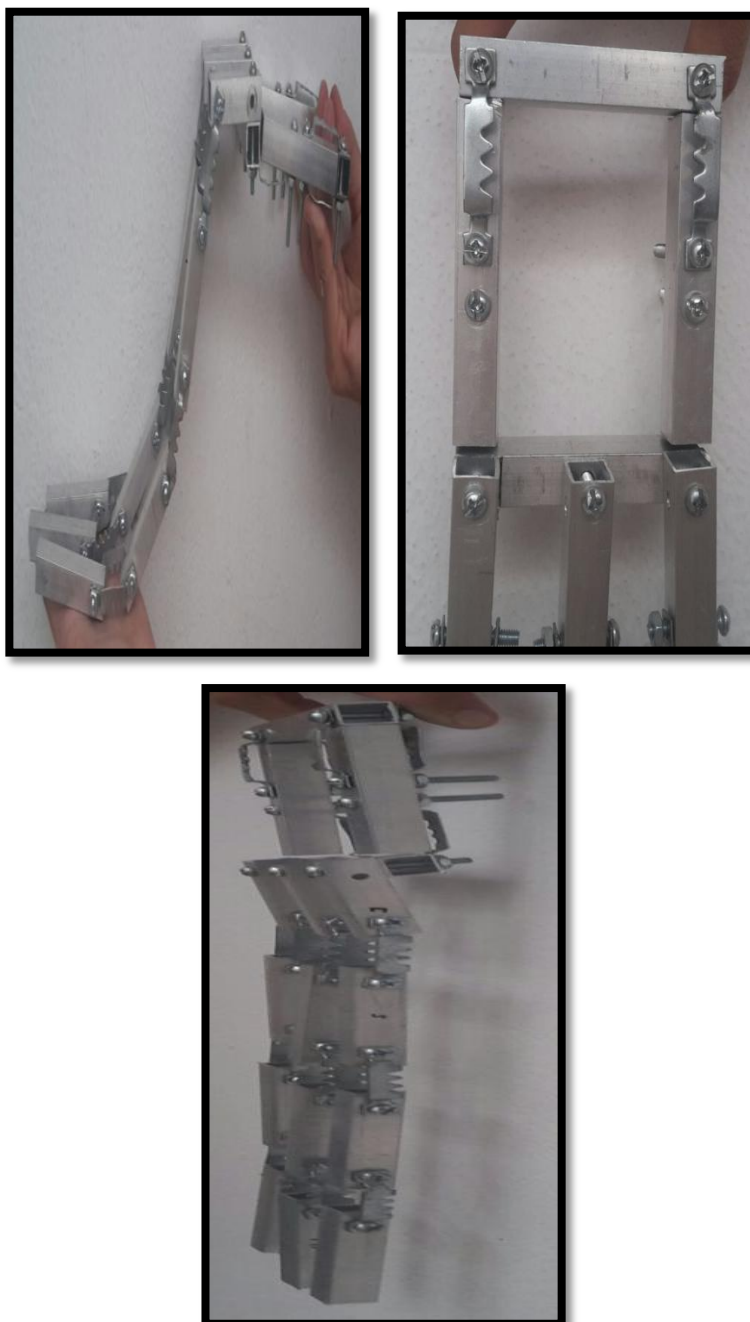
Elaborada con barras de aluminio sin aleta de $\frac{3}{4}$ de pulgada, cuenta con tres falanges en cada uno de sus tres dedos, los cuales ayudan a la articulación de cada uno de estos. Sus dimensiones se muestran en la tabla 16.

Tabla 16. Tabla de Dimensiones autom3vil rob3tico de la mano.

	Alto	Ancho	Largo
<i>Palma de la mano</i>	7cm	7cm	7cm
<i>Dedo</i>	0.18m	0.18m	0.14m

Fuente. Autor.

Figura 56. *Mano robótica fabricada en aluminio.*

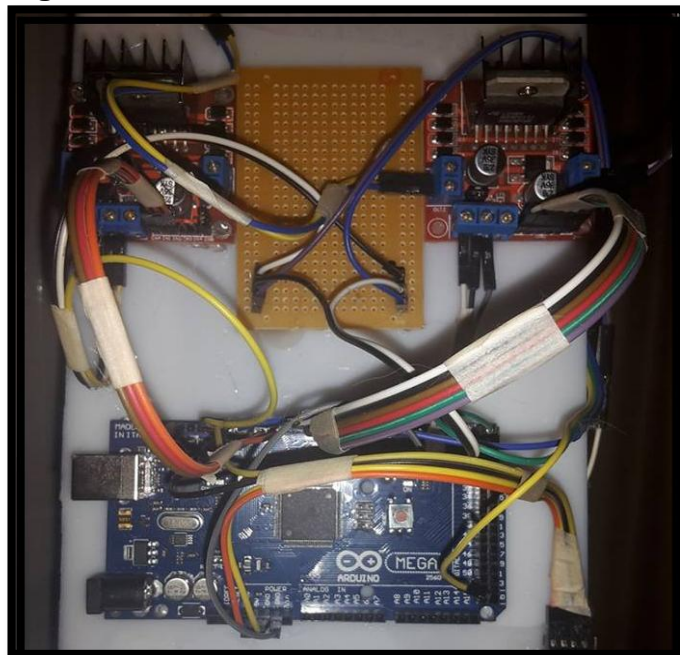


Fuente. Autor.

4.2. Comunicación entre sistemas

Se analiza y evalúa el comportamiento de ambos sistemas para diagnosticar algún tipo de falla en la respuesta teniendo en cuenta el alcance al que se genere dicha orden. Teniendo en cuenta que se delimito una distancia de 10m para el funcionamiento del sistema dentro de las instalaciones del laboratorio, no se obtuvo ninguna falla, permitiendo el buen desempeño de los dos dispositivos. Sin embargo es de tener en cuenta que el alcance del mando a distancia está sujeto a factores como el entorno interno del lugar, la antena de transmisión, la potencia y entre otros factores que influyen en la Radio Frecuencia. Por consiguiente, el modulo Bluetooth funciona en un radio aproximado de 10 metros de distancia y está configurado con comandos AT para decidir cuál será el Maestro (el que da órdenes), y Esclavo (quien las recibe), permitiendo buena comunicación sin alguna interferencia.

Figura 57. *Sistema de control del brazo robótico.*



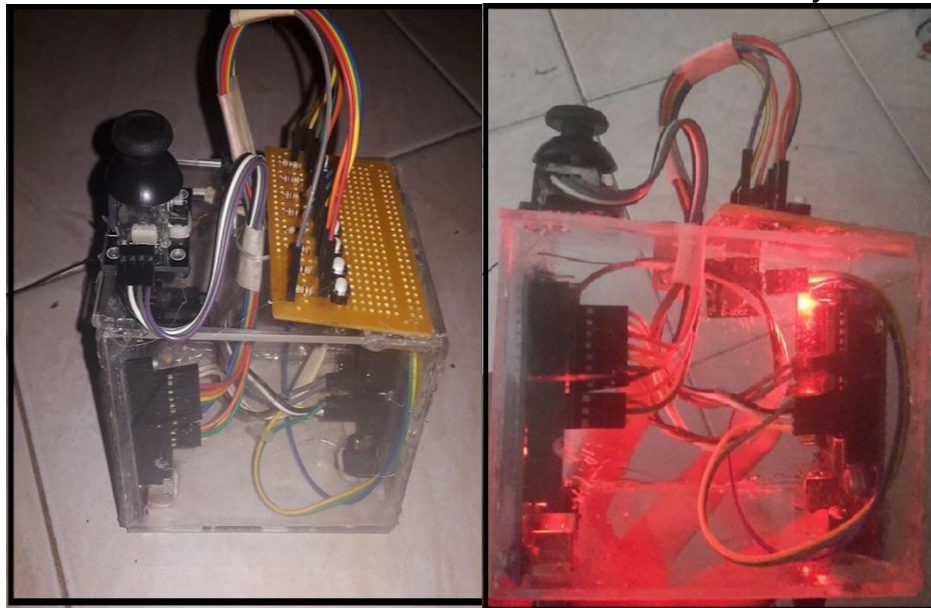
Fuente. Autor.

Figura 58. *Sistema de control del Vehículo.*



Fuente. Autor.

Figura 59. *Control del mando del sistema de control del brazo y del vehículo.*



Fuente. Autor.

4.3. Comportamiento del sistema

Este abarca tres comportamientos que son el desplazamiento del vehículo, el movimiento del brazo y la manipulación de la carga, los cuales son esenciales para poder validar el funcionamiento del robot y ponerlo en marcha en el momento de realizar las respectivas tareas en el laboratorio de Microbiología. A continuación se observa el robot realizando pruebas en el laboratorio:

Figura 60. Robot controlado inalámbricamente para la manipulación y traslado de químicos tóxicos y residuos contaminantes.

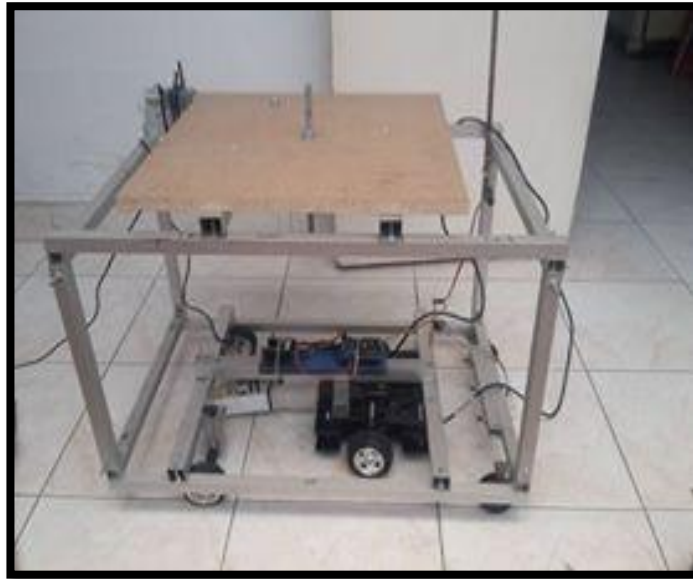


Fuente. Autor.

4.3.1. Desplazamiento del vehículo

En esta etapa se realizan pruebas en un entorno plano en baldosa, donde se observa que recorre sin problema alguno el lugar, esto gracias a una caja reductora como se ve en la Figura 61, diseñada para brindar mayor fuerza de desplazamiento, esto con el propósito de que el motor no se esfuerce y pueda dañarse. En la parte delantera se aprecia la dirección la cual se compone por un servomotor de alto torque, que con ayuda de una transmisión adaptada a las llantas, produce el movimiento de giro; como tal las llantas deben tener resistencia y adherencia al piso para tener un buen desempeño mientras se traslada de un lugar a otro.

Figura 61. *Desplazamiento del vehículo.*



Fuente. Autor.

Por otro lado se efectúan pruebas de velocidad sobre el motor, para observar su comportamiento en el desplazamiento del vehículo en el momento de trasladar una sustancia química y así determinar la estabilidad del mismo como también si hay riesgo de derrame durante su trayectoria en el lugar. En consecuencia se busca determinar la velocidad adecuada que ofrezca suavidad en el momento de la puesta en marcha de todo el sistema robótico. En la tabla número 17 se observa los resultados obtenidos durante la prueba:

Tabla 17. *Pruebas de velocidad del motor del vehículo.*

Prueba #	Carga (g)	Material	Sustancia	RPM	Velocidad (rad/s)	Distancia (mts)	Tiempo (seg)	Torque (N/m)
1	1000	plástico	Cloruro de Sodio	10	1.04	1.50	42.25	9.47
2	2000	plástico	Residuos Contaminantes	8	0.83	1.50	45.15	6.93
3	200	plástico	Agua destilada	15	1.57	1.50	35.17	9.17
4	500	plástico	Ethil ether	11	1.15	1.50	37.34	7.93
5	350	plástico	Bromato básico de magnesio	13	1.36	1.50	36.47	7.9

Fuente. Autor.

Tabla 18. Estado de resultados durante la realización de pruebas

DIAS	ACCIDENTES	DERRAMAMIENTO DE SUSTANCIAS	INTERFERENCIA EN LA COMUNICACION	CAIDA DE MATERIAL
1	1	1	1	1
2	0	2	1	2
3	1	0	0	1
4	0	1	0	0
5	0	1	1	0
6	1	0	0	1
7	0	0	1	1
8	0	2	0	0
9	0	0	0	0
10	1	0	0	1
11	0	1	0	0
12	0	0	1	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0

Fuente. Autor.

Los resultados obtenidos con la variación en la velocidad angular en el robot prototipo se obtiene el torque que varió un poco, sin embargo la estabilidad en el robot no se ve afectada en el momento de arranque ya que sigue siendo suave en el momento de puesta en marcha por lo tanto se vio buen resultado durante las pruebas con diferentes sustancias.

De este modo también se realizó un estado de resultados que muestran los aspectos, que más se presentaron durante las pruebas realizadas en el laboratorio. A medida que avanzaban los días la eficiencia del robot era más óptima debido a la disminución de factores críticos de éxito.

Figura 62. Caja reductora del vehículo.



Fuente. Autor.

4.3.2. Movimiento del brazo

A lo que respecta el brazo, este se conforma de cuatro grados de libertad, los cuales se controlan gracias a motores de un alto torque que pueden suplir la fuerza necesaria para mover cada extremidad (ver Figura 64), sin embargo esto va de la mano con unas poleas ubicadas en el brazo y base rotatoria que brindan así una mayor comodidad y fuerza para articular; la transmisión se logra gracias a las correas que van desde el motor hasta los soportes ubicados al final de cada extremidad con el fin de lograr que ascienda o descienda el brazo o el antebrazo como se ve en la Figura 63. La base rotatoria como su nombre lo dice, es utilizada para girar donde se requiera y a gusto del usuario, en la mano se ubica un servomotor que tiene como función abrir o cerrar la mano para el agarre de los diferentes elementos que se le puedan poner en frente con seguridad.

Figura 63. Robot controlado inalámbricamente para la manipulación y traslado de químicos tóxicos y residuos contaminantes con sistema de poleas.



Fuente. Autor.

Figura 64. *Motores del Brazo del robot.*



Fuente. Autor.

4.3.3. MANIPULACIÓN DE CARGA

En la última etapa se pone a prueba la resistencia de todo el sistema como también su desempeño, para ello se procede a realizar pruebas con diferentes elementos que no superen los 2Kg de peso. Apenas este con carga se traslada de un lado a otro con el objetivo de aprobar que es seguro para llevar elementos ya sean contaminantes o simplemente objetos comunes o de laboratorio como se ve en las Figuras 65, 65 y 67.

Figura 65. *Manipulación con carga.*



Fuente. Autor.

Figura 66. Manipulación con carga #2



Fuente. Autor.

Figura 67. Manipulación con carga #3



Fuente. Autor

Se llevaron a cabo diferentes pruebas en las que se evaluó el comportamiento y resistencia del prototipo robótico, para ello el sistema fue validado con tres cargas diferentes en forma, peso y diámetro como lo muestra la siguiente tabla (Ver Tabla 19).

Tabla 19. Pruebas con carga del brazo robótico.

#	Objeto	Peso	Diámetro
Prueba #1	Botella de gaseosa	0.200 Kg	0.10 m
Prueba #2	Contenedor de elementos corta punzantes	1.5 Kg	0.135 m
Prueba #3	Cloruro de sodio	1 kg	0.08 m

Fuente. Autor.

En la Figura 68, se puede apreciar los elementos nombrados en la tabla anterior.

Figura 68. Elementos empleados para manipulación con carga.



Fuente. Autor

5. RECOMENDACIONES

El proyecto permite expandirse en diferentes campos de diseño en los programas de diseño gráfico computarizado en 3D para el modelamiento de piezas o estructuras tal y como se hizo con Blender, el cual es un programa de fácil manejo y no tan robusto, practico para tener conocimientos básicos en el manejo de modelamientos 3D y así dar un paso adelante para manejar software robusto como lo son SolidWorks, Autodesk Inventor entre otros.

A lo que respecta el uso de la mano robótica, podría implementarse una pinza la cual tendría un husillo o tornillo sin fin que daría más fuerza y soporte en el momento de ajustar objetos, permitiendo soportar un peso de cargar mayor al actual.

Implementar esta tecnología para resolver dificultades en el manejo de residuos tanto orgánicos como inorgánicos descritos por el Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad De Cundinamarca.

Extender el campo de aplicación del robot manipulador a la industria farmacéutica, para apoyar los procesos de fabricación, manipulación y mezcla de productos químicos.

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Durante las pruebas realizadas con los diferentes elementos en el laboratorio se observó que hay una eficiencia en el trabajo del brazo para soportar el peso completo incluido el material que se quiere agarrar para así transportarlo a otro lugar dentro del laboratorio.
- Con base al asesoramiento de un profesional en Ingeniería Mecatrónica, se estudiaron las variables físicas del mecanismo para conocer el tipo de material a utilizar y cuales actuadores son necesarios para realizar la fuerza necesaria evitando que se provoque algún daño y sea ineficiente.
- En el desarrollo de este proyecto utilice herramientas para diseño de tipo CAD para la elaboración de la estructura mecánica, así como también la disposición de los actuadores, la amortiguación, engranes, poleas, etc., gracias a ello se puede visualizar como quedara la estructura del prototipo. La herramienta que use fue Blender para el diseño de la estructura la cual no conocía pero a través del desarrollo de este trabajo aprendí a usarla.
- Para la parte de control y comunicación se usó la plataforma Arduino, debido a que su lenguaje de programación es más versátil por que las librerías se pueden descargar de la web a comparación de otras plataformas que pueden tener un lenguaje complejo y que requieren mayor tiempo de aprendizaje.
- El desplazamiento del robot por el laboratorio no se vio perjudicado por ninguna circunstancia, pues permitió brindar el servicio que se requería y ayudar con el desarrollo de las actividades de los estudiantes, con estas pruebas se evidencio la puesta en marcha del robot prototipo y cumplió con los objetivos y las funciones esperadas.
- El robot prototipo tuvo buena movilidad en el espacio para el cual fue diseñado, sin obstruir o interferir en las labores realizadas dentro del laboratorio con la carga propuesta.

7. REFERENCIAS

- [1] Lozano-Perez T., 1987. "A simple motion-planning algorithm for general robot manipulators". IEEE J. of robotics and automation. Vol.RA-3, num, pp.224-238.
- [2] Gómez de Gabriel, J.M., 2000. "Contribuciones a la tele operación de robots con retardos de comunicación". Tesis doctoral. Universidad de Málaga.
- [3] Aturbone Ollero Aníbal., 2001. "Robótica – Manipuladores y robots móviles". MARCOMBO, S.A. Gran Vía de les Corts Catalanes, 59408007 Barcelona – España.
- [4] Gromep. *Tele Robótica* [En línea] <https://gromep.webs.upv.es/telerobotica>
- [5] OIEA Boletín. *Equipos de control a distancia para actividades de clausura*. https://www.iaea.org/sites/default/files/27405393539_es.pdf (1985)
- [6] Revista digital de la universidad autónoma de Zacatecas. Generación de trayectorias para teleoperación de robots manipuladores por modelo cinemática Generation of trajectories for teleoperation of robot manipulators for kinematics model [En línea].<http://www.uaz.edu.mx/cippublicaciones/ricvol3num1/Ingenieria/Generaciondetrayectorias.pdf> (Abril del 2007)
- [7] Adolfo Mora, 1987. Tecnología del Control de Procesos Industriales. Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Colombia.
- [8] Norma técnica colombiana NTC 1461 – Higiene y seguridad. Colores y señales de seguridad.
- [9] Norma técnica colombiana NTC 4435 – Transporte de mercancías. Hojas de seguridad para materiales. Preparación.
- [10] Norma técnica colombiana NTC 3544 – productos químicos. Ácido acético.
- [11] Norma técnica colombiana NTC 1962 – Transporte. Transporte de mercancías peligrosas definiciones, clasificación, marcado, etiquetado y rotulado.
- [12] Sattar, T., *Robotic Non Destructive Testing*, Viewpoint: Robotic none

destructive testing, Special issue on NDT Robots, In Industrial Robot: An International Journal, Vol.37 , No. 5, 2010, Emerald Group Publishing Limited, ISSN 0143-991X

[13] H. Asama et al. eds., Distributed Autonomous Robotic Systems 2, Springer-Verlag, Tokyo, 1996

[14] M.W. Thring, ^aTelechiric mining,^o 2nd R.O.MAN.SY, p. 459, 197

[15] Electrónica ¿Qué es un microcontrolador?. Studio. [En línea] <http://www.electronicaestudio.com/microcontrolador.htm>

[16] PLATAFORMA HARDWARE. Plataforma Arduino. [En línea] http://platea.pntic.mec.es/~mhidalgo/documentos/02_PlataformaArduino.pdf

[17] Vistronica. Módulo Shield L293D [En línea] <http://www.vistronica.com/arduino/shield/modulo-shield-l293d-detail.html>

[18] Vistronica. Módulo RF Transmisor y Receptor 433MHz [En línea] <http://www.vistronica.com/comunicaciones/modulo-rf-transmisor-y-receptor-433mhz-detail.html>

[19] Vistronica. Launchpad EK-TM4C123GXL [En línea] <http://www.vistronica.com/launchpad/launchpad-ek-tm4c123gxl-detail.html>

[20] Vistronica. Módulo Bluetooth Maestros/Esclavo HC-05 [En línea] <http://www.vistronica.com/comunicaciones/modulo-bluetooth-maestros-esclavo-hc-05-detail.html>

[21] Arduino. What is Arduino?. [En línea] <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

[22] <http://www.universal-robots.com/es/casos-pr%C3%A1cticos/clamcleats-ltd/>