



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECATRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT  
LIMPIADOR DE VIDRIO AUTÓNOMO CON MANDO INALÁMBRICO**

**AUTOR: VÁSQUEZ ROSERO, DANIEL ROBERTO**

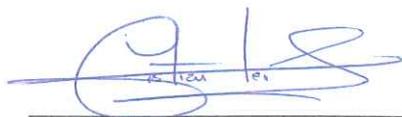
**DIRECTOR: ING. LEIVA, CRISTIAN**

**CODIRECTOR: ING. AYALA, PAUL**

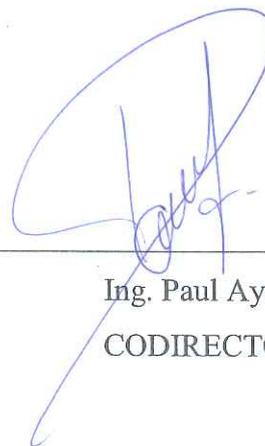
**SANGOLQUÍ, ABRIL 2015**

## CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT LIMPIADOR DE VIDRIO AUTÓNOMO CON MANDO INALÁMBRICO” fue realizado en totalidad por Daniel Roberto Vásquez Rosero, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE, en el Reglamento de Estudiantes; como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.



Ing. Cristian Leiva, Msc  
DIRECTOR



Ing. Paul Ayala  
CODIRECTOR

## AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Vásquez Rosero Daniel Roberto con CI. 1713251955, declaro haber realizado el proyecto de tesis titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT LIMPIADOR DE VIDRIO AUTÓNOMO CON MANDO INALÁMBRICO” y cumplido con los objetivos establecidos.



Daniel Roberto Vásquez Rosero

### CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



Ing. Francisco Terneus

**Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica**



## CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

### AUTORIZACIÓN

Yo, Daniel Roberto Vásquez Rosero, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT LIMPIADOR DE VIDRIO AUTÓNOMO CON MANDO INALÁMBRICO**” cuyo contenido, ideas, y criterios, son de mi exclusiva responsabilidad.



Daniel Roberto Vásquez Rosero

Sangolquí, 28 de Abril 2015

## **DEDICATORIA**

A mi familia y amigos.

Daniel Roberto Vásquez Rosero

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco la confianza y el apoyo brindado por parte de mi madre, que sin duda alguna en el trayecto de esta etapa de mi vida ha demostrado todo su amor corrigiendo mis fallas y celebrando mis triunfos

A mi hermana, por sus consejos y sus buenos deseos que me han ayudado para salir adelante.

A mi padre, que me llenado con sus consejos.

A mi novia Jessica, que sin ella no habría podido llegar hasta esta etapa de mi vida.

A mis abuelitos Jorge y Lelia que me han llenado con sus consejos y sus historias.

A mi familia, mis tíos, primos por su compañía a lo largo de los años.

A mis profesores, en especial a director y codirector del proyecto que me han guiado a lo largo de este proyecto.

A la empresa Fibra Óptica y Sistemas, que hizo posible la realización de este proyecto.

Daniel Roberto Vásquez Rosero

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Objetivos .....	1
1.2.1 Objetivo general.....	1
1.2.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcance y Limitaciones .....	2
1.3.1 Alcance .....	2
1.3.2 Limitaciones.....	2
CAPÍTULO II .....	4
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Introducción a la robótica.....	4
2.1.1 Antecedentes históricos .....	4
2.2 Generalidades .....	8
2.3 Propiedades mecánicas .....	9
2.4 Tipos de sujeciones .....	9
2.5 Componentes magnéticos.....	10
2.6 Microcontrolador .....	11
2.7 Servomotores .....	13
2.7.1 Funcionamiento .....	14

2.7.2 Características generales y funcionamiento.....	15
2.7.3 Servomotores en modelismo.....	17
2.8 Sensores.....	19
2.9 Módulo Arduino.....	21
2.10 Software.....	22
2.10.1 Software CAD.....	22
2.10.2 IDE de arduino.....	24
2.10.3 Software para cálculos magnéticos.....	25
CAPÍTULO III.....	28
3. DISEÑO DE LOS SISTEMAS.....	28
3.1 Modelado.....	31
3.1.1 Diseño mecánico.....	32
3.2 Diseño preliminar.....	37
3.2.1 Materiales.....	37
3.3 Análisis de diseño.....	46
3.3.1 Análisis Estático.....	46
3.3.2 Análisis Dinámico.....	50
3.3.3 Consideraciones y cálculos magnéticos.....	53
3.4 Visualizaciones de diseño.....	57
3.4.1 Selección de elementos.....	57
CAPÍTULO IV.....	79
4. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS.....	79
4.1 Planos de construcción del prototipo.....	79
4.2 Construcción de cuerpo base.....	80
4.2.1 Maquinado del chasis.....	80
4.2.2 Tratamiento químico chasis.....	81
4.3 Ensamble de sujeciones de los imanes.....	82
4.4 Ensamble de servomotores con llantas.....	82
4.5 Ensamblaje de mini servos con los discos limpiadores.....	85
4.6 Conexión de los sensores.....	87
4.7 Ensamblaje la bomba de agua.....	88
4.8 Ensamblaje chasis y carcasa.....	88
4.9 Conexión del sistema.....	89

4.9.1 Diseño de la placa electrónica .....	92
4.10 Pruebas .....	96
4.10.1 Instrumentos de comprobación .....	96
4.10.2 Descripción del ensayo .....	97
4.10.3 Resultado de pruebas .....	100
4.11 Análisis de costos .....	101
4.11.1 Costos directos .....	101
4.11.3 Costos indirectos .....	102
CAPÍTULO V .....	104
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	104
5.1 Conclusiones .....	104
5.2 Recomendaciones .....	105
BIBLIOGRAFÍA .....	107
ANEXOS .....	109
Anexo A. Código de programación en lenguaje c.....	109
Microcontrolador ardu1 maestro .....	109
Microcontrolador ardu2 maestro .....	112
Microcontrolador ardu1 esclavo .....	113
Microcontrolador ardu2 esclavo .....	114
Anexo B. Pegamento epóxico .....	115
Anexo C. Tablas de pruebas .....	116
Anexo D. Manual de usuario.....	118
Anexo E. Planos de construcción .....	119
Anexo F. Diagrama de flujo de programación. ....	120
Anexo G. Diagrama en bloques de programación. ....	121
Anexo H. Acta de entrega de robot a la empresa Fibra óptica y sistemas. ....	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista frontal e inferior del robot DISK_ROVER .....	11
Figura 2. Servomotor .....	14
Figura 3. Circuitería de control .....	15
Figura 4. Señal del servomotor .....	16
Figura 5. Tipo de pulso y ángulo de giro .....	16
Figura 6. Diagrama de un servomotor típico de modelismo.....	17

Figura 7. Componentes de un servomotor .....	18
Figura 8. Control por pulsos .....	19
Figura 9. Interface de solidworks.....	23
Figura 10. Interface de BRL-CAD.....	24
Figura 11. Software IDE arduino .....	25
Figura 12. Software de cálculos magnéticos de la empresa Imán Sales & Manufacturing Company .....	26
Figura 13. Software de cálculos magnéticos K&J Magnetics inc.....	26
Figura 14. Diseño de ingeniería común (proceso lineal) .....	28
Figura 15. Diseño de ingeniería moderna (Ingeniería concurrente) .....	29
Figura 16. Diseño de ingeniería concurrente del prototipo.....	30
Figura 17 Diagrama de lista de partes maestro .....	32
Figura 18 Diagrama de lista de partes esclavo.....	34
Figura 19. Estructura básica de robot.....	36
Figura 20. Vista inferior de estructura básica .....	36
Figura 21. Esquema de funcionalidad del robot.....	37
Figura 22. Diagrama funcional de proceso .....	38
Figura 23. Diagrama de los cuerpos sobre la superficie de la ventana .....	46
Figura 24. Diagrama de cuerpo maestro (vista lateral).....	47
Figura 25. Diagrama de cuerpo libre.....	51
Figura 26. Imagen del software para calculo Bo.....	54
Figura 27. Cálculo de la fuerza que ejerce el imán .....	56
Figura 28. Grafica de Distancia Vs Fuerza .....	56
Figura 29. Grafica de campo magnético generado por un imán .....	57
Figura 30. Diseño de chasis primario.....	60
Figura 31. Impresora 3D .....	61
Figura 32. Diseño de porta imanes.....	62
Figura 33. Diseño porta servo .....	62
Figura 34. Disco magnético de neodimio .....	63
Figura 35. Bomba de agua .....	64
Figura 36. Diseño de discos limpiadores .....	65
Figura 37. Sensor ultrasónico.....	68
Figura 38. Control remoto.....	69
Figura 39. Codificación de señal infrarroja.....	70
Figura 40. Modulo RF para arduino.....	70
Figura 41. Batería Lipo .....	72
Figura 42. Cargador iMAX de baterías LiPo .....	74
Figura 43. Servomotor MG995 .....	75
Figura 44. Llantas de goma Re28 .....	77
Figura 45 Llantas goma espuma .....	77
Figura 46. Diseño de la tapa.....	78
Figura 47. Diseño CAD de modulo maestro.....	79
Figura 48. Diseño CAD de modulo esclavo .....	79
Figura 49. Taladrado chasis primario.....	80

Figura 50. Chasis perforado .....	81
Figura 51. Chasis sumergido en agua con cloruro férrico .....	81
Figura 52. Chasis listo.....	82
Figura 53. Sujeción de imán de neodimio.....	82
Figura 54. Sujeción de servomotor .....	84
Figura 55. Acople de la llanta maestro con el servomotor.....	84
Figura 56. Acople de la llanta esclavo con el servomotor .....	85
Figura 57. Acondicionamiento de discos limpiadores .....	85
Figura 58. Posición de mini servos en chasis.....	86
Figura 59. Ensamble de discos limpiadores con mini servos.....	86
Figura 60. Cables de conexión .....	87
Figura 61. Cables de conexión de sensor ultrasónico .....	88
Figura 62. Ensamble de tanque de agua con bomba .....	88
Figura 63. Ensamble de chasis con carcasa .....	89
Figura 64. Diagrama de conexión eléctrico/electrónico del maestro.....	90
Figura 65. Diagrama de conexión eléctrico/electrónico del esclavo.....	92
Figura 66. Diagrama de ruteado panel maestro .....	93
Figura 67. Visualización 3D del panel maestro .....	93
Figura 68. Diagrama de ruteado del panel esclavo .....	94
Figura 69. Visualización 3D del panel esclavo.....	94
Figura 70. Conexión del sistema de modulo maestro .....	95
Figura 71. Conexión del sistema de modulo esclavo.....	95
Figura 72: Cronómetro Digital.....	96
Figura 73: Flexómetro.....	97
Figura 74: Balanza digital .....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Desarrollo de la robótica .....	5
Tabla 2 Características de los microcontroladores ATmel .....	12
Tabla 3 Lista de partes maestro.....	33
Tabla 4 Lista de partes maestro.....	35
Tabla 5 Matriz de decisión del chasis .....	38
Tabla 6 Matriz decisión sujeción de elementos .....	39
Tabla 7 Matriz de decisión de generador de fuerza .....	39
Tabla 8 Matriz de decisión de bomba de agua.....	40
Tabla 9 Matriz de decisión de disco limpiador .....	40
Tabla 10 Matriz de decisión motor limpiador.....	41
Tabla 11 Matriz de decisión del micro controlador .....	41
Tabla 12 Matriz de decisión del sensor.....	42
Tabla 13 Matriz de decisión del control remoto .....	42
Tabla 14 Matriz de decisión para mando inalámbrico.....	43
Tabla 15 Matriz de decisión de la batería .....	43
Tabla 16 Matriz de decisión de motor de movilidad.....	44

Tabla 17 Matriz de decisión de llantas del maestro .....	44
Tabla 18 Matriz de decisión de llantas del esclavo.....	45
Tabla 19 Matriz de decisión de la carcasa .....	45
Tabla 20 Matriz morfológica .....	58
Tabla 21 Datos técnicos bomba de agua .....	64
Tabla 22 Características del micro servomotor SG90.....	66
Tabla 23 Características de arduino nano .....	67
Tabla 24 Características de modulo RF receptor .....	71
Tabla 25 Características de modulo RF transmisor .....	71
Tabla 26 Tabla de análisis de consumo energético del panel maestro.....	73
Tabla 27 Tabla de análisis de consumo energético del panel esclavo .....	73
Tabla 28 Características de servomotor MG995.....	75
Tabla 29 Características de cables de conexión.....	87
Tabla 30 Descripción de pines entrada/salida del esquema eléctrico panel maestro. .....	91
Tabla 31 Descripción de pines entrada/salida del esquema eléctrico panel esclavo.	92
Tabla 32 Procedimiento para prueba de desplazamiento y sujeción.....	98
Tabla 33 Procedimiento para prueba distancia del control remoto.....	99
Tabla 34 Procedimiento para prueba autonomía del robot. ....	99
Tabla 35 Costos Directos .....	102
Tabla 36 Costos Indirectos.....	103
Tabla 37 Costos Total de Proyecto .....	103

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un prototipo de robot limpiador de vidrio autónomo con mando inalámbrico, el mismo que permite, mediante una fuerza magnética que ejerce los dos módulos de trabajo denominados modulo maestro (interior del lugar) y modulo esclavo (exterior del lugar), una adherencia al vidrio excelente dando así un ajuste seguro para su funcionamiento. El modulo maestro consta de llantas antideslizantes que admiten el movimiento sobre la superficie del vidrio, imanes permanentes para ejercer fuerza de atracción entre los módulos a través del vidrio, detección de perfiles u objetos de las ventanas mediante sensores ultrasónicos receptor IR para los mandos del control remoto; y discos limpiadores con sus respectivos paños de microfibra para la limpieza de la superficie del vidrio. El modulo esclavo es el dispositivo seguidor del maestro y limpiador que consta además de los componentes del módulo maestro, de un contenedor del líquido limpia vidrios y una boquilla para la salida del líquido limpiador. La comunicación entre los dos módulos es inalámbrica mediante módulos de radio frecuencia, el transmisor en el módulo maestro y el receptor en el módulo esclavo. La adquisición de datos y el control de los actuadores de los módulos se lo realizan a través de una tarjeta electrónica con base a Arduino Nano. El prototipo presenta dos modos de trabajo, un modo manual donde se controla a los módulos a través de botones de movimiento y dirección con un control remoto y un modo automático para realizar la secuencia de limpieza ya establecida.

**Palabras Claves: AUTÓNOMO, MÓDULOS, FUERZA MAGNÉTICA, ARDUINO, MANDO INALÁMBRICO.**

## ABSTRACT

This Project involves the design and construction of an autonomous window cleaner robot prototype with a wireless command. This allows to use an electromagnetic force that applied to two working modules called master module (working inside) and slave module (working outside) provides an excellent adherence to the glass giving in this way a safe adjustment for its performance. The master module contains anti-slippery wheels that permit the movement on a glass surface, permanent magnets to perform attraction forces between the modules through the glass, a window frame and object detector through IR ultrasonic receptors for the remote control command and cleaning discs with their microfiber cloths to clean the glass surface. The slave module follows the master module and has besides the master module components a window cleaner container and a nozzle to let the liquid flow. The communication between the two modules is wireless through the use of radio frequency modules with a transmitter in the master module and a receptor in the slave module. The data gathering and the control of the modules is carried out through and Arduino Nano electronic card. The prototype provides two working modes, a manual mode in which the modules are controlled through movement buttons and the direction is controlled with a remote control; and an automatic mode to perform the established cleaning sequence.

**Keywords: SELF, MODULES, MAGNETIC FORCE, ARDUINO, WIRELESS CONTROL.**

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

##### **1.1.1 Antecedentes**

La robótica es una ciencia que ha tenido un vertiginoso desarrollo a partir de sus inicios en la década de los 60s y desde entonces ha continuado el interés por el desarrollo y la innovación. La evolución de este campo ha permitido la creación de sistemas artificiales que sean capaces de ejecutar tareas usualmente realizadas por el hombre.

La iniciativa de diseño y construcción de un robot limpia ventanas y/o ventanales de similares características a los comerciales fue propuesto en la compañía Fibra Óptica y Sistemas (F.O.S.) al plantear que desean ampliar sus servicios con la implementación de la domótica, por lo cual se propone el diseño y construcción de un robot limpia cristales que contemple un dispositivo inalámbrico con control remoto.

Con este robot se busca reemplazar las tareas cotidianas que el hombre ha venido haciendo desde hace varios años atrás, sea por tarea repetitiva (tedioso) o por la necesidad de limpiar cristales a altura.

El mercado de la limpieza de vidrios está en pleno crecimiento, al no tener automatizada esta tarea se busca crear una necesidad para el consumidor. De ahí sale la iniciativa de automatizar este servicio.

#### **Hipótesis**

El prototipo de robot limpia vidrios es capaz de limpiar ventanales de dimensiones mayores a un área de 50cm x50cm, a una velocidad de 8cm por segundo de forma autónoma solo necesita la orden de inicio que se ejecuta desde un control remoto.

#### **1.2 Objetivos**

##### **1.2.1 Objetivo general**

Diseñar y construir un prototipo de robot limpiador de vidrios, autónomo con mando inalámbrico.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Diseñar una carcasa de robot que sea funcional en su manejo y aplicación.
- Diseñar un sistema que permita una sujeción segura en cristales en posición vertical.
- Asegurar que el robot tenga un movimiento continuo y seguro a través de la superficie del cristal.
- Implementar un sistema para definir los límites del cristal.
- Implementar un mecanismo para la limpieza de superficies de los vidrios.

### **1.3 Alcance y Limitaciones**

#### **1.3.1 Alcance**

El dispositivo robótico presenta los siguientes alcances. Son las condiciones de diseño del prototipo y son los siguientes:

- Espesor de cristales de 3 a 5mm.
- Margen de error de limpieza cercano en los filos de +15mm.
- Generar un nivel de ruido menor a 80dB.
- Autonomía eléctrica de por lo menos 2 horas.
- Velocidad de 8cm por segundo.
- Realizar el reconocimiento de la dimensión del cristal a limpiar para el cálculo de iteraciones necesarias para el movimiento del robot en toda el área cristal.
- Mando inalámbrico para encendido, apagado y alarma para avisar cuando la batería está cerca de agotarse a una distancia de al menos 10m.
- Limpiar los dos lados del cristal al mismo tiempo.

#### **1.3.2 Limitaciones**

Las limitaciones son las condiciones que asegura el correcto funcionamiento del robot limpia vidrios son los siguientes:

- Desplazamiento en superficies de vidrio planas y lisas.

- Las dimensiones de los dos cuerpos que constituyen el robot, cuerpo maestro y esclavo deben ser 200x200x75mm cada uno.
- Se utiliza en lugares donde sea posible la colocación de un panel externo (esclavo).
- Funcionamiento en superficies delimitadas por perfiles que sujetan los vidrios.
- Cristales de espesor menor a 6mm.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Introducción a la robótica

La palabra robot proviene de la palabra checa *robota* que significa trabajo. Existen varias definiciones de robot; el Diccionario Webster lo define como “Un dispositivo automático que efectúa funciones ordinariamente asignadas a los seres humanos”. Por otra parte, una definición más concreta para los robots industriales la proporciona el Robot Institute of America como “Un robot es un manipulador reprogramable multifuncional diseñado para mover materiales, piezas o dispositivos especializados, a través de movimientos programados variables para la realización de una diversidad de tareas” (Reyes, 2011, págs. 244-251).

##### 2.1.1 Antecedentes históricos

El desarrollo de la robótica se ha dado, ya que a lo largo del tiempo las personas han creado “artefactos” que imitan las partes del cuerpo humano con el objeto de materializar el deseo de crear seres a su semejanza. Los antiguos egipcios adecuaron a las estatuas de sus dioses uniéndolos brazos mecánicos, los griegos construyeron estatuas que operaban con sistemas hidráulicos, los cuales se utilizaban para fascinar a los adoradores de los templos.

A través de los años se han ido incorporando algunas áreas para el desarrollo de la robótica como son: la física, mecánica, electrónica, informática, ingeniería de control y la inteligencia artificial.

Los principios de lo que en la actualidad se conoce como robótica se han desarrollado desde los años XVII y XVIII que se construyeron máquinas que tenían algunas características de robots. Durante la revolución industrial se diseñaron máquinas que se utilizaron particularmente en el área de producción textil. En 1770, se creó la hiladora giratoria de Hargreaves. Posteriormente, en 1779 se diseñó la hiladora mecánica de Compton. Pocos años después, en 1785 se construyó el telar mecánico de Cartwright y en 1801 se construyó el telar de Jacquard. Desde entonces

se desarrollaron algunas aplicaciones que se utilizan en diferentes áreas como se describe a continuación:

**Tabla 1**

**Desarrollo de la robótica**

<b>AÑO</b>	<b>INVENTOR</b>	<b>DESARROLLO</b>
<b>Siglo XVIII</b>	James de Vaucanson	muñecas mecánicas de tamaño humano que ejecutaban piezas de música
<b>1805</b>	H. Maillartdet	Muñeca mecánica capaz de hacer dibujos.
<b>1946</b>	G.C Devol	Dispositivo controlador que podía registrar señales eléctricas por medios magnéticos y reproducirlas para accionar una máquina mecánica.
<b>1951</b>	Patente de Estados Unidos emitidas para Goertz (1954) y Bergsland (1958)	Trabajo de desarrollo con teleoperadores (manipuladores de control remoto) para manejar materiales radiactivos.
<b>1952</b>	Instituto Tecnológico de Massachusetts	Una máquina prototipo de control numérico. Un lenguaje de programación de piezas denominado APT.
<b>1954</b>	C. W. Kenward	Solicitó su patente para diseño de robot.
<b>1954</b>	G.C. Devol	Diseños para Transferencia de artículos programada.
<b>1960</b>	Planet Corporation Devol	Se introdujo el primer robot comercial. Se introdujo el primer robot 'Unimate', basada en la transferencia de artic. Robot de transmisión hidráulica.
<b>1961</b>	Ford Motors Company	Un robot Unimate se instaló en la Ford Motors Company para atender una máquina de fundición de troquel.
<b>1966</b>	Trallfa	Construyó e instaló un robot de pintura por pulverización.
<b>1968</b>	Standford Research Institute	Un robot móvil llamado 'Shakey'' Estaba provisto de una diversidad de sensores así como una cámara de visión y sensores táctiles y podía desplazarse por el suelo.
<b>1971</b>	Standford University	El 'Standford Arm'', un pequeño brazo de robot de accionamiento eléctrico

CONTINÚA



<b>1973</b>	SRI Unimation por Víctor Scheinman y Bruce Simano	Primer lenguaje de programación de robots del tipo de computadora para la investigación con la denominación WAVE.
<b>1974</b>	ASEA	Robot Irb6 de accionamiento completamente eléctrico.
<b>1974</b>	Kawasaki	Instaló un robot para soldadura por arco para estructuras de motocicletas.
<b>1974</b> <b>1975</b>	Cincinnati Milacron	Robot T3 con control por computadora. El robot 'Sigma' de Olivetti se utilizó en operaciones de montaje.
<b>1976</b>	Charles Stark Draper	Un dispositivo de Remote Center Compliance (RCC) para la inserción de piezas en la línea de montaje
<b>1978</b>	Integrated Computer-Aided Manufacturing	El robot T3 de Cincinnati Milacron se adaptó y programó para realizar operaciones de taladro y circulación de materiales en componentes de aviones
<b>1978</b>	Unimation	Se introdujo el robot PUMA (Programmable Universal Machine for Assambly) para tareas de montaje
<b>1979</b>	Universidad de Yamanashi	Desarrollo del robot tipo SCARA (Selective Compliance Arm for Robotic Assambly)
<b>1980</b>	Universidad de Rhode Island	Un sistema robótico de captación de recipientes. Con el empleo de visión de máquina el sistema era capaz de captar piezas en orientaciones aleatorias y posiciones fuera de un recipiente.
<b>1981</b>	Universidad de Carnegie-Mellon	Robot de impulsión directa. Utilizaba motores eléctricos situados en las articulaciones del manipulador sin las transmisiones mecánicas.
<b>1982</b>	IBM	Robot RS-1 para montaje, de estructura de caja que utiliza un brazo constituido por tres dispositivos de deslizamiento ortogonales.
<b>1983</b>	Westinghouse Corp. bajo el patrocinio de National Science Foundation	Sistema de montaje programable adaptable (APAS), un proyecto piloto para una línea de montaje automatizada flexible con el empleo de robots.
<b>1984</b>		Robots 8. Programas de robots utilizando gráficos interactivos en una computadora personal y luego se cargaban en el robot.

Fuente: (Guillén, Tello, D., & Galan, 2010)

De todos los investigadores, científicos, técnicos e ingenieros a lo largo de los años, hubo también escritores de ciencia ficción como Isaac Asimov quien en 1939 contribuyó con varias narraciones relativas a robots. A él se atribuye el acuñamiento del término Robótica. La imagen de robot que aparece en su obra es el de una máquina bien diseñada y con una seguridad garantizada que actúa de acuerdo con tres principios (Anderson & Anderson, 2011).

Estos principios fueron denominados por Asimov como Las Tres Leyes de la Robótica, y son:

- i. Un robot no puede actuar contra un ser humano o mediante la inacción, que un ser humano sufra daños.
- ii. Un robot debe de obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, salvo que estén en conflictos con la primera ley.
- iii. Un robot debe proteger su propia existencia, a no ser que esté en conflicto con las dos primeras leyes.

En la actualidad existen algunos robots limpiadores de uso doméstico pero muy pocos para la aplicación de limpia ventanas. El primer robot limpia ventanas lanzado a nivel comercial fue en el año 2012 conocidos como Windoro y Winbot (Iberobotics, S.L., 2013).

### **Características técnicas.**

El Winbot que se encuentra en el mercado posee las siguientes características técnicas:

- Dimensiones: 23,2cm x 22,5cm x 9,5cm
- Autonomía: Ilimitada (enchufado) / 30min con batería de seguridad
- Tiempo de carga: 2h (batería de seguridad)
- Mando a distancia: Sí
- Detección de borde de ventana (mínimo 3mm)
- Capacidad del depósito: Sin depósito: mopas / paños lavables
- Grosor máximo del cristal: 10mm (Iberobotics, S.L., 2013)

## 2.2 Generalidades

Los parámetros de los sistemas robotizados conforme a su funcionamiento se pueden clasificar en 2 partes, móviles y no móviles. Los sistemas móviles se caracterizan por tener patas, ruedas o rieles que son los que dan el movimiento al sistema. Para conseguir una determinada trayectoria, estos sistemas móviles son aplicados específicamente para realizar tareas o misiones en ambientes hostiles. Por otra parte los sistemas robóticos no móviles son los que están adaptados a una parte fija, estos sistemas son aplicados en líneas de procesos de producción que están sujetas a un área determinada de trabajo para los eslabones que son partes de los sistemas robóticos no móviles (Guillén, Tello, D., & Galan, 2010, pág. 10).

A los sistemas móviles también se los denomina caminantes. Este tipo de sistemas como se describió anteriormente, poseen patas con los cuales realizan un sistema de locomoción ya que en sus extremidades poseen articulaciones y eslabones. Este sistema de locomoción es óptimo para todo tipo de terreno sobre todo en irregularidades, basado en el apoyo de sus patas o extremidades sobre el terreno.

Las diferentes clasificaciones dependiendo del número de puntos de apoyo ya sea: monópodos, bípedos, cuadrúpedos, hexápodos, etc. Este tipo de sistemas requieren de sistemas mecánicos, niveles de sonorización y de control más complejos que son un limitante ya que los costos de fabricación y de mantenimiento son elevados en comparación con otros sistemas robóticos.

Las características principales de este tipo de sistemas robóticos se pueden describir de la siguiente manera:

*Capacidad de adaptación al terreno.* Los robots con ruedas tienen capacidad de desplazarse sobre terrenos irregulares. Por otra parte, los robots caminantes tienen la capacidad de control en la posición, orientación y velocidad.

*Control de las fuerzas en los puntos de apoyo.* Los robots tienen la capacidad de distribuir el peso al controlar la fuerza que ejerce cada pata en el terreno.

*Apoyos discretos en el terreno.* Al necesitar únicamente zonas puntuales y no regiones continuas de apoyo, necesarios para desplazarse por caminos con obstáculos denominados zonas prohibidas.

Los sistemas robóticos móviles poseen mecanismos idóneos para el desplazamiento en superficies con cierto ángulo de inclinación o por completo

verticales y su aplicación a estas son de limpieza y mantenimiento de fachadas (Guillén, Tello, D., & Galan, 2010, pág. 10).

### **2.3 Propiedades mecánicas**

En la actualidad la inspección, mantenimiento y limpieza de fachadas y ventanas completamente verticales se lo realiza de forma manual para lo cual se necesita de instalaciones de andamios que requieren de tiempo y un gasto adicional; a la vez que los trabajadores se exponen a un trabajo de riesgo. Al surgir este tipo de demanda, comienzan a desarrollarse sistemas robóticos escaladores que en su mayoría son teleoperados y cumplen tareas como: limpieza en cristales, inspección y mantenimiento de puentes, transporte de herramientas para soldadura en barcos, etc.

En este tipo de sistemas robóticos con movimiento interviene la fuerza de gravedad ya que al estar en superficies totalmente verticales se produce un momento el cual tiende a despegar a la máquina de la superficie que se encuentra adherida. Para un correcto funcionamiento se debe tener el centro de gravedad de todo el sistema robótico debe encontrarse lo más cerca de la superficie vertical. Hay dos maneras de sujeción del robot a la superficie:

- Utilizando fuerzas de sujeción entre el cuerpo, el extremo final de las patas y la superficie de desplazamiento.
- Utilizando fuerzas de sujeción solo entre el extremo final de las patas y la superficie de desplazamiento.

Existen varios mecanismos para la sujeción de los robots escaladores dependiendo de la aplicación y el tipo de superficies de contacto siendo las más comunes el uso de vacío y electroimanes (Guillén, Tello, D., & Galan, 2010, pág. 11).

### **2.4 Tipos de sujeciones**

Relacionado con el tipo de superficie por el que se mueven los robots está el método de sujeción que utilizan. Así, la forma de sujeción depende mucho de la forma de la superficie y del material con la que se haya construido. Existen tres tendencias claramente definidas a la hora de elegir la forma de sujeción o agarre. Si la intención es crear un robot que se mueva por la fachada de un edificio o similar, se usarán

ventosas de vacío exclusivamente, y esto normalmente, conduce a usar accionamientos neumáticos para mover el robot. Los primeros estudios serios en esta materia fueron realizados en 1992 por el equipo de Gradetsky (Giménez, 2000), quien sentó las bases teóricas en este campo.

Por otro lado, si los robots están destinados a moverse por superficies metálicas no pintadas, como cascos de barcos o aviones, los diseñadores, normalmente, suelen destacarse por imanes como sistema de sujeción. Este es el caso de los robots que escalan por la superficie de barcos, desarrollados por el IAI en España y el CSIRO en Australia. Otra característica común de este tipo de robots es su gran peso debido al uso de electroimanes, lo que conlleva una baja maniobrabilidad. Esta tendencia tiene también serias limitaciones en el tipo de superficies por las que se desplaza el robot que se explicarán más adelante. Por último, si se trata de una estructura tridimensional de vigas, columnas, o de tuberías, se suelen usar pinzas o abrazaderas que aprieten el robot a la estructura, al igual que hacen algunos monos o los perezosos cuando suben por un árbol.

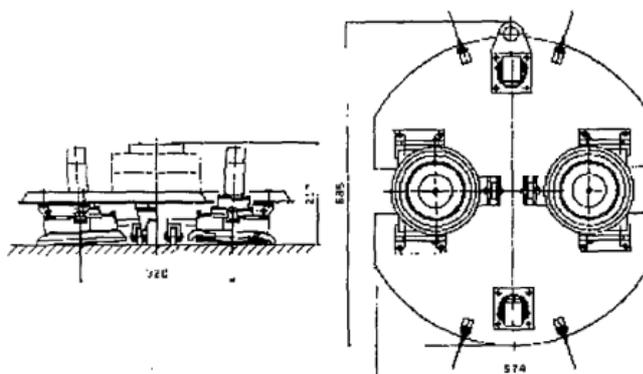
## **2.5 Componentes magnéticos**

Los electroimanes son muy útiles si se quiere utilizar la electricidad como fuente de energía. El electroimán se queda agarrado a la superficie, que tiene que ser metálica, mientras no se le haga pasar una corriente a la bobina que le rodea; ya que en cuanto esto ocurre, el imán pierde sus propiedades magnéticas y se suelta de la pared. Su mayor inconveniente es que el entrehierro que se produce entre el imán y la superficie de agarre no puede ser muy grande. Así si la superficie sobre la que se va a sostener el robot está pintada, no puede sujetarse bien a ella.

El peso del electroimán, no es nada despreciable, y es algo a tener muy en cuenta en el momento de diseñar el robot.

Hay otras aplicaciones que se valen de imanes permanentes, pero necesitan de un mecanismo que facilite su separación de la superficie de escalado. Su fuerza de agarre es mucho mayor que la de los electroimanes, y debido a esta razón, algunas aplicaciones tienen una solución combinada de imanes y electroimanes. A veces los diseñadores han creado nuevos mecanismos para conseguir un despegue más fácil del electroimán (Giménez, 2000).

Este es el sistema que lleva el robot DISK ROVER desarrollado por el profesor Hirose, y que aparece en la Figura 1.



**Figura 1. Vista frontal e inferior del robot DISK ROVER**

Fuente: (Giménez, 2000, pág. 25)

## 2.6 Microcontrolador

El microprocesador ha surgido, ya que la tecnología ha ido desarrollándose específicamente en la fabricación de circuitos integrados. Con este desarrollo se ha podido implementar centenas de miles de transistores en un chip, esto fue muy revolucionario algunos años atrás. Ya que se pasó de tener periféricos externos a las computadoras a tener en un solo chip al procesador con periféricos, a este chip se lo denominó microcontrolador. Este componente está desarrollado en una placa de silicio, denominado Circuito de alta escala de integración (HSI por sus siglas en inglés).

El microcontrolador es una microcomputadora en cuya memoria se almacenan los datos. A estos datos se los denomina programa, el cual solo se puede cargar uno que se debe encargar de gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada/salida se las denominan puertos con los cuales se pueden tener conexión de sensores y actuadores del dispositivo a controlar. Una vez creado el programa y configurados sus pines el microcontrolador está destinado exclusivamente a gobernar la tarea asignada mediante la programación. El microcontrolador está integrado por un microprocesador y el conjunto de subsistemas que normalmente requiere un microprocesador como:

memoria volátil (cálculo temporal), memoria no volátil (donde almacena el programa), oscilador que varía de 0MHz a 40MHz dependiendo el microprocesador, convertidor A/D, puertos de entrada y salida (VALDÉS, 2007).

Al querer realizar algún sistema robótico para el trabajo del procesamiento más habitual en los microcontroladores, ya que con esto se consigue reducir costos. Los microcontroladores más utilizados son de la familia PIC, de la familia de microchip. El más habitual y utilizado en la construcción de robots es el PIC16F84 que posee una memoria de programa flash de 1 KB con palabras de 14 bits, una memoria RAM de datos de 68 bytes y 13 pines de E/S.

La empresa de Atmel fabrica otro tipo de microcontroladores, que también son de uso habitual en la construcción de robots. De todas sus líneas, la denominada AVR de 8 y 32 bits son las más recomendadas para el procesamiento en este campo. Toda la línea AVR presenta características como bajo poder de consumo, arquitectura ARM (Advanced RISC Machine), una combinación única de rendimiento, eficiencia energética y flexibilidad de diseño para la facilidad de implementación de lenguajes de alto nivel para la programación (ATMEL Corporation, 2015).

En la actualidad, por su sencillez y bajo costo los más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280 y Atmega2560 a través una plataforma de hardware libre llamada Arduino, más adelante se detalla con más profundidad esta plataforma.

**Tabla 2**

**Características de los microcontroladores ATmel**

<b>Microcontrolador</b>	<b>ATmega16</b>	<b>ATmega32</b>	<b>ATmega128</b>	<b>ATmega256</b>
	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Tensión de entrada</b>	7-12V	7-12V	7-12V	7-12V
<b>Tensión del sistema</b>	5V	5V	5V	5V
<b>Frecuencia de Reloj</b>	16MHz	16MHz	16MHz	16MHz

CONTINÚA



<b>Digital I/O</b>	14	14	54	54
<b>Entradas Analógicas</b>	6	6	16	16
<b>PWM</b>	6	6	14	14
<b>UART</b>	4	1	4	4
<b>Memoria Flash</b>	16Kb	32Kb	128Kb	256Kb
<b>Cargador</b>	STK500v2	Optiboot	STK500v2	STK500v2
<b>Interfaz de Programación</b>		USB vía ATMega16U2	USB vía FTDI	USB vía ATMega16U2

Fuente (Arduino S.A., 2010)

## 2.7 Servomotores

Un servo se denomina a un tipo especial de motor de corriente continua ya que es un dispositivo pequeño, pero que a diferencia de un motor de corriente continua común, éste tiene un eje de rendimiento controlado y se caracteriza por su funcionalidad de ser capaz de ir de forma inmediata a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada, en la Figura 2 se puede observar los elementos que tiene un servomotor que son tarjeta de control, potenciómetro y motor dc. Con tal de que una señal codificada exista en la línea de entrada, el servo mantiene la posición angular. Cuando la señal codificada cambia, la posición angular de los piñones también cambia. En la práctica, los servos se usan en radio control, títeres, para posicionar superficies de control como: el movimiento de palancas, pequeños ascensores y timones. Desde varios años atrás se han incorporado el uso de servomotores en el área de la creación de robots, ya que con la utilización de servos pueden realizar un control perfeccionado de los movimientos o funciones de los robots.



**Figura 2. Servomotor**

Fuente: (Albacete, Robotica, 2008)

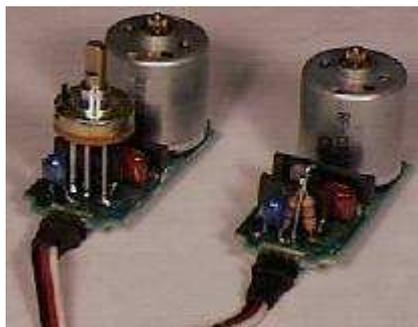
Los servos son sumamente útiles en robótica puesto que los motores son pequeños y tienen una tarjeta de control interna que es sumamente poderosa para su tamaño. Un servo normal o standard como el HS-300 de Hitec tiene las siguientes características:

- un torque bastante fuerte para su tamaño de 42 onzas por pulgada o 3kg por cm.
- potencia proporcional para cargas mecánicas

Un servo, dependiendo de su aplicación, no va a estar moviéndose todo el tiempo; además, la corriente que requiere depende de su tamaño y principalmente del par; sin embargo a pesar de todas estas características un servo no consume mucha energía comparado con un motor normal de corriente continua (Albacete, Escuela Politecnica Superior de Albacete, 2014).

### **2.7.1 Funcionamiento**

El motor del servo tiene algunos circuitos de control y un potenciómetro que lo complementan; la resistencia variable es conectada al eje central del servo motor, ver Figura 3. Este potenciómetro permite a la circuitería de control supervisar el ángulo actual del servo motor. Si el eje está en el ángulo correcto, entonces el motor está apagado. Si el circuito chequea que el ángulo no es el correcto, el motor gira en la dirección adecuada hasta llegar al ángulo correcto. El eje del servo es capaz de llegar alrededor de los 180 grados normalmente, en otras configuraciones llega a los 210 grados, pero varía según el fabricante.



**Figura 3. Circuitería de control**

Fuente: (Albacete, Robotica, 2008)

Para el manejo del servo se realiza un control proporcional, esto quiere decir que la tensión aplicada al motor es proporcional a la distancia que éste necesita viajar. Así, si el eje necesita regresar sólo una pequeña cantidad, el motor corre a una velocidad más lenta y si el eje necesita regresar una distancia grande, el motor regresa a toda velocidad.

### **2.7.2 Características generales y funcionamiento**

Estos servos tienen un amplificador, piñonaría de reducción y un potenciómetro de realimentación; todo incorporado en el mismo conjunto. Esto es un servo de posición (lo cual significa que requiere de información a qué posición debe ir), con un rango de aproximadamente 180 grados. Ellos tienen tres cables de conexión eléctrica que se identifican de la siguiente manera;

- Vcc, alimentación (color rojo)
- GND, conexión a tierra (negro)
- Entrada de control, (blanco o amarillo)

Además, para controlar un servo, se le ordena un cierto ángulo, medido desde 0 grados. Se le envía una serie de pulsos. En un tiempo ON de pulso indica el ángulo al que debe posicionarse; 1ms = 0 grados, 2.0ms = máx. grado (cerca de 120) y algún valor entre ellos da un ángulo de salida proporcional, la gráfica de la señal que debería tener un servomotor se puede observar en la Figura 4. Generalmente se considera que en 1.5ms está el "centro." Entre límites de 1 ~ 2ms son las recomendaciones de los fabricantes, usted normalmente puede usar un rango mayor de 1.5ms para obtener

un ángulo mayor e incluso de 2ms para un ángulo de rendimiento de 180 grados o más. El factor limitante es el tope del potenciómetro y los límites mecánicos construidos en el servo. Un sonido de zumbido normalmente indica que se está forzando por encima al servo, entonces se debe disminuir un poco (Albacete, Robotica, 2008).

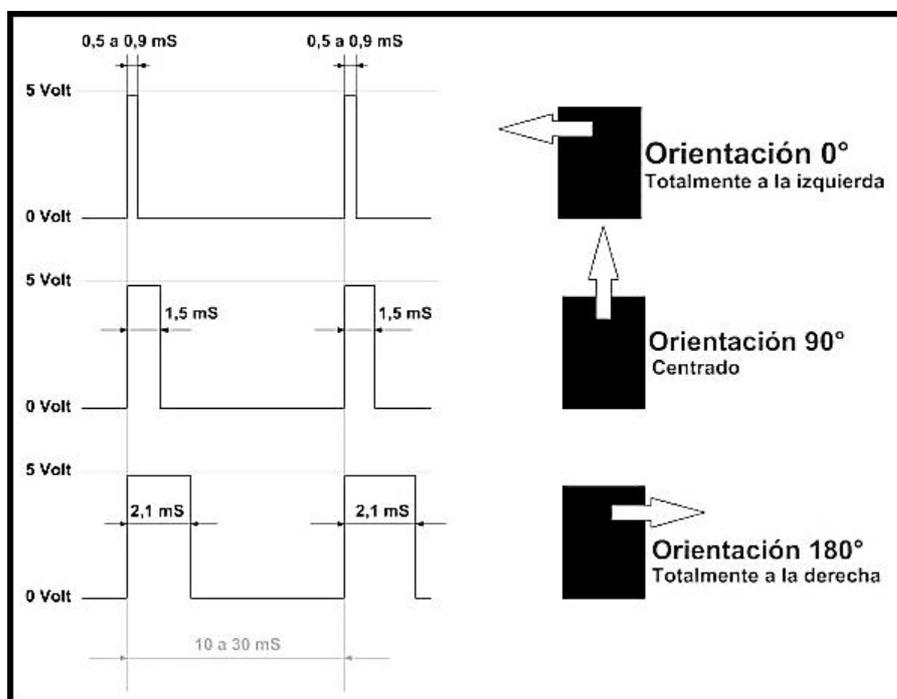
Este es un ejemplo de la señal que debería tener el servo:



**Figura 4. Señal del servomotor**

Fuente: (Albacete, Robotica, 2008)

El tiempo de OFF en el servo no es crítico; puede estar alrededor de los 20ms. Se ha usado entre 10ms y 30 ms. Esto no tiene que ser de ésta manera, puede variar de un pulso a otro. Los pulsos que ocurren frecuentemente en el tiempo de OFF pueden interferir con el sincronismo interno del servo y podría escucharse un sonido de zumbido o alguna vibración en el eje. Si el espacio del pulso es mayor de 50ms (depende del fabricante), entonces el servo podría estar en modo SLEEP entre los pulsos. Entraría a funcionar en pasos pequeños y el rendimiento no sería el óptimo.



**Figura 5. Tipo de pulso y ángulo de giro**

Fuente: (Albacete, Robotica, 2008)

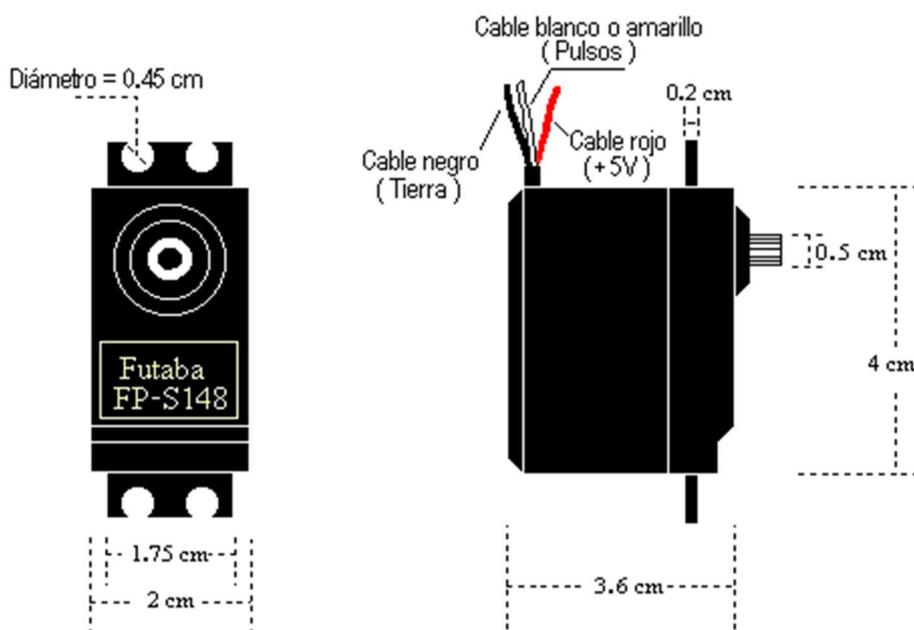
Como se observa en la Figura 5, la duración del pulso indica o dictamina el ángulo del eje. Nótese que las ilustraciones y los tiempos reales dependen del fabricante del motor. El principio, sin embargo, es el mismo.

El cable de control se usa para comunicar el ángulo. El ángulo está determinado por la duración de un pulso que se aplica al alambre de control. A esto se le llama Modulación codificada de Pulsos (PCM por sus siglas en inglés). El servo espera ver un pulso cada 20ms. La longitud del pulso determina los giros de motor. Un pulso de 1.5 ms., por ejemplo, hace que el motor se torne a la posición de 90 grados (llamado la posición neutra). Si el pulso es menor de 1.5 ms., entonces el motor se acerca a los 0 grados. Si el pulso es mayor de 1.5ms, el eje se acerca a los 180 grados.

La descripción realizada anteriormente como se refiere a servomotores de corriente continua usados en robótica doméstica y en aeromodelismo fundamentalmente.

### 2.7.3 Servomotores en modelismo

Un servomotor de este tipo es básicamente un motor eléctrico que sólo se puede girar en un ángulo de aproximadamente 180 grados y en otras configuraciones llega a los 210 grados, pero varía según el fabricante.



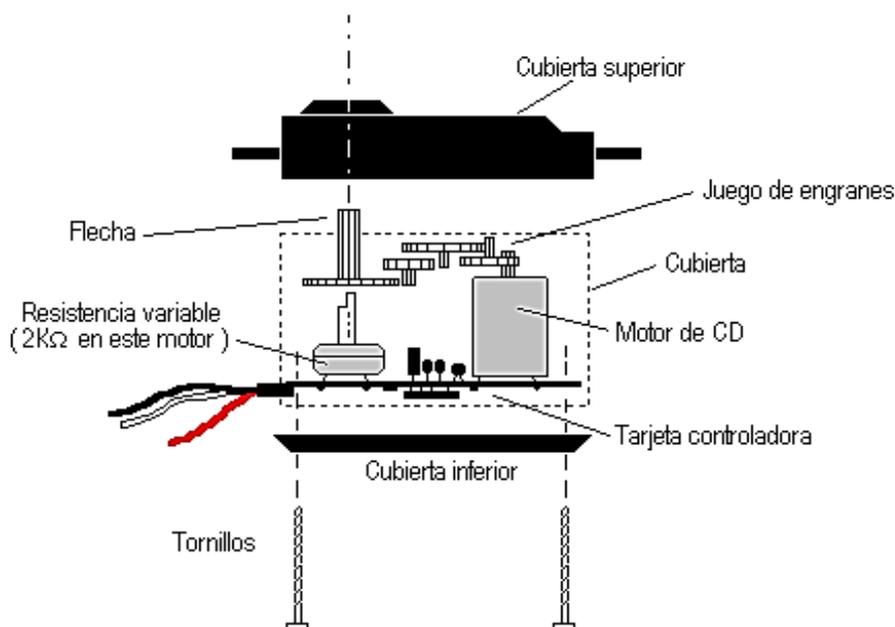
**Figura 6. Diagrama de un servomotor típico de modelismo.**

Fuente: (Albacete, Robotica, 2008)

Un servo normal se usa para controlar un movimiento angular de entre 0 y 180 grados pero existe la forma para poder lograr el movimiento angular de 360 grados, para este movimiento se debe realizar una modificación en el sistema de engranajes del servo al cual se lo denomina “destruncar”.

Dentro del servomotor, una tarjeta controladora le dice a un pequeño motor de corriente directa cuántas vueltas girar para acomodar la flecha (el eje de plástico que sale al exterior) en la posición que se le ha pedido.

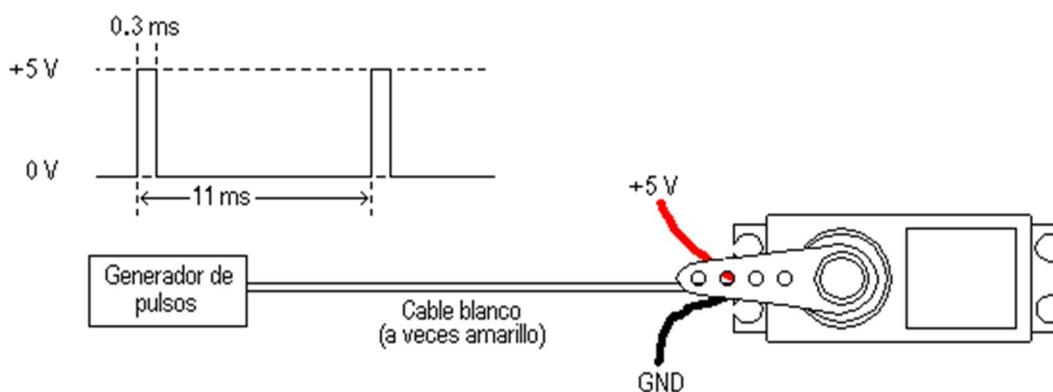
En la Figura 7 se observa la ubicación de estas piezas dentro del servomotor:



**Figura 7. Componentes de un servomotor**

Fuente: (Albacete, Robotica, 2008)

Un potenciómetro que está sujeto a la flecha, mide hacia dónde está ubicado en todo momento. Es así como la tarjeta controladora sabe hacia dónde mover al motor. La posición deseada se le da al servomotor por medio de pulsos. Todo el tiempo debe haber una señal de pulsos presente en ese cable. La señal de pulsos controla al servo de la siguiente forma, como se indica en la Figura 8:



**Figura 8. Control por pulsos**

Fuente: (Albacete, Robotica, 2008)

## 2.8 Sensores

Una de las características fundamentales que debe tener un robot es poseer algún mecanismo de modificación de su comportamiento según el ambiente en el que se encuentra. Para esto, tiene que contar con dispositivos que le permitirán sentir todo lo que le rodee, según la tarea que deba realizar. Puede ser que en ambientes bien dinámicos se requiera captar rápidamente la información, aunque se pierda la precisión. Si esto no fuera así, la información recibida no sería útil ya que representaría un estado antiguo que, con seguridad, ha sido modificado por el alto dinamismo del ambiente. Un ejemplo de esto es el fútbol de robots.

En otros casos se necesita la mayor precisión posible por la operación que se realiza y para lograrlo, se debe utilizar sensores de mayor resolución, aunque su tiempo de respuesta sea bajo. Siempre que se quiere realizar un prototipo o un robot, se tiene esta dualidad, por lo que la elección de los sensores que se utilicen están determinados por la tarea que se vaya a realizar y sus requerimientos particulares (Zabala, 2007).

Se puede definir a un sensor como un dispositivo eléctrico y/o mecánico diseñado para recibir información de cualquier magnitud del exterior que convierte magnitudes físicas (luz, magnetismo, presión, etc.) en valores medibles de dicha magnitud. Esto se realiza en tres fases:

- Se realiza la medición de cualquier fenómeno físico, proceso o sistema que se lo realiza a través de un sensor, el cual da como resultado una señal eléctrica de salida dependiente del valor de la variable física.
- El resultado que es la señal eléctrica de salida se modifica con un sistema denominado acondicionamiento de señal en el cual como resultado va a dar un valor en tensión.
- Con el valor de tensión del acondicionamiento de señal se dispone de una circuitería que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cual pasa a un convertidor A/D, conectado a un PC. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta.

Los descriptores estáticos definen el comportamiento en régimen permanente del sensor:

- **Rango:** valores máximos y mínimos para las variables de entrada y salida de un sensor.
- **Exactitud:** la desviación de la lectura de un sistema de medida respecto a una entrada conocida. El mayor error esperado entre las señales medida e ideal.
- **Repetitividad:** la capacidad de reproducir una lectura con una precisión dada.
- **Reproducibilidad:** tiene el mismo sentido que la repetitividad excepto que se utiliza cuando se toman medidas distintas bajo condiciones diferentes.
- **Resolución:** la cantidad de medida más pequeña que se pueda detectar.
- **Error:** es la diferencia entre el valor medido y el valor real.
- **No linealidades:** la desviación de la medida de su valor real, supuesto que la respuesta del sensor es lineal. No-linealidades típicas: saturación, zona muerta e histéresis.
- **Sensibilidad:** es la razón de cambio de la salida frente a cambios en la entrada:  $s = \partial V / \partial x$
- **Excitación:** es la cantidad de corriente o tensión requerida para el funcionamiento del sensor.
- **Estabilidad:** es una medida de la posibilidad de un sensor de mostrar la misma salida en un rango en que la entrada permanece constante.

- **Ruido electrónico:** es la interferencia eléctrica que causan los elementos actuadores, sobre los elementos de control, sensores y diferentes elementos electrónicos.
- **Tiempo de retardo:**  $t_d$ , es el tiempo que tarda la salida del sensor en alcanzar el 50% de su valor final.
- **Tiempo de subida:**  $t_r$ , es el tiempo que tarda la salida del sensor hasta alcanzar su valor final. Velocidad del sensor, es decir, lo rápido que responde ante una entrada.
- **Tiempo de pico:**  $t_p$ , es el tiempo que tarda la salida del sensor en alcanzar el pico máximo de su sobreoscilación
- **Pico de sobreoscilación:**  $M_p$ , expresa cuanto se eleva la evolución temporal de la salida del sensor respecto de su valor final.
- **Tiempo de establecimiento:**  $t_s$ , el tiempo que tarda la salida del sensor en entrar en la banda del 5% alrededor del valor final y ya no vuelve a salir de ella.

**Proceso de calibración.** Consiste en realizar la comparación de la respuesta del sensor con otros que tienen una respuesta estándar conocida; de esta manera se establece la relación entre la variable medida por el sensor y su señal de salida (DE LA FUENTE, 2000, págs. 2-3).

## 2.9 Módulo Arduino

El módulo arduino se desarrolló a través de un proyecto ejecutado por estudiantes como parte de una investigación en el Instituto IVREA en Italia en el año 2005. Para este proyecto los estudiantes usaban un microcontrolador denominado BASIC Stamp que costaba \$100 que era demasiado costoso. Massimo Banzi, docente del instituto, fue uno de los fundadores de arduino (Kushner, 2011).

Arduino es una plataforma *open source* en el área de electrónica para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para estudiantes, artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos.

Arduino posee una interfaz de entrada en el cual se puede conectar directamente a los periféricos o pueden conectarse a través de puertos, en esta interfaz de entrada puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea, controlando luces, motores y otros actuadores. Cada placa de arduino posee un microcontrolador el cual es programable mediante un lenguaje de programación arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software como por ejemplo, Flash, Processing, MaxMSP.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada / salida. Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, Atmega8 por su sencillez y bajo coste además que permiten el desarrollo de múltiples diseños.

Las placas pueden ser hechas a mano o compradas montadas de fábrica; el software puede ser descargado de forma gratuita. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta, así pues es libre de adaptarlos a las necesidades (Arduino S.A., 2010)

## **2.10 Software**

Existen diferentes tipos de software utilizados en robótica. Entre los más relevantes se pueden mencionar los siguientes:

- Software CAD
- IDE de arduino
- Software de la empresa Total Magnetic Solutions

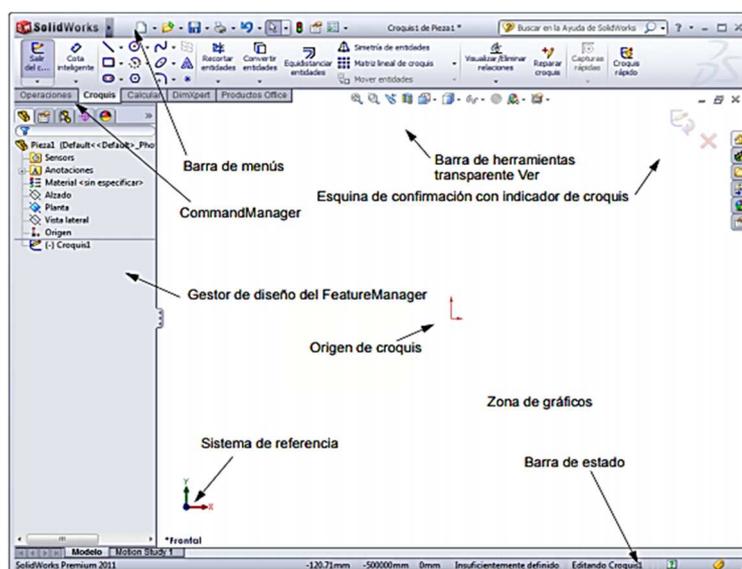
### **2.10.1 Software CAD**

Un software CAD es un programa para el diseño asistido por computadora para el dibujo 2D y modelado mecánico en 3D desarrollado en la actualidad por diferentes softwares. Estos programas permiten modelar piezas y conjuntos con el fin de extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Son programas que funcionan con base en las nuevas técnicas de

modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

Algunos de los programas para el dibujo asistido por computadora CAD son:

- ACCELICAD
- ALLYCAD
- AUTOCAD
- AUTOCAD360
- BRICSCAD
- CAD X11
- CADRA
- DESIGNCAD
- MICROSTATION
- SOLIDWORKS
- TURBOCAD
- VECTORWOORKS
- ZWCAD

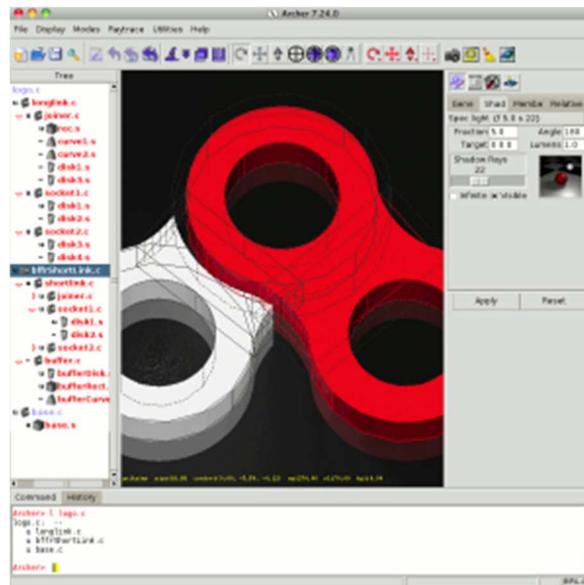


**Figura 9. Interface de solidworks**

Fuente: (Dassault Systemes, 2011)

También existen softwares CAD que son de software libre como:

- FreeCAD
- BRL-CAD
- QCAD
- LibreCAD
- Open CASCADE Technology
- DraftSight (Bonus)



**Figura 10. Interface de BRL-CAD**

Fuente: (Open Source Alternative, 2012)

### 2.10.2 IDE de arduino

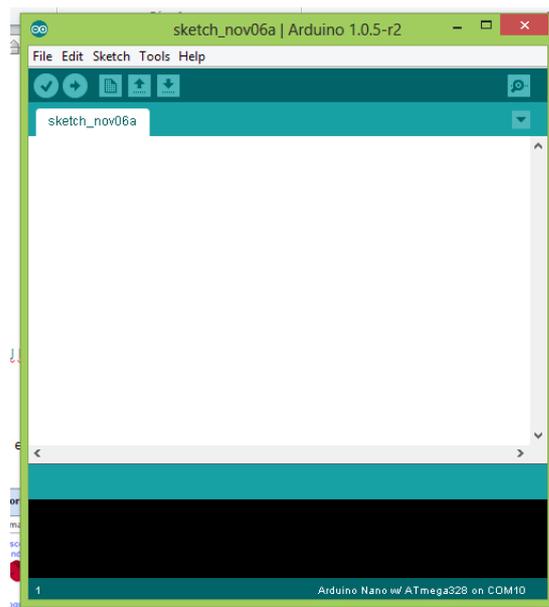
El arduino, entorno de desarrollo integrado (IDE por sus siglas en inglés) es una plataforma de aplicación escrita en Java y se deriva de la IDE para el lenguaje de programación Processing. Está diseñado para introducir la programación a artistas y a personas que no están familiarizadas con el desarrollo de software. Incluye un editor de código con funciones como el resaltado de sintaxis, a juego corsé, y sangría automática, en la Figura 11 se puede observar la plataforma de programación de Arduino. Además es capaz de compilar y cargar programas a la placa con un solo clic. Un programa o código escrito para Arduino se llama un boceto (sketch).

El lenguaje de programación de arduino está escrito en C o C++. El Arduino IDE viene con un cableado interno original, que facilita el uso de los pines para operaciones

de entrada / salida. Los usuarios sólo necesitan definir dos funciones para hacer un programa cíclico ejecutable, de la siguiente manera:

setup(): una función ejecuta una vez en el inicio de un programa que puede inicializar los ajustes

loop (): una función llamada varias veces



**Figura 11. Software IDE arduino**

Fuente: (Arduino, 2015)

### **2.10.3 Software para cálculos magnéticos**

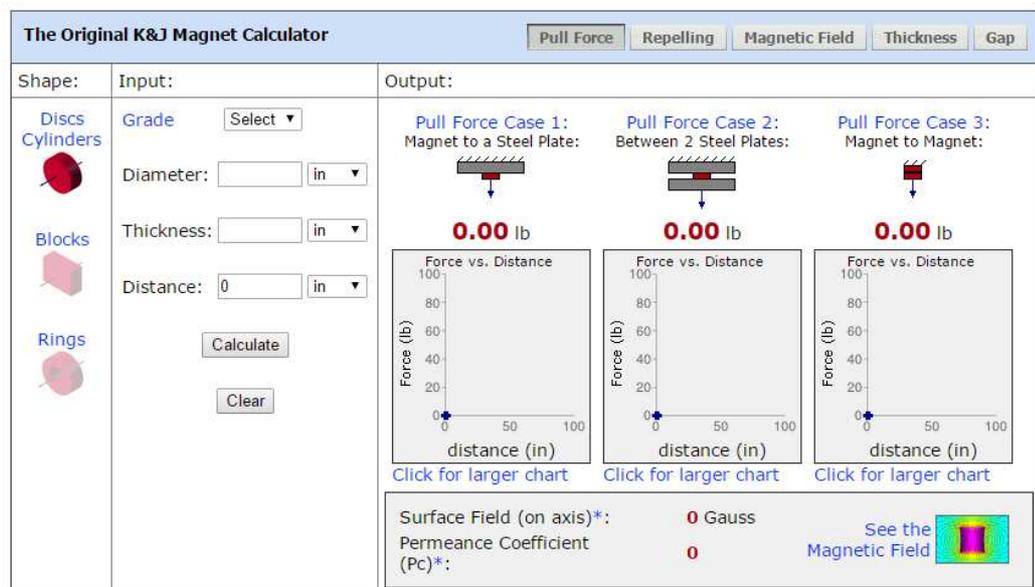
Para realizar los cálculos de la fuerza de tracción aproximada o fuerza de repulsión aproximada entre dos imanes de disco idénticos que están separados una distancia  $x$ , se va a utilizar el programa en línea de la empresa Imán Sales & Manufacturing Company, Inc. En el cual se requiere los datos principales de los imanes que son el diámetro, espesor, distancia de separación  $x$  y el material del imán.



**Figura 12. Software de cálculos magnéticos de la empresa Imán Sales & Manufacturing Company**

Fuente: (Magnet Sales & Manufacturing Company, Inc, 2000)

Es un software de cálculos magnéticos de imanes permanentes en línea, de la empresa Total Magnetic Solutions que se encuentra en la página de la empresa.



**Figura 13. Software de cálculos magnéticos K&J Magnetics inc.**

Fuente: (K&J Magnetics, Inc., 2014)

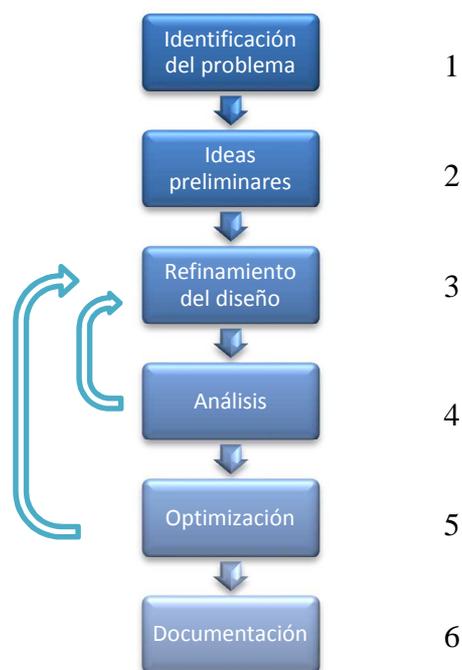
La mayoría de las calculadoras en línea determinan la fuerza de tracción sobre la base de un cálculo teórico de la densidad de flujo. Con unos pocos supuestos, la densidad de flujo (en Gauss) puede estar relacionada con la fuerza de tracción esperada. Desafortunadamente, esta simplificación a menudo no coincide con los datos medidos experimentalmente. Este programa en línea calcula las fuerzas de tracción basados en extensas pruebas de productos. El campo de datos de la superficie es sólo válido para los puntos a lo largo del eje central del imán, y asume un solo imán en el espacio libre. Todas las dimensiones y distancias deben estar en formato decimal; pulgadas. Esta calculadora considera discos, que se magnetizan a lo largo del eje cilíndrico.

### CAPÍTULO III

#### 3. DISEÑO DE LOS SISTEMAS

Para tener en cuenta los aspectos importantes y significativos para el diseño del prototipo del robot limpiador se plasmó un proceso de diseño, el cual se lo realiza para la organización de los procesos creativos y analíticos que son desarrollados para resolver el problema planteado.

Años atrás se cumplía el proceso de diseño con una actividad lineal que conformaba seis fases, como se muestra en la Figura 14:



**Figura 14. Diseño de ingeniería común (proceso lineal)**

Fuente: Autor

Este proceso lineal convencional se destacaba en el diseño de ingenieros ya que solventaba con la identificación de los problemas del proyecto para con el proceso reparar y/o realizar los diseños de los proyectos para que sean funcionales, estos deben ser bien detallados para que pueda ser fabricado o construido (Gresh, 2001).

En la actualidad está cambiando el papel común de los ingenieros ya que se está implementando nuevas técnicas de diseño, análisis y de comunicación; el diseño de ingeniería paso de ser un proceso lineal y segmentada a una sinergia de actividades.

A este actual proceso para el diseño de ingeniería se le conoce como ingeniería concurrente, como se muestra en la Figura 15, esta ingeniería tiene como característica la incorporación de funciones técnicas y no técnicas de diseño y de procesos de manufactura coordinadas en una empresa o en la realización de un proyecto. En esta evolución en el diseño de ingeniería ha dado como resultado una importante innovación en el desarrollo de funciones de los ingenieros (Gresh, 2001).



**Figura 15. Diseño de ingeniería moderna (Ingeniería concurrente)**

Fuente: (Gresh, 2001)

Para el desarrollo del prototipo se toma en consideración el proceso de diseño de ingeniería moderna, ingeniería concurrente, que se lo realiza a la par con el desarrollo del análisis funcional, análisis estático y análisis dinámico, ver Figura 16.



**Figura 16. Diseño de ingeniería concurrente del prototipo**

Fuente: Autor

Para que el robot sea cien por ciento funcional debe cumplir con ciertas especificaciones, se debe considerar que en las superficies donde va a trabajar el robot no debe tener manchas de pintura, grasas, aceite o cualquier tipo de mancha que requiera de un lavado especial que no sea el de utilizar un paño de microfibra para limpiar ventanas.

El robot está modelado para cumplir su funcionalidad a la vez en el exterior e interior de casas, departamento, oficinas o cualquier lugar donde posean ventanas y estas sean delimitadas por perfiles que sujetan los vidrios; al trabajar en el exterior se debe tener en cuenta que el clima es un factor a tomar en cuenta ya que si hay una llovizna, lluvia, aguacero o tormentas eléctricas no puede trabajar el robot en el exterior por ende tampoco va a poder trabajar en la parte interior del vidrio.

Se debe tomar en cuenta las áreas en las que podría ser utilizado en diferentes lugares, el robot limpiador puede funcionar en lugares donde sea posible la colocación del panel externo (esclavo), estos lugares pueden ser muy peligrosos si una persona lo quiere realizar ya que es especialmente en ventanas que son altas ya sea en casa o edificios.

El robot limpiador es capaz de limpiar el interior y exterior de la ventana a la vez y posee la opción del reconocimiento de la dimensión del cristal a limpiar para el cálculo de iteraciones necesarias para el movimiento del robot en toda el área cristal.

Principalmente posee un mando inalámbrico para encendido, apagado y alarma para avisar cuando la batería está cerca de agotarse o el robot ya acabo de realizar la secuencia de limpieza.

La forma del robot debe es óptima para su fácil desplazamiento y mantener su estabilidad, debe ser de acuerdo a su entorno de trabajo a cuál va a ser sometido por lo cual cómo va a desplazarse por superficies de las ventanas (vidrio) debe ser liviano y con ruedas.

Para este robot se ha desarrollado una geometría simple de tipo cuadrada que sea simétrica que ayude a su construcción y sea de óptimo diseño a bajo costo. Se ha determinado que las dimensiones básicas del prototipo del robot se va a realizar de 200x200x75mm-maestro y 200x200x75mm-escalvo.

Se debe tomar en cuenta ciertos parámetros que va a poseer el robot limpiador ya que la generación de ruido en el interior de los lugares donde va a limpiar es importante ya que no debe interrumpir la tranquilidad del ambiente por eso la generación de ruido va a ser menor a 80dB.

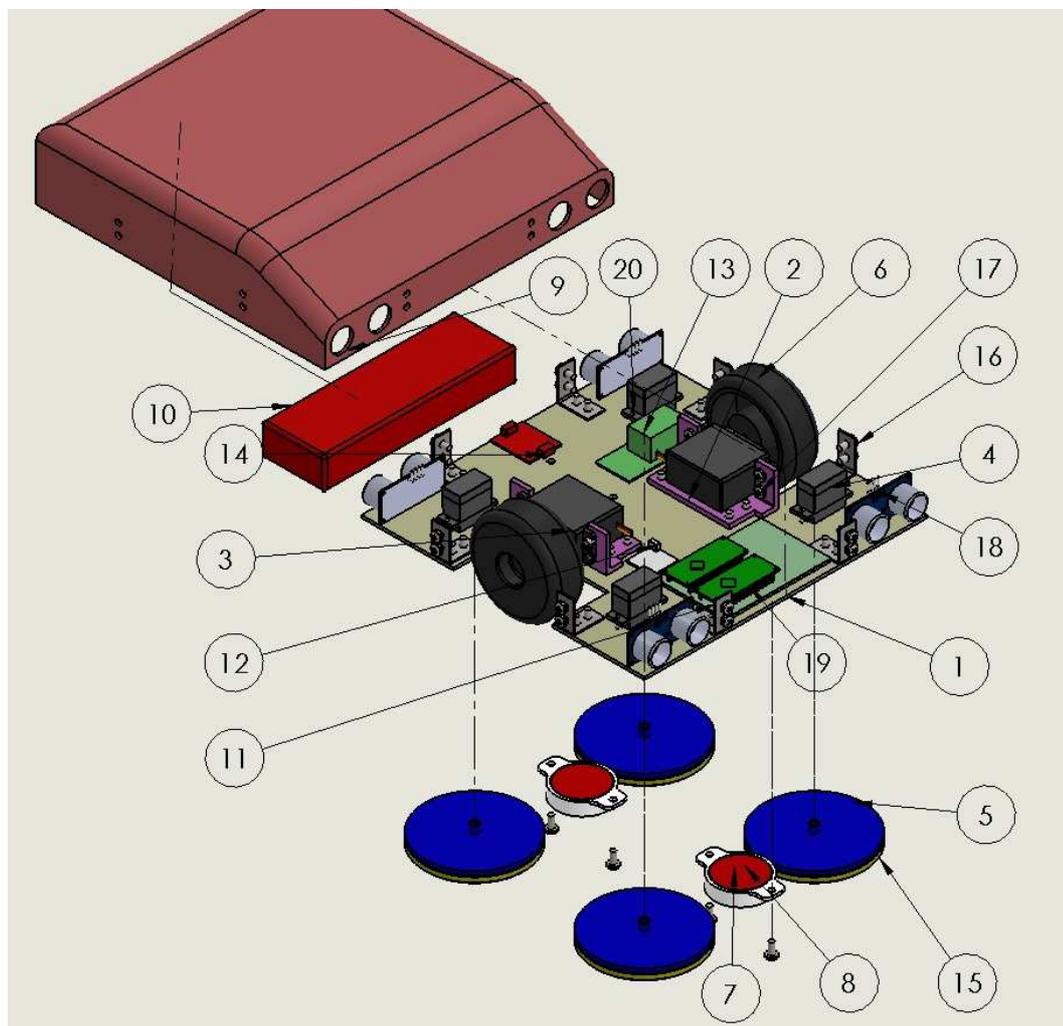
El robot va a limpiar en superficies de vidrio planas y lisas que va a tener una velocidad de limpieza de 8cm por segundo con un error de limpieza cercano a filos de +-10mm, con una autonomía eléctrica por al menos 1 hora.

### **3.1 Modelado**

Para el modelamiento de los elementos, cuerpo maestro y cuerpo esclavo se realizaron con un software CAD, todos los diseños son exclusivos para el uso de esta aplicación. Los planos generados en el software están en el Anexo C.

### 3.1.1 Diseño mecánico

Para la realización del diseño mecánico se realiza un análisis funcional que consiste en un diseño aproximado del robot, este análisis es para ubicar las partes mecánicas para lograr un buen diseño, con el cual se puede lograr las simulaciones y sus respectivos análisis estático y dinámico, así se obtienen los valores adecuados para poder elegir los materiales y elementos adecuados para la aplicación del robot mostrado en la Figura 17.



**Figura 17 Diagrama de lista de partes maestro**

Fuente: Autor

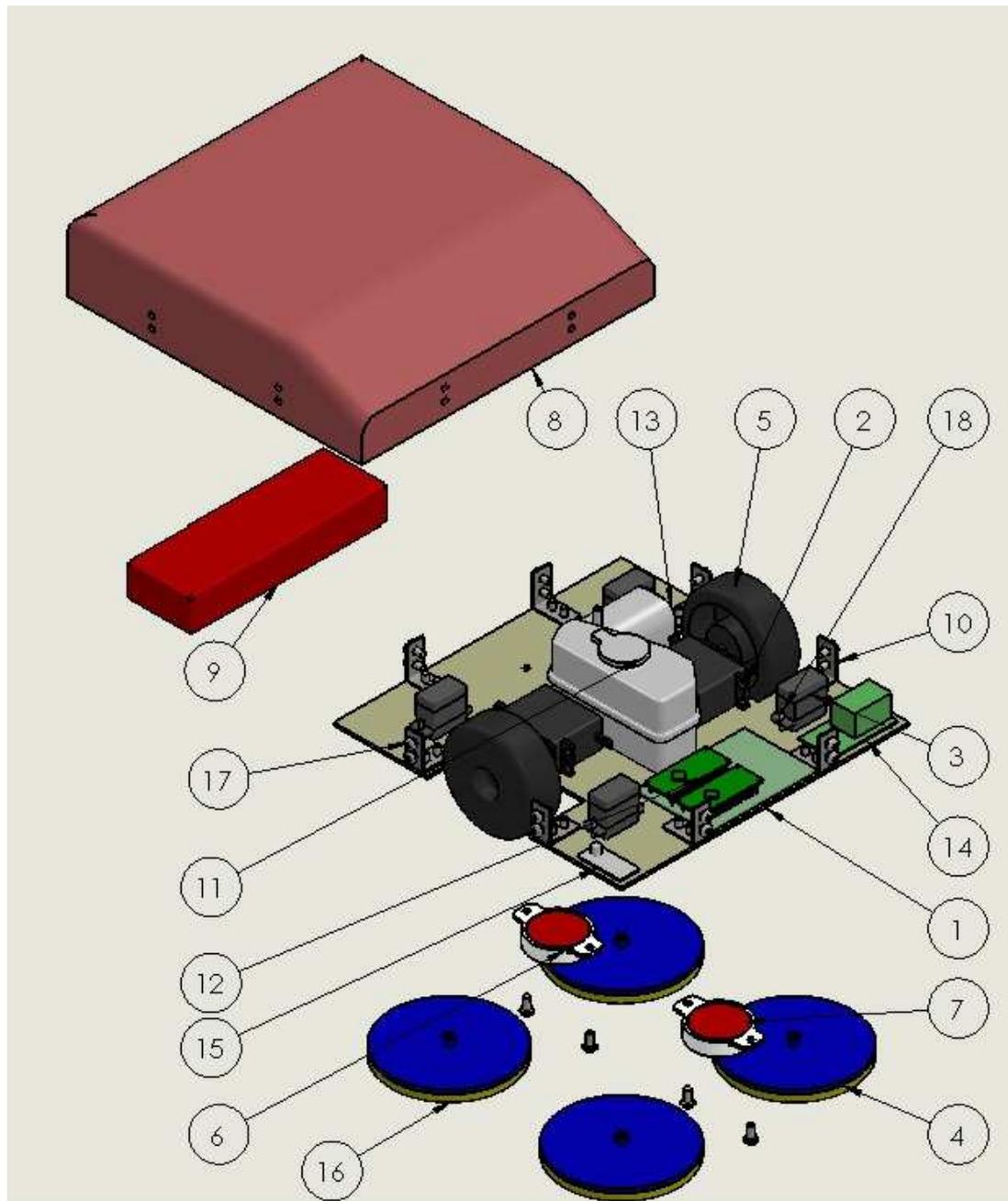
En la Tabla 3 se presenta un detalle de las piezas del panel maestro.

**Tabla 3**  
**Lista de partes maestro**

<b>N.º DE ELEMENTO</b>	<b>N.º DE PIEZA</b>	<b>CANTIDAD</b>
1	CHASIS PRIMARIO	1
2	PORTA SERVO	2
3	SERVO MG955	2
4	MINI SERVO	4
5	DISCO LIMPIADOR MAESTRO	4
6	RUEDA	2
7	PORTA IMAN	2
8	IMAN NEODIMIO	2
9	TAPA MAESTRO	1
10	BATERIA	1
11	SUJETADOR	4
12	MODULO RF TRANSMISOR	1
13	MODULO RELE	1
14	MODULO IR	1
15	PAÑO MAESTRO	4
16	PERNO M3.5X8	36
17	PERNO M3.5X6	8
18	SENSOR ULTRASONICO HC04	4
19	PLACA PCB	1
20	PERNO M2X15	8

Fuente: Autor

En la Figura 18 se indica las partes del panel esclavo.



**Figura 18 Diagrama de lista de partes esclavo**

Fuente: Autor

En la Tabla 4 se muestra un detalle de las piezas del panel esclavo.

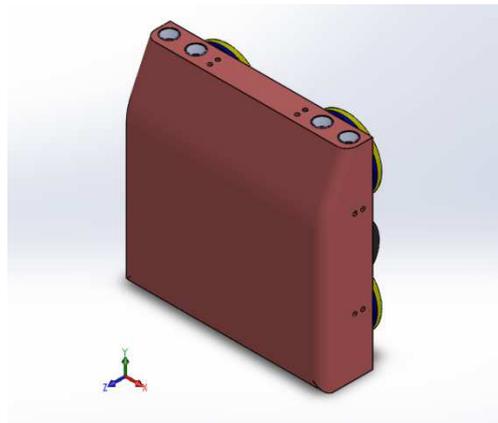
**Tabla 4****Lista de partes maestro**

<b>N.º DE ELEMENTO</b>	<b>N.º DE PIEZA</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>1</b>	CHASIS ESCLAVO	1
<b>2</b>	SERVO MOTOR MG995	2
<b>3</b>	MICRO SERVO	4
<b>4</b>	DISCO LIMPIADOR ESCLAVO	4
<b>5</b>	RUEDA	2
<b>6</b>	PORTA IMAN	2
<b>7</b>	IMAN NEODIMIO	2
<b>8</b>	TAPA ESCLAVO	1
<b>9</b>	BATERIA	1
<b>10</b>	SUJETADOR	4
<b>11</b>	TANQUE DE AGUA	1
<b>12</b>	BAQUELLITA	1
<b>13</b>	BOMBA AGUA	1
<b>14</b>	MODULO RELE	1
<b>15</b>	MODULO RF RECEPTOR	1
<b>16</b>	PAÑO ESCLAVO	4
<b>17</b>	PERNO M3.5X8	24
<b>18</b>	PERNO M2X15	8

Fuente: Autor

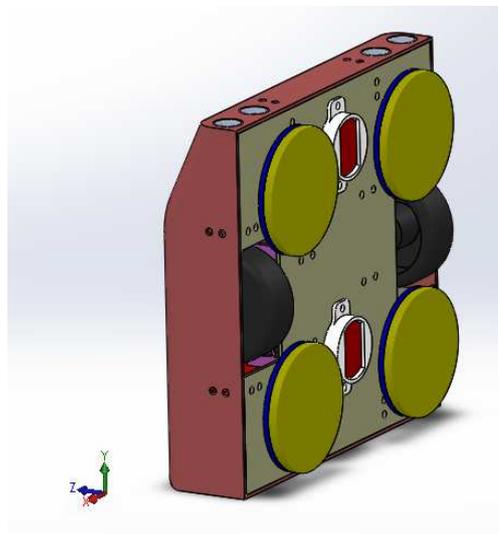
La estructura básica del robot limpiador está diseñada, para que tanto en la parte maestro y esclavo, el cuerpo albergue los dispositivos electrónicos, los acoples para las llantas y los discos giratorios limpiadores, ver Figuras 17 y 18.

En el análisis estático se verifica que ese requiere dos imanes en cada parte para su correcto desplazamiento en cualquier dirección sobre una superficie del vidrio. Se construye un prototipo del robot con la ayuda del software CAD en donde se diseña la estructura propuesta en las Figuras 19 y 20.



**Figura 19. Estructura básica de robot**

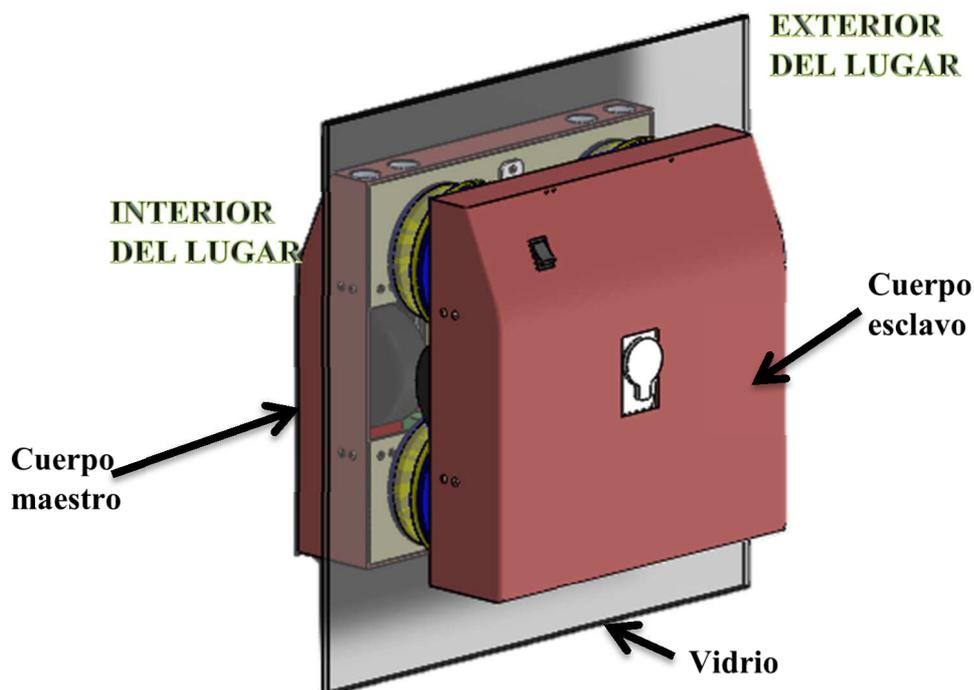
Fuente: Autor



**Figura 20. Vista inferior de estructura básica**

Fuente: Autor

Como al ejecutar su función de limpiador de ventanas se debe colocar el cuerpo maestro en el lado de la ventana del interior del lugar y el cuerpo esclavo en el lado de la ventana exterior del lugar se debe realizar un análisis matemático de la estructura en la posición de trabajo del robot, como se muestra en la Figura 21.



**Figura 21. Esquema de funcionalidad del robot**

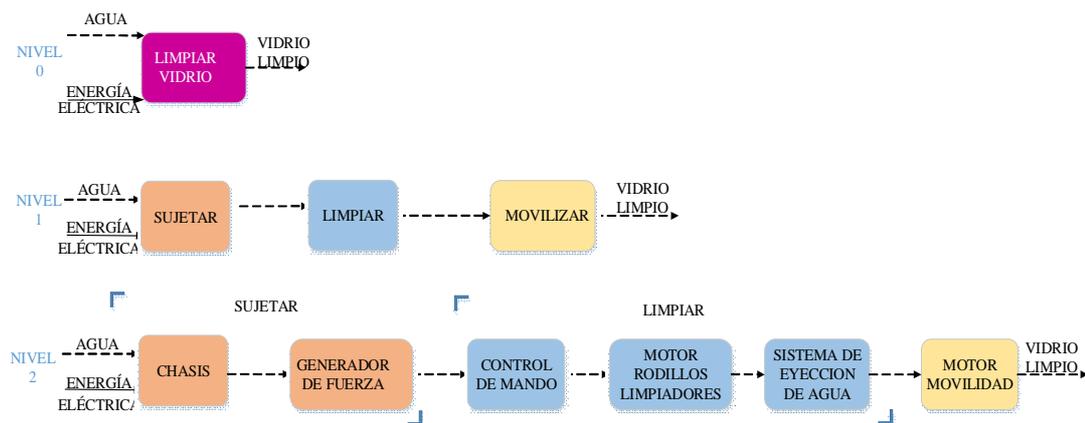
Fuente: Autor

### 3.2 Diseño preliminar

#### 3.2.1 Materiales

Para la construcción del prototipo del robot se requieren algunos elementos y dispositivos, dentro de estos elementos principalmente se encuentra los materiales con los que se va a fabricar para ello se realiza un diagrama funcional y posteriormente una matriz morfológica para establecer sus factores importantes analizando varias ventajas y desventajas.

El diagrama funcional es una representación gráfica en bloques de un proceso que permite ver de mejor manera la cadena de subprocessos que conforman el proceso completo, en la Figura 22 se puede observar el diagrama funcional del proceso.



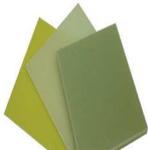
**Figura 22. Diagrama funcional de proceso**

Fuente: Autor

Los materiales que se requerirán para la elaboración del prototipo se pueden ver en las siguientes tablas:

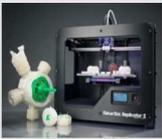
**Tabla 5**

**Matriz de decisión del chasis**

		SUJETAR			
CHASIS	FOTOGRAFIA	PESO (5)	PROPIEDADES MECANICAS, RIGIDEZ(10)	COSTO(5)	SUMA
FIBRA VIDRIO		5	9	1	15
BAQUELLITA		4	5	5	14
ACRILICO		2	3	3	8

Fuente: Autor

**Tabla 6**  
**Matriz decisión sujeción de elementos**

SUJECION ELEMENTOS	FOTOGRAFIA	SUJETAR			SUMA
		PESO (7)	PROPIEDADES MECANICAS, RIGIDEZ(8)	COSTO(5)	
DURALON MAQUINADO		6	8	2	16
IMPRESIÓN 3D		7	7	4	18
ACRILICO		2	5	5	12

Fuente: Autor

**Tabla 7**  
**Matriz de decisión de generador de fuerza**

GENERADOR DE FUERZA	FOTOGRAFIA	SUJETAR			SUMA
		FUERZA SUJECION(9)	CONSUMO ELECTRICO(8)	COSTO(3)	
ELECTROIMAN 12v 12kg		8	2	2	12
IMAN NEODIMIO grado Neo42 30kg		9	8	1	18
VENTOSA		7	5	2	14

Fuente: Autor

**Tabla 8**  
**Matriz de decisión de bomba de agua**

BOMBA AGUA	FOTOGRAFIA	LIMPIAR			SUMA
		MONTAJE(8)	CONSUMO(8)	COSTO(4)	
SUMERGIBLE 3.3v		2	6	3	11
NO SUMERGIBLE 6-12v 250L/H		8	6	3	17

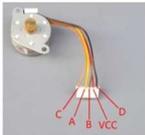
Fuente: Autor

**Tabla 9**  
**Matriz de decisión de disco limpiador**

DISCO LIMPIADOR	FOTOGRAFIA	LIMPIAR			SUMA
		PESO (4)	PROPIEDADES MECANICAS, RIGIDEZ(6)	COSTO(10)	
FIBRA VIDRIO		4	5	5	14
BAQUELLITA		3	4	7	14
ACRILICO		2	4	9	15

Fuente: Autor

**Tabla 10**  
**Matriz de decisión motor limpiador**

MOTOR LIMPIADOR	FOTOGRAFIA	LIMPIAR			SUMA
		CONSUMO(7)	TORQUE(7)	COSTO(6)	
MOTOR A PASOS SANYO 103 109N.cm		6	2	3	11
MINI SERVOMOTOR SG- 90		6	7	5	18
MOTOR DC Miniature Core 103 6V		2	3	6	11

Fuente: Autor

**Tabla 11**  
**Matriz de decisión del micro controlador**

MICROCONTROLADOR	FOTOGRAFIA	LIMPIAR			SUMA
		NUM PINES E/S(7)	TAMAÑO FISICO(7)	COSTO(6)	
ARDUINO NANO		3	7	6	16
ARDUINO UNO		3	5	4	12
ARDUINO MEGA		6	1	2	9

Fuente: Autor

Tabla 12

## Matriz de decisión del sensor

SENSOR	FOTOGRAFIA	LIMPIAR			SUMA
		ALCANCE(9)	CONTROL(5)	COSTO(6)	
SWITCH ELECTROMECA NI CO 3A		1	5	6	12
ULTRASONICO HC-04		9	2	4	15
CAPACITIVO TRUCK BC10- P30SR		4	3	1	8

Fuente: Autor

Tabla 13

## Matriz de decisión del control remoto

CONTROL REMOTO	FOTOGRAFIA	LIMPIAR			SUMA
		POTENCIA TRANSMISION(6)	CONTROL(5)	COSTO(9)	
TRANS RF 433MHz		6	4	6	16
TRANS IR		4	4	9	17
TRANS BLUETOOTH hc-05		4	1	2	7

Fuente: Autor

**Tabla 14**  
**Matriz de decisión para mando inalámbrico**

MANDO INALAMBRICO	FOTOGRAFIA	LIMPIAR			SUMA
		POTENCIA TRANSMISION(9)	CONTROL(5)	COSTO(6)	
TRANS RF 433MHz		9	4	5	18
TRANS IR		6	4	6	16
TRANS BLUETOOTH hc-05		6	1	2	9

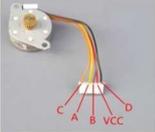
Fuente: Autor

**Tabla 15**  
**Matriz de decisión de la batería**

BATERIA	FOTOGRAFIA	LIMPIAR			SUMA
		PESO(7)	TAMAÑO(7)	COSTO(6)	
Li-Po 4000mAH		7	7	5	19
Li-ION 4000mAH		5	4	6	15

Fuente: Autor

**Tabla 16**  
**Matriz de decisión de motor de movilidad**

MOTOR MOVILIDAD	FOTOGRAFIA	MOVILIZAR			SUMA
		CONSUMO(7)	TORQUE(7)	COSTO(6)	
MOTOR A PASOS SANYO 103 109N.cm		6	2	3	11
MINI SERVOMOTOR SG- 90		6	7	5	18
MOTOR DC Miniature Core 103 6V		2	3	6	11

Fuente: Autor

**Tabla 17**  
**Matriz de decisión de llantas del maestro**

LLANTAS MAESTRO	FOTOGRAFIA	MOVILIZAR			SUMA
		FUERZA ROZAMIENTO(8)	DEFORMACION (6)	COSTO(6)	
CAUCHO BLANDO		8	5	4	17
GOMA ESPUMA		5	6	5	16
PLASTICO DURO		3	1	6	10

Fuente: Autor

**Tabla 18****Matriz de decisión de llantas del esclavo**

LLANTAS ESCLAVO	FOTOGRAFIA	MOVILIZAR		COSTO(6)	SUMA
		FUERZA ROZAMIENTO(7)	DEFORMACION (7)		
CAUCHO BLANDO		7	5	4	16
GOMA ESPUMA		5	7	5	17
PLASTICO DURO		3	1	6	10

Fuente: Autor

**Tabla 19****Matriz de decisión de la carcasa**

CARCASA	FOTOGRAFIA	MOVILIZAR		COSTO(10)	SUMA
		PESO (4)	PROPIEDADES MECANICAS, RIGIDEZ(6)		
FIBRA VIDRIO		4	5	5	14
BAQUELLITA		3	4	8	15
ACRILICO		2	4	10	16

Fuente: Autor

### 3.3 Análisis de diseño

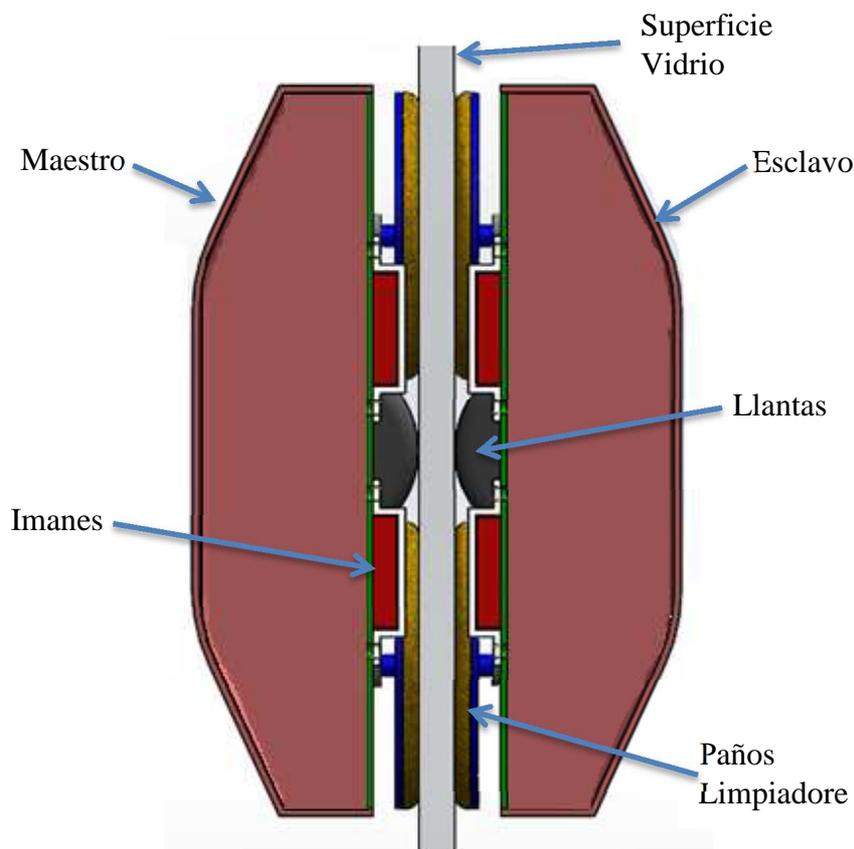
#### 3.3.1 Análisis Estático

La estructura del robot limpiador debe tener la característica principal que al poner los cuerpos (maestro y esclavo) en la ventana debe estar en completo equilibrio y no debe resbalarse por la ventana.

Para conseguir ese equilibrio y estabilidad, se debe realizar un análisis estático de los cuerpos para:

- Determinar los rangos de coeficientes de fricción que deben ejercer las llantas sobre el vidrio
- Calcular la fuerza de atracción de los cuerpos a través del vidrio

Para empezar con el análisis estático se debe desarrollar un diagrama para los cálculos.

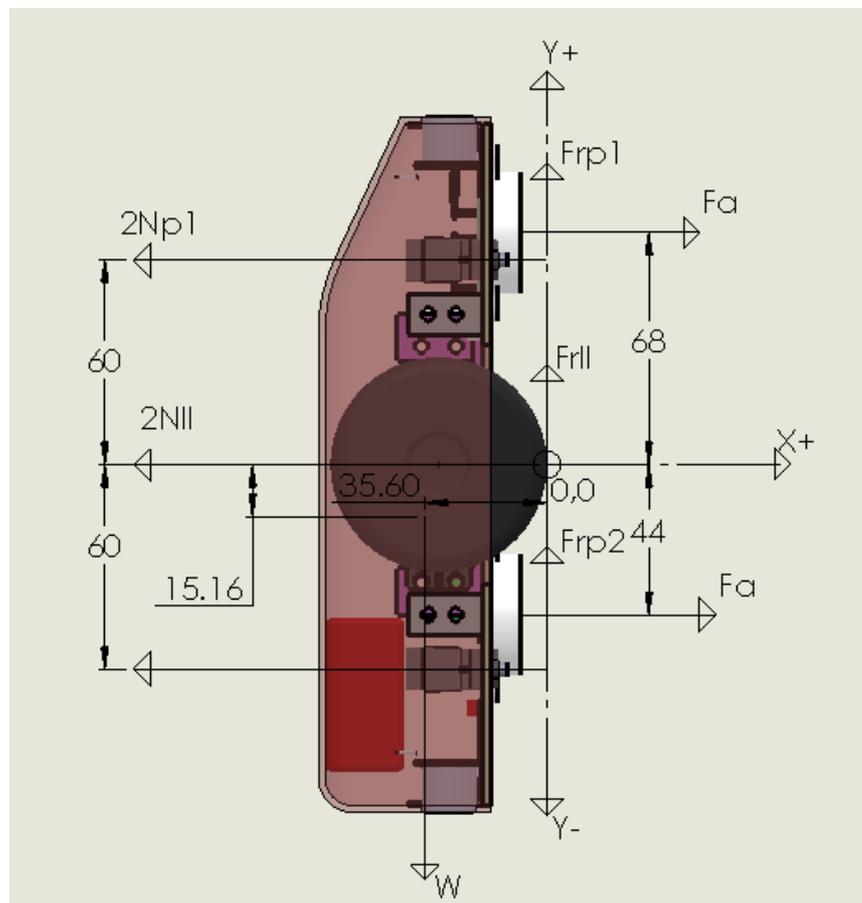


**Figura 23. Diagrama de los cuerpos sobre la superficie de la ventana**

Fuente: Autor

Como el cuerpo maestro y esclavo están sobre la superficie del vidrio, se encuentra en equilibrio según la tercera ley de Newton, es decir que la sumatoria de fuerzas es igual a 0. A su vez las reacciones que actúan los dos cuerpos a la vez hacen que el análisis del sistema se pueda realizar solamente sobre el cuerpo maestro.

Los dos imanes ejercen una fuerza de atracción hacia el cuerpo esclavo y las llantas no deben deslizarse permitiendo así equilibrar al robot en relación a la superficie.



**Figura 24. Diagrama de cuerpo maestro (vista lateral)**

Fuente: Autor

En el diagrama de cuerpo maestro, ver Figura 24, se representan las fuerzas existentes cuando el robot con medidas en milímetros, estaría sobre la superficie vertical, donde:

$N_{p1}$  = Fuerza normal del paño parte superior

$N_{p2}$  = Fuerza normal del paño parte inferior

$N_{ll}$  = Fuerza normal de las llantas

$F_{r_{p1}}$  = Fuerza de rozamiento del paño parte superior

$F_{r_{p1}}$  = Fuerza de rozamiento del paño parte inferior

$F_{r_{ll}}$  = Fuerza de rozamiento de las llantas

$F_a$  = Fuerza de atracción de los imanes

$W$  = Peso del robot

$\mu_p$  = Coeficiente de rozamiento del paño-vidrio

$\mu_{ll}$  = Coeficiente de rozamiento de la llanta-vidrio

Datos:

$$W = 2.5\text{kg} = 24.52\text{N}$$

$$\mu_p = 0.15$$

$$\mu_{ll} = 0.6$$

$$\Sigma \vec{F} = 0$$

$$\Sigma \vec{F}_y = 0$$

$$2 x F_{r_{p1}} + 2 x F_{r_{p2}} + 2 x F_{r_{ll}} - W = 0 \quad (3.3.1)$$

$$F_{r_{p1}} + F_{r_{p2}} + F_{r_{ll}} - \frac{W}{2} = 0$$

$$\mu_p N_{p1} + \mu_p N_{p2} + \mu_{ll} N_{ll} - \frac{W}{2} = 0 \quad (3.3.2)$$

$$\Sigma \vec{F}_x = 0$$

$$2 x F_a - 2 x N_{p1} - 2 x N_{p1} - 2 x N_{ll} = 0 \quad (3.3.3)$$

$$F_a - N_{p1} - N_{p2} - N_{ll} = 0 \quad (3.3.4)$$

$$\Sigma \vec{M}_O = 0$$

$$F_a x 44 + 2 * N_{p1} x 60 + W x 35.66 - 2 x N_{p2} x 60 - F_a x 68$$

$$= 0 \quad (3.3.5)$$

$$\begin{aligned}
 44F_a - 68F_a + 120N_{p1} - 120N_{p2} + 35.66W &= 0 \\
 24F_a - 120N_{p1} + 120N_{p2} - 35.66W &= 0 \quad (3.3.6)
 \end{aligned}$$

Si por un momento se extraen los paños de robot y se lo coloca en el vidrio en posición vertical se observa que el momento  $W \times 35.66 > F_a \times 24$  se deduce que la fuerza normal que produce el paño superior es cercano a cero.  $N_{p1} \approx 0$

Con esto las ecuaciones (3.3.2), (3.3.4) y (3.3.6) quedan de la siguiente forma.

$$\mu_p N_{p2} + \mu_{ll} N_{ll} - \frac{W}{2} = 0 \quad (3.3.2)$$

$$F_a - N_{p2} - N_{ll} = 0 \quad (3.3.4)$$

$$44F_a - 68F_a + 120N_{p1} - 120N_{p2} + 35.66W = 0 \quad (3.3.6)$$

Reemplazando los datos en la ecuaciones.

$$0.15 \times N_{p2} + 0.6N_{ll} - \frac{24.52}{2} = \quad 0.15 * N_{p2} + 0.6N_{ll} = 12.26$$

$$F_a - N_{p2} - N_{ll} = 0$$

$$24F_a + 120N_{p2} - 35.66W = \quad 24F_a + 120N_{p2} = 873.09$$

Se tiene tres ecuaciones con tres incógnitas, para resolver ese tipo de ecuaciones lineales se opta por el método Regla de Cramer.

$$F_a = \frac{\begin{vmatrix} 12.26 & 0.15 & 0.6 \\ 0 & -1 & -1 \\ 873.09 & 120 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 0 & 0.15 & 0.6 \\ 1 & -1 & -1 \\ 24 & 120 & 0 \end{vmatrix}}$$

$$F_a = 22.52N = 2.3kg \quad (3.3.7)$$

$$N_{p2} = \frac{\begin{vmatrix} 0 & 12.26 & 0.6 \\ 1 & 0 & -1 \\ 24 & 873.09 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 0 & 0.15 & 0.6 \\ 1 & -1 & -1 \\ 24 & 120 & 0 \end{vmatrix}}$$

$$N_{p2} = 2.77 \text{ N} \quad (3.3.8)$$

$$N_{ll} = \frac{\begin{vmatrix} 0 & 0.15 & 12.26 \\ 1 & -1 & 0 \\ 24 & 120 & 873.09 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 0 & 0.15 & 0.6 \\ 1 & -1 & -1 \\ 24 & 120 & 0 \end{vmatrix}}$$

$$N_{ll} = 19.74 \text{ N} \quad (3.3.9)$$

$F_a$  Es la fuerza de atracción requerida para que el Sistema se quede en total equilibrio cuando estén los cuerpos en la superficie del vidrio.

### 3.3.2 Análisis Dinámico

Todo el sistema para cumplir con el propósito de un robot autónomo limpia ventanas se debe desplazar verticalmente por toda la superficie del vidrio.

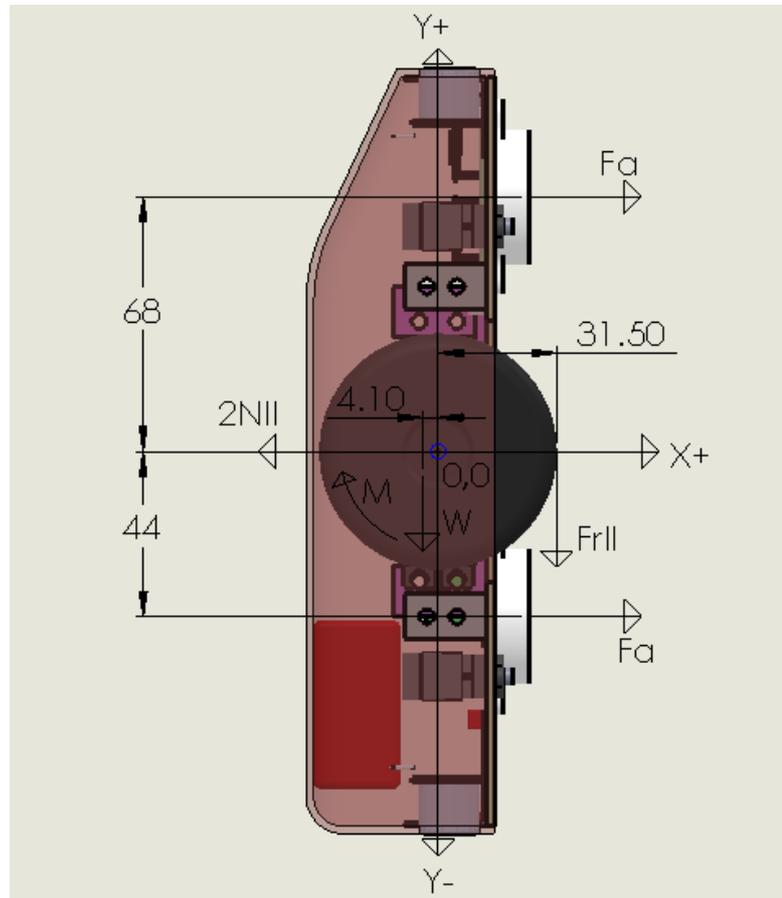
Para conseguir tal desplazamiento se debe realizar un análisis dinámico de los cuerpos para establecer el torque que debe generar los servomotores a las llantas para poder desplazarse con esa fuerza de atracción entre los dos cuerpos.

Para el estudio en movimiento del robot se toma en consideración que al desplazarse el robot se debe tomar en cuenta que se presenta una rodadura sin deslizamiento entre las superficies en contacto que son las llantas y el vidrio.

La rodadura de las llantas sobre la superficie, vidrio, se estudia sin deslizamiento ya que en el estudio estático se determina la fuerza de rozamiento adecuado para que no exista un deslizamiento entre las superficies; al estar en funcionamiento el robot, van a entrar en movimiento las llantas, se presenta la rodadura de las llantas ya que existe un desplazamiento porque hay un punto de apoyo que no sufre un deslizamiento con respecto al vidrio, en este desplazamiento el motor debe ejercer el torque adecuado

para que se vaya desplazando continuamente ambos cuerpos maestro y esclavo sin romper la fuerza de atracción que existe entre ellos.

Para fijar el torque se realiza un análisis dinámico de la llanta sobre la superficie vertical que sería el vidrio tal como se muestra en la Figura 25.



**Figura 25. Diagrama de cuerpo libre**

Fuente: Autor

En el diagrama de la llanta, ver Figura 25, se representan las fuerzas existentes cuando el robot se desplaza sobre la superficie vertical, donde:

$N_{ll}$  = Reacción normal de la llanta

$F_a$  = Fuerza de atracción de los imanes

$F_{rll}$  = Fuerza de rozamiento de la llanta

$W$  = Peso total del robot

$M$  = Momento de la llanta

$I_{zy}$  = Inercia eje de movimiento

$r$  = Radio de la llanta

Datos:

$$F_a = 22.52N$$

$$N_{ll} = 19.74N$$

$$F_{ru} = 11.84N$$

$$W = 24.52N$$

$$r = 31.5mm$$

$$I_{zy} = -1.01938898Kg(mm)^2$$

Análisis dinámico:

$$\Sigma \vec{F}y = ma_c$$

$$-F_{ru} - W = ma_c \quad (3.3.10)$$

$$a_c = \frac{-F_{ru} - W}{m}$$

$$a_c = \frac{-11.84 - 24.52}{2.5}$$

$$a_c = -14,54 \text{ m/s}^2 = -14540 \text{ mm/s}^2$$

$$\Sigma M_0 = I \vec{\alpha}$$

$$F_a \times 44 + W \times 4.1 - F_a \times 68 - F_{ru} \times 31.5 - M = I_{zy} \vec{\alpha} \quad (3.3.11)$$

$$\alpha = -\frac{a_c}{r} \quad (3.3.12)$$

$$F_a \times 44 + W \times 4.1 - F_a \times 68 - F_{ru} \times 31.5 - M = -I_{zy} \times \frac{a_c}{31.5}$$

$$M = F_a \times 44 + W \times 4.1 - F_a \times 68 - F_{ru} \times 31.5 + I_{zy} \times \frac{a_c}{35.5}$$

$$M = 22.52 \times 44 + 24.52 \times 4.1 - 22.52 \times 68 - 11.84 \times 31.5$$

$$- 1.01939 \times \frac{14540}{35.5}$$

$$M = 1230.43 \text{ N. mm}$$

Para pasar a las unidades comerciales se realiza una conversión de unidades:

$$M = 1230.43 \text{ N. mm} \times \frac{1 \text{ kgf}}{9.8 \text{ N}} \times \frac{1 \text{ cm}}{10 \text{ m}}$$

$$M = 12.55 \text{ kgf. cm}$$

Este torque se debe dividir para los dos motores porque existen dos llantas.

### 3.3.3 Consideraciones y cálculos magnéticos

Preselección del imán de neodimio (tipo disco) Grado N42 con las siguientes características:

$$\text{Diametro} = 1 \frac{1}{4} \text{ plg} = 31.75 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor} = \frac{1}{4} \text{ plg} = 6.35 \text{ mm}$$

$$B = 13200 \text{ Gauss}$$

Fórmula para el cálculo de la fuerza entre dos imanes (tipo disco) es una derivación de la ley de ampere (GRAM, 2012).

$$F(x) = \left[ \frac{B_0^2 (A^2) (h^2 + R^2)}{\pi (\mu_0) h^2} \right] * \left[ \frac{1}{x^2} + \frac{1}{(x+2h)^2} - \frac{2}{(x+h)^2} \right]$$

(3.3.13)

Dónde:

$B_0$ : Densidad de flujo magnetico en T

$\mu_0$ : Constante universal de permeabilidad magnética del vacío en  $\frac{Tm}{A}$

$A$ : Area que esta expuesta el iman en metros cuadrados

$R$ : Radio del iman en metros

$h$ : Espesor del imán en metros

$x$ : Distancia entre imanes en metros

Fórmulas que relacionan los campos magnéticos.

$$B = B_0 + B_m \quad (3.3.14)$$

$$B = \mu_0 \times H + \mu_0 \times M \quad (3.3.15)$$

$$B = \mu_0(H + M) \quad (3.3.16)$$

Dónde:

**B:** Densidad de flujo máxima generada por el imán en T

**H:** Campo de magnetización en A/m

**M:** Magnitud del vector Magnetización en A/m

**$\mu_0$ :** Constante universal de permeabilidad magnética del vacío en Tm/A

Como dato se toma  $B_0$  que es la densidad de flujo que genera el imán a una distancia  $x$  de separación.

Diameter	1.25
Thickness	0.25
Distance X	0.433
Neo 42	13,200
Gauss at X	1110.5

**Figura 26. Imagen del software para cálculo  $B_0$**

Fuente: (Magnet Sales & Manufacturing Company, Inc, 2000)

Datos:

$$R = 0.01875\text{m}$$

$$h = 0.00635\text{m}$$

$$x = 0.011\text{m} = 0.433\text{plg}$$

$$B = 1.32\text{T}$$

$$\mu_0 = 4 \times \pi \times 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}} = 1.25664 \times 10^{-6} \frac{\text{Tm}}{\text{A}}$$

$$B_o = 0.11105 \text{ T}$$

La permeabilidad magnética del vidrio es igual a la del aire, por eso para los cálculos se hace despreciable la permeabilidad magnética del vidrio.

Desarrollo de las formulas

$$F_{(x)} = \left[ \frac{(B_o^2)(A^2)(h^2 + R^2)}{(\pi)(\mu_o)(h^2)} \right] \left[ \frac{1}{x^2} + \frac{1}{(x + 2h)^2} - \frac{2}{(x + h)^2} \right]$$

$F_{(x)}$

$$= \left[ \frac{0.11105 \text{ T}^2 (0.000595447\text{m}^2)^2 ((0.00635\text{m})^2 + (0.015875\text{m})^2)}{\pi (1.25664(10^{-6})) \frac{\text{Tm}}{\text{A}} (0.00635\text{m})^2} \right] \left[ \frac{1}{(0.011\text{m})^2} + \frac{1}{(0.011\text{m} + (2 * 0.00635\text{m}))^2} - \frac{2}{(0.011\text{m} + 0.00635)^2} \right]$$

$$F_{(x)} = 27.31 \text{ N}$$

$$F_{(x)} = 2.783 \text{ kgf} \quad \text{Fuerza que ejerce el iman}$$

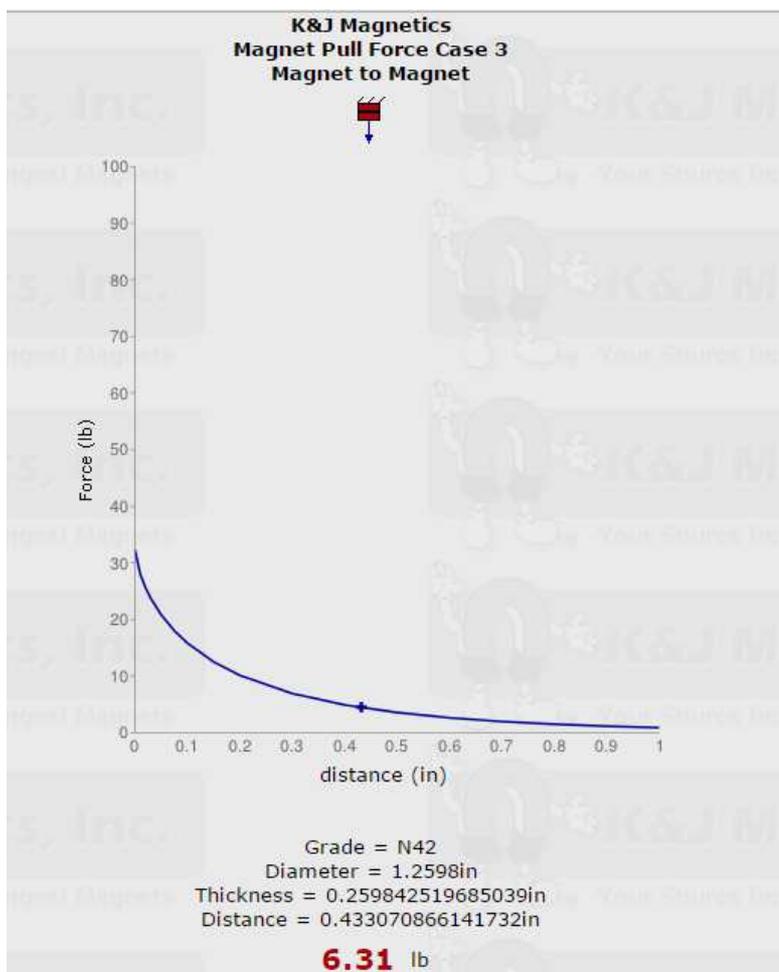
Como  $F_{(x)} > F_a$  se justifica la utilización de 2 imanes para el prototipo del robot

El software que se utiliza para la validación estos cálculos arroja los siguientes datos.



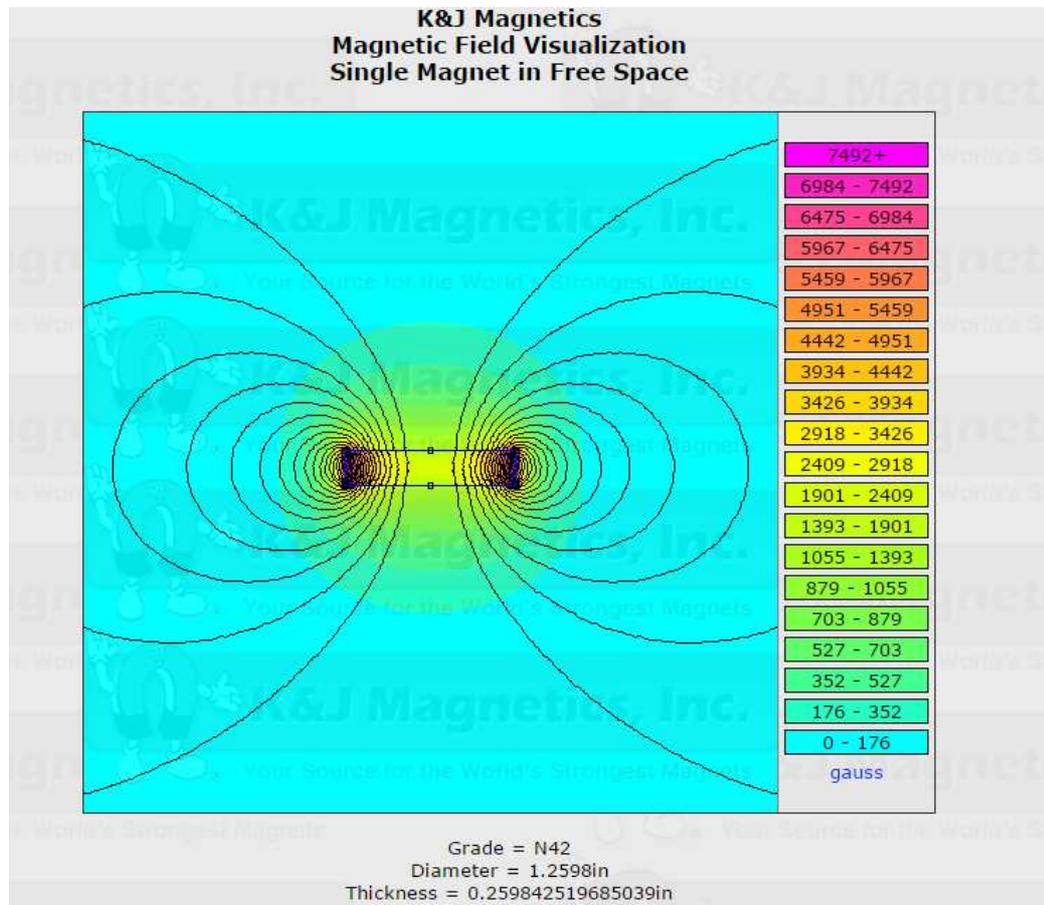
**Figura 27. Cálculo de la fuerza que ejerce el imán**

Fuente: (Magnet Sales & Manufacturing Company, Inc, 2000)



**Figura 28. Grafica de Distancia Vs Fuerza**

Fuente: (K&J Magnetics, Inc., 2014)



**Figura 29. Grafica de campo magnético generado por un imán**

Fuente: (K&J Magnetics, Inc., 2014)

### 3.4 Visualizaciones de diseño

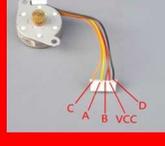
#### 3.4.1 Selección de elementos

La matriz morfológica estudia las propiedades y formas que se aplican en las ramas de diseño es una herramienta para el desarrollo de productos, ver Tabla 20.

**Tabla 20**  
**Matriz morfológica**

MATRIZ MORFOLOGICA					
NOTA: Verde opción seleccionada. Amarillo opción respaldo. Rojo opción descartada					
NUM	ELEMENTO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ELECCION
1	CHASIS				CHASIS
					
2	SUJECION ELEMENTOS				SUJECION ELEMENTOS
					
3	GENERADOR DE FUERZA				GENERADOR DE FUERZA
					
4	BOMBA AGUA				BOMBA AGUA
					
5	DISCO LIMPIADOR				DISCO LIMPIADOR
					
6	MOTOR LIMPIADOR				MOTOR LIMPIADOR
					

CONTINÚA 

7	MICROCONTROLADOR				MICROCONTROLADOR 
8	SENSOR				SENSOR 
9	CONTROL REMOTO				CONTROL REMOTO 
10	MANDO INALAMBRICO				MANDO INALAMBRICO 
11	BATERIA				BATERIA 
12	MOTOR MOVILIDAD				MOTOR MOVILIDAD 
13	LLANTAS MAESTRO				LLANTAS MAESTRO 
14	LLANTAS ESCLAVO				LLANTAS ESCLAVO 
15	CARCASA				CARCASA 

Fuente: Autor

### 3.4.1.1 Chasis

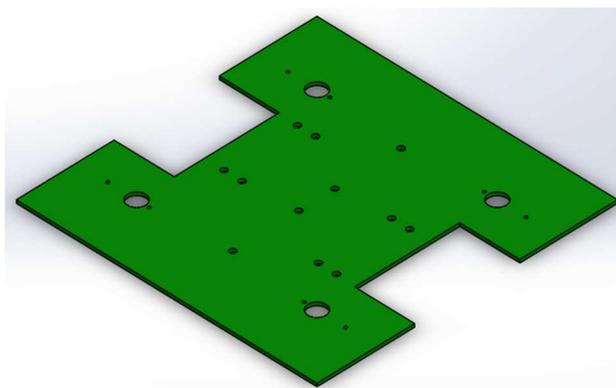
Las placas PCB son comúnmente utilizadas para diagramar diseños de los circuitos impresos ya que es la forma más perfeccionada para realizarlo existen varios tipos de placas se diferencian por el material que están hechos, hay tres fundamentalmente: baquelita, fibra de vidrio y teflón.

Se ha elegido la placa de fibra de vidrio como material para la construcción del chasis primario del prototipo del robot, la fibra de vidrio posee excelentes características que es necesario para la base:

- Es un buen aislante térmico
- Alta resistencia mecánica
- Material ligero
- Alta calidad
- Fácil mecanizado

Existen varios tipos de variedad de placas con fibra de vidrio pero para esta aplicación se ha elegido el G10/FR4 ya que este laminado es extremadamente alto en fuerza mecánica, tiene factores bajos de absorción y de la disipación del agua, y tiene características eléctricas superiores, que se exhiben sobre una amplia gama de temperaturas y de humedades.

Estas características son óptimas para la funcionalidad del chasis primario en el prototipo del robot, ver Figura 30, ya que en el chasis es donde va la sujeción de los servomotores, placa de control y los imanes; estos elementos crean reacciones y fuerzas directamente a la base por lo cual al tener alta resistencia mecánica hace que sea un excelente material para su utilización.



**Figura 30. Diseño de chasis primario**

Fuente: Autor

Ya que se requiere un mecanizado en frío para el chasis primario la placa de fibra de vidrio lo hace óptimo para la construcción del prototipo de robot.

#### 3.4.1.2 Sujeción de Elementos

Se necesita las sujeciones para los imanes, ver Figura 32, y los servomotores, ver Figura 33, para que estén sujetos al chasis primario y queden en el diseño óptimo, se necesita de un material que no sea pesado pero de alta resistencia mecánica y poder realizar con ese material el diseño correcto para los elementos que son los servomotores y los imanes. Por lo que se ha procedido a construir los porta servos y porta imanes en impresión 3D.



**Figura 31. Impresora 3D**

Fuente: (Ruta15, 2012)

Las impresiones 3D es una fabricación de un objeto mediante superposición de material en finas capas, se realizan con diseños personalizados y se los puede escalar a la medida que sea necesario, las impresora donde se va a imprimir, como se observa en la Figura 31, debe tener la capacidad para la impresión en las medidas requeridas.

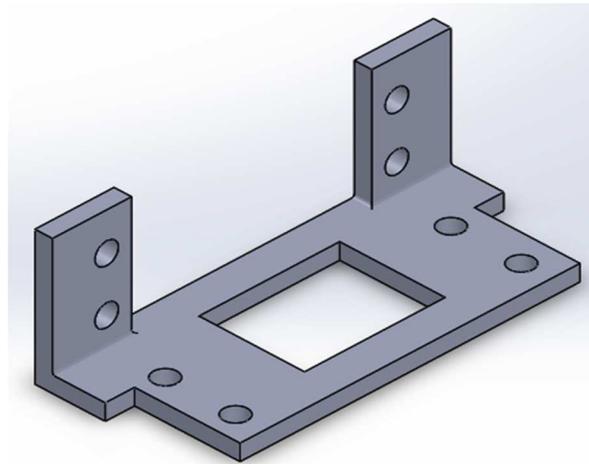
Las impresiones 3D utilizan diferentes materiales que son el ABS, PLA, PET, resina, poliamida; cada uno tiene diferentes características como resistencia mecánica, sus componentes y la temperatura de fusión.

Se opta por el diseño CAM mediante el programa CAD y se pasa a un programa para realizar el mapeo que genere el código G para que se realice la impresión con el material elegido, para el prototipo se elige el material ABS por sus características de alta resistencia mecánica.



**Figura 32. Diseño de porta imanes**

Fuente: Autor



**Figura 33. Diseño porta servo**

Fuente: Autor

#### *3.4.1.3 Generador de Fuerza*

Los imanes son cuerpos que poseen un campo magnético que ejercen fuerzas y pares de torsión, existen una gran variedad de imanes que se pueden clasificar por su origen o composición y la perduración de sus propiedades magnéticas. Los imanes por su origen son los naturales como la magnetita y los imanes artificiales.

Los imanes según sus propiedades magnéticas son:

- Temporales
- Permanentes
- Cerámicos o Ferritas

- Alnico
- Tierras raras
- Flexibles

De toda esta variedad de imanes se destaca una por sus propiedades que son las de tierras raras, estos se componen por químicos existen los de Samario cobalto y los de neodimio. Los de neodimio están formados por hierro, neodimio y boro, este tipo de imán es permanente y con un campo de fuerza muy poderoso. Hay que tener en cuenta que los campos magnéticos pueden ser peligrosos para dispositivos mecánicos o electrónicos.

Se ha elegido el imán de neodimio de grado N42 este grado significa de la composición del imano sea de los materiales que esta hechos mientras más grande es el número más fuerte es el imán, el grado más alto es el N52, los imanes de neodimio son 10 veces más fuertes que los de cerámica.



**Figura 34. Disco magnético de neodimio**

Fuente: Autor

#### *3.4.1.4 Bomba de agua*

La bomba de agua se usa para dar pequeños flujos hacia los discos limpiadores. Esta bomba es de tipo no sumergible con los siguientes datos técnicos.



**Figura 35. Bomba de agua**

Fuente: Autor

**Tabla 21**

**Datos técnicos bomba de agua**

<b>Material de la bomba:</b>	ABS
<b>Condiciones de uso :</b>	Continuamente
<b>Líquidos :</b>	Agua, aceite , gasolina , ácido y solución alcalina
<b>Temperatura de trabajo:</b>	0 ~ 75 °C
<b>Consumo de energía:</b>	4.2W
<b>Tensión nominal :</b>	7-12V DC
<b>Max corriente nominal :</b>	350mA
<b>Caudal máximo :</b>	4L / MIN ( 1,06 g / min)
<b>Max Cabeza ( altura de elevación ) :</b>	3M
<b>Ruido :</b>	< 40dB ( más de 35 dB )
<b>Clase A prueba de agua :</b>	IP68 ( se puede instalar sumergible )
<b>Esperanza de vida :</b>	Más de 30000hrs
<b>Fuente de alimentación :</b>	El panel solar , fuente eléctrica de la CC , batería
<b>Tamaño :</b>	Alrededor de 5.5cm x 3.5cm x 4.5cm

Fuente: Autor

#### *3.4.1.5 Disco Limpiador*

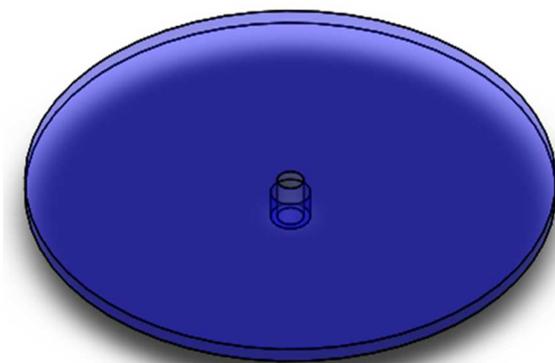
El acrílico es un material plástico el cual se lo encuentra con el nombre de polimetilmetacrilato con sus siglas PMMA, que en el mercado se lo puede encontrar en la presentación de pellets o en placas.

El acrílico es un material el cual posee varias características en las que se destacan:

- Apto para el mecanizado y moldeo (termoformado).
- Menos frágil ya que tiene alta resistencia al impacto.
- Resistentes a la intemperie y a los rayos ultravioleta, pueden resistir a la luz solar durante varios periodos de tiempo.
- Material aislante
- Resistente a la corrosión
- Material ligero
- Gran variedad de espesores de las placas en el mercado.

La utilización de este material para la construcción de los discos limpiadores ya que se requieren mecanizado en todas esas partes para la manufactura del prototipo.

Se requiere unos discos limpiadores que necesita un diseño circular como se muestra en la Figura 36, ya que el acrílico es un material apto para el mecanizado se selecciona como material para este elemento.



**Figura 36. Diseño de discos limpiadores**

Fuente: Autor

#### *3.4.1.6 Motor limpiador*

Los micro servomotores cumplen con el mismo principio que los servomotores solo que con de dimensiones menores y el torque suele ser menor por eso el nombre de mini servomotores, la aplicación de estos mini servos son muy amplias ya que son

de muy bajo peso y se pueden colocar donde no necesiten un torque sumamente grande.

El micro servomotor SG90 generalmente es aplicado para lo que es el control de los helicópteros o carros a radio control y tiene las siguientes características:

**Tabla 22**

**Características del micro servomotor SG90**

<b>Características</b>	<b>Valores</b>
<b>Velocidad de funcionamiento</b>	4.8 V sin carga : 0,12 s / 60 grados
<b>Torque</b>	4.8 V – 1,2 kg / cm 6.0 V – 1,6 kg / cm
<b>Rango de temperatura</b>	-30 a 60 °C
<b>Tensión de funcionamiento</b>	3,0 – 7,2 Voltios
<b>Peso</b>	9 gramos
<b>Dimensiones</b>	32 x 30 x 12 mm

Fuente: Autor

El micro servomotor se lo aplica para el movimiento de las base de las almohadillas y las almohadillas, es decir, para la función de limpieza de los cristales, los micro servos SG90 se los implementan ya que se necesitan 4 en la parte maestro y 4 en la parte esclava para que vaya limpiando a la vez adentro y afuera, por lo que se requiere un bajo peso para estos elementos.

#### *3.4.1.7 Microcontrolador*

Como se pudo ver en el capítulo 2 en el resumen a los microcontroladores hoy en día existen varios microcontroladores que forman parte de una plataforma una de las más versátiles en este campo de desarrollo de proyectos es la plataforma de arduino el cual trabaja la mayoría con microcontroladores ATmega.

Existe una gama amplia de placas de arduino con diferentes características y dimensiones por lo cual se ha elegido el arduino nano para esta aplicación ya que

posee un microcontrolador ATmega 328 y como el nombre mismo lo indica su tamaño es pequeño a la vez es de bajo peso.

Las especificaciones del arduino nano se pueden ver en la Tabla 23:

**Tabla 23**

**Características de arduino nano**

<b>Microcontrolador</b>	ATmega 328
<b>Tensión de funcionamiento</b>	5 V
<b>Tensión de entrada máxima</b>	6 – 20 V
<b>Pines digitales I/O</b>	14 de los cuales 6 proporcionan salida PWM
<b>Pines de entrada analógicas</b>	8
<b>Corriente DC por pines de I/O</b>	40 mA
<b>Memoria Flash</b>	32 KB de los cuales 2KB son utilizados por el gestor de arranque
<b>SRAM</b>	2KB
<b>EEPROM</b>	1 KB
<b>Velocidad de reloj</b>	16 MHz
<b>Dimensiones</b>	0,73’’ x 1,70’’

Fuente: (Arduino S.A., 2010)

El Arduino Nano tiene una serie de instalaciones para la comunicación con un ordenador, otro Arduino, u otros microcontroladores. El ATmega328 proporciona TTL UART (5V) de comunicación en serie, que está disponible en los pines digitales 0 (RX) y 1 (TX). Un FTDI FT232RL en los canales de mesa esta comunicación serie a través de USB y los drivers FTDI (incluido con el software de Arduino) proporcionan un puerto com virtual para el software en el ordenador. El software de Arduino incluye un monitor de serie que permite a los datos textuales sencillos para ser enviados hacia y desde la placa Arduino. Las RX y TX LED en el tablero

parpadean cuando se están transmitiendo datos a través del chip y conexión USB FTDI al ordenador (pero no para la comunicación en serie en los pines 0 y 1).

Una biblioteca SoftwareSerial permite la comunicación en serie en cualquiera de los pines digitales del Nano.

El ATmega168 y ATmega328 también soportan I2C (TWI) y la comunicación SPI. El software de Arduino incluye una librería Wire para simplificar el uso de la I2C bus (Arduino S.A., 2010).

#### 3.4.1.8 Sensor

Los sensores son normalmente transductores que convierten un fenómeno físico en señales eléctricas, estas señales pueden ser leídas por un micro controlador o PC, esto gracias a un convertidor analógico digital (ADC), en el que se carga un valor de un puerto de entrada y salida o se usa una interrupción externa; comúnmente se necesita alguna interface electrónica entre el sensor y la computadora o microcontrolador para acondicionar y/o amplificar la señal.



**Figura 37. Sensor ultrasónico**

Fuente: Autor

Los sensores ultrasónicos tienen como función principal la detección de objetos a través de la emisión y reflexión de ondas acústicas. Funcionan emitiendo un pulso ultrasónico contra el objeto a sensor; al detectar el pulso reflejado se para un contador de tiempo que inicia su conteo al emitir el pulso. Este tiempo es referido a distancia y de acuerdo con los parámetros elegidos de respuesta con ello, manda una señal eléctrica digital o analógica.

Es perfecto para esta aplicación ya que puede medir las pequeñas variaciones de distancia en tiempo real y de esta manera el robot sabe en todo momento en que lugar se encuentra y cuando desplazamiento hace falta para llegar al borde del vidrio.

#### 3.4.1.9 Control Remoto

El control de mando a distancia se necesita de un elemento que se pueda mandar el comando o la señal de lo que se quiere prender, apagar, girar o modificar la función actual del dispositivo, el control remoto, como se observa en la Figura 38, controla cada vez más dispositivos que incorporan esta comodidad. El funcionamiento del sistema es bastante simple: cuando se presiona una tecla del control remoto, éste envía al aparato una señal lumínica invisible al ojo humano. En el otro extremo el artefacto recibe la señal, la decodifica, ver Figura 39, y reacciona a la indicación.

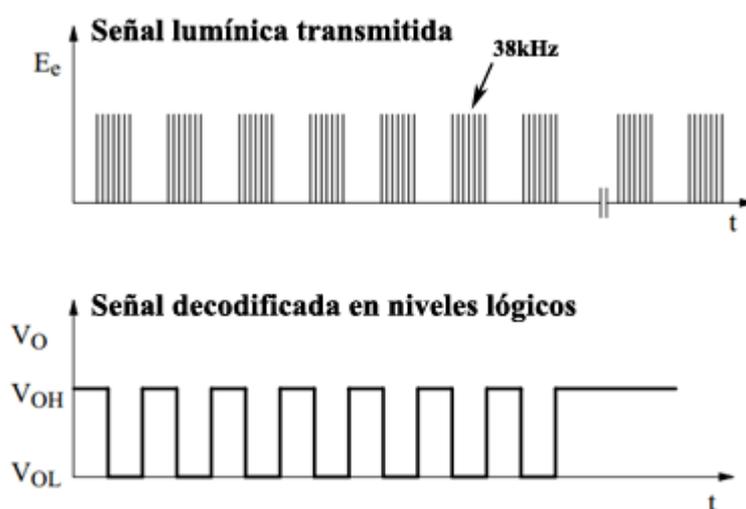


**Figura 38. Control remoto**

Fuente: Autor

El funcionamiento de los controles remotos infrarrojos a lo largo del tiempo se han estandarizaron IrDa por su siglas en inglés (Infrared Data Association) ciertas prácticas y componentes para la configuración de protocolos o métodos. La vasta mayoría de los controles remotos transmiten la señal lumínica en forma de pulsos a 38kHz. Aunque se utilizan también otras frecuencias de portadora que cuentan con 30kHz, 36kHz y 56kHz entre las más comunes. Además los aparatos suelen

traducir la presencia de la portadora en un nivel lógico alto y la ausencia en uno bajo. Y codificar con ese mecanismo, algún protocolo de transmisión digital serie que permita identificar el comienzo de la información en el flujo. Y que imponga algunas restricciones, como por ejemplo limitar la cantidad de pulsos que se puedan recibir en forma continua a un tiempo acotado. Todo esto se debe a la necesidad de filtrar el ruido que provenga de fuentes lumínicas distintas al control remoto bajo el protocolo IrDa (DRK, 2012).



**Figura 39. Codificación de señal infrarroja**

Fuente: (CRK, 2012)

#### 3.4.1.10 Mando Inalámbrico

El mando inalámbrico en la actualidad es muy utilizado en casi todos los sistemas de las industrias, oficinas y hogares, existen diversas maneras y configuraciones para poder controlar un dispositivo o una máquina a distancia pero para esta aplicación que se va a controlar desde el interior del lugar lo más efectivo es usar un módulo RF.



**Figura 40. Módulo RF para arduino**

Fuente: Autor

El modulo RF es básicamente función de un transmisor y receptor de onda radio a 433MHz, las ondas de radio son muy usadas para mandos a distancia por su velocidad de respuesta y su baja pérdida de datos en transmisión/recepción. Con este módulo Arduino y la librería VirtualWire de Arduino es capaz de recibir datos de manera inalámbrica. El módulo tiene las siguientes características:

**Tabla 24**

**Características de modulo RF receptor**

<b>Tensión de alimentación</b>	5 VDC
<b>Corriente de trabajo</b>	4mA
<b>Frecuencia de recepción</b>	433MHz
<b>Sensibilidad de recepción</b>	-105dB
<b>Dimensiones</b>	30*14*7mm
<b>Antena externa</b>	5-32cm

Fuente: Autor

**Tabla 25**

**Características de modulo RF transmisor**

<b>Tensión de alimentación</b>	3.5-12 VDC
<b>Distancia de trabajo</b>	20-200m
<b>Frecuencia de operación</b>	AM
<b>Tasa de transferencia</b>	4kB/S
<b>Frecuencia de transmisión</b>	433MHz
<b>Dimensiones</b>	19*19mm
<b>Antena externa</b>	5-32cm

Fuente: Autor

El diagrama de flujo de la programación del prototipo se encuentra en el Anexo E. en el anexo F se encuentra el diagrama de bloque de la programación del robot

### 3.4.1.11 Batería

La batería eléctrica que también se la conoce como acumulador consiste en un dispositivo que posee en su interior celdas químicas que transforman la energía química almacenada en su interior en energía eléctrica. Existen varios tipos de baterías, varía la composición de las celdas químicas:

- Plomo – ácido
- Níquel – hierro (Ni-Fe)
- Níquel – cadmio (Ni-Cd)
- Níquel – hidruro metálico (Ni-MH)
- Iones de litio (Li-ion)
- Polímero de litio (LiPo)

Cada una de las diferentes baterías tiene sus propias características que son la carga, descarga, ciclos y vida, para el prototipo se requiere una funcionalidad de más de una hora de trabajo seguido, tenga un tamaño y peso reducido, por lo que se ha decidido ocupar una batería de polímero de litio (LiPo).



**Figura 41. Batería Lipo**

Fuente: (ATOMIKRCMX, 2012)

Se ha elegido una batería Lipo de 4 Amperios conformada por dos células (2S) que son de 3,7 voltios cada una por lo que la batería es de 7,4v, se puede observar en la Figura 39. Otra característica muy importante para la aplicación es la capacidad de descarga de la batería, esta característica esta especificada con un numero seguido de una C, este es la descarga máxima que llega la batería en

funcionamiento, esta batería es de 20C, que con estos datos principales se puede saber que:

$$4000mAh \times 20C = 80000mAh = 80 A \quad (3.4.1)$$

Es decir que se va a obtener una descarga máxima de 80 Amperios que se puede someter a la batería, pero por seguridad siempre hay que dejar un margen se le podría someter a 60 o 70 A.

*Calculo de la potencia de la batería.*

El cálculo de la batería se la realiza verificando las características técnicas de todos los elementos electrónicos del panel maestro:

**Tabla 26**

**Tabla de análisis de consumo energético del panel maestro**

Consumo panel Maestro	Cantidad	Consumo(mA)	Total
Potencia de arduino nano:	2	200	400
Potencia miniservo motor:	4	50	200
Potencia servo motores:	2	100	200
Modulo IR:	1	24	24
Modulo RF transmisor:	1	50	50
Módulo relé:	1	60	60
Sensor ultrasónico:	4	20	80
Switch electromecánico:	1	5	5
<b>Total consumo(mA)</b>			<b>1019</b>

Fuente: Autor

Análisis de potencia para la batería del panel externo esclavo.

**Tabla 27**

**Tabla de análisis de consumo energético del panel esclavo**

Consumo panel Esclavo	Cantidad	Consumo(mA)	Total
Potencia de arduino nano:	2	150	300
Potencia miniservo motor:	4	50	200
Modulo RF receptor:	1	30	30
Módulo relé:	1	60	60
Bomba de agua	1	400	400
<b>Total consumo(mA)</b>			<b>990</b>

Fuente: Autor

Este tipo de baterías necesitan de un cargador específico para su correcto funcionamiento, no se debe cargar a más de su amperaje recomendado por lo que si se tiene de 4000mAh no hay como cargar a más de 4000mAh, las baterías LiPo vienen de fábrica con dos cables que es para la carga y descarga que son de color rojo y negro con sus respectivos conectores y otros dos cables con un conector blanco que es para el balanceador logra hacer que las dos células de la batería tengan el mismo amperaje y el mismo valor de tensión. Se ha elegido un cargador de baterías LiPo especial que es recomendado para la batería de dos células.



**Figura 42. Cargador iMAX de baterías LiPo**

Fuente: Autor

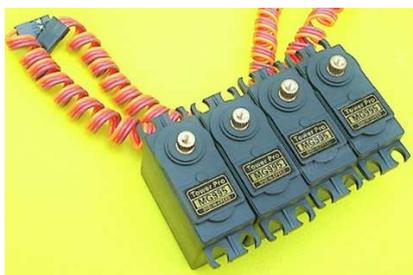
El cargador iMAX B6AC, ver Figura 42, tiene como corriente máxima de carga de 5A, potencia máxima de carga de 50 W, programación de carga rápida, equilibrador de las baterías de litio, tiene programación para diferentes tipos de células o celdas entre ellas esta las de Lipo con capacidad de hasta 6 células (22,2 V) y un control de temperatura.

#### *3.4.1.12 Motor Movilidad*

Los servomotores de corriente continua son elementos diseñados para control de posicionamiento ya que tiene un eje de rendimiento controlado que está conectado al motor del servo que tiene algunos circuitos de control y un potenciómetro. La cantidad de tensión aplicada al motor es proporcional a la distancia que éste necesita viajar. Así,

si el eje necesita regresar una distancia grande, el motor regresa a toda velocidad. Si este necesita regresar sólo una pequeña cantidad, el motor corre a una velocidad más lenta. A esto se le llama control proporcional.

El control proporcional es una característica muy imprescindible por el cual se elige el servomotor para que transmita el movimiento y la dirección en el robot limpiador. Los servomotores van a ser utilizados para la transmisión del movimiento en las dos llantas que va a tener el robot, como el desplazamiento con las llantas se efectúa sobre vidrio el torque mínimo que debe ejercer el servomotor se determina en el cálculo de fuerzas dinámicas en el cual se obtiene un momento de 4,24 kgf.cm, por lo que se ha elegido el servomotor MG995 ver Figura 43.



**Figura 43. Servomotor MG995**

Fuente: Autor

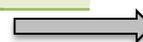
El servomotor MG995 que tiene los engranes de metal lo cual hace que tenga un torque fuerte, este servomotor tiene las siguientes características ver Tabla 28:

**Tabla 28**

**Características de servomotor MG995**

Características	Valores
<b>Velocidad de funcionamiento</b>	4.8 V sin carga : 0,17 s / 60 grados
	6.0 V sin carga : 0,13 s / 60 grados
<b>Torque</b>	4.8 V 13 kg / cm
	6.0 V 15kg / cm
<b>Rango de temperatura</b>	-30 a 60 °C

CONTINÚA



<b>Tensión de funcionamiento</b>	4,8 – 7,2 Voltios
<b>Peso</b>	55 gramos
<b>Dimensiones</b>	40,6 x 19,8 x 37,8 mm

Fuente: Autor

Se considera este servomotor por el bajo peso y a la vez un fuerte torque que son las principales características para la aplicación de este elemento en el robot limpiador.

#### 3.4.1.13 Llantas Maestro

Al ser un prototipo de robot limpiador de ventanas se requiere para su desplazamiento unas llantas que sean de un material adecuado que tenga como característica el rango de coeficiente de rozamiento con el que se determina en el estudio estático y dinámico.

Existen una gama muy amplia en los materiales para llantas, pero las más utilizadas son las llantas de goma o de espuma, estas dos opciones son excelentes materiales dependiendo en la aplicación o el lugar donde van a ser utilizadas.

Las llantas de espuma tienen mejor agarre en las superficies en cualquier condición y son más económicas pero tienen algunas características que no ayudarían para el prototipo que son: variación del diámetro (diámetro óptimo de funcionamiento), sufren desgastes en los mecanismos que estén sujetas las llantas por el torque que se genera para el movimiento, generalmente se parte o rompe la espuma en los bordes.

Al contrario las llantas de goma están diseñadas para que no varíe su diámetro, no sufre desgastes en los mecanismos que transmiten el movimiento y tienen una vida de trabajo más duradero, no tienen las mismas características de fricción si la superficie esta con sustancias viscosas o sucias, requiere de un calentamiento de las llantas y de una limpieza sobre la goma.

Al tener muy claro las características de las llantas se decide elegir las llantas de goma ya que se requiere para el desplazamiento sobre vidrio, la sujeción a las llantas

se la realiza sin ningún mecanismo, por lo que la transmisión de movimiento a las llantas es directa y tiene larga vida útil.



**Figura 44. Llantas de goma Re28**

Fuente: (RC Eléctrico, 2014)

Para la aplicación de este prototipo en el panel maestro va a ser una llanta de goma Re28 como se muestra en la Figura 44, de 60mm de diámetro y de 24 mm de ancho. Ya que estas llantas de goma ofrecen un alto coeficiente de rozamiento.

#### *3.4.1.14 Llantas Esclavo*



**Figura 45 Llantas goma espuma**

Fuente: (Hobby Store, 2012)

En el panel esclavo se usa llantas de un compuesto de goma espuma, estas llantas son de un compuesto fácil de deformar para que los paños limpiadores estén en contacto con la superficie de vidrio, como se muestra en la Figura 45.

### 3.4.1.5 Carcasa

Al igual que los discos limpiadores se ha elegido utilizar el acrílico

La utilización de este material para la construcción de las carcasas del robot ya que se requieren mecanizado en todas esas partes para la ejecución del prototipo.

En la tapa del robot se requiere llevar a cabo el termoformado para poder darle la forma deseada, en la Figura 46 se puede visualizar la forma de la tapa para el robot, a parte se requiere un mecanizado en frío para la perforación de los agujeros.



**Figura 46. Diseño de la tapa**

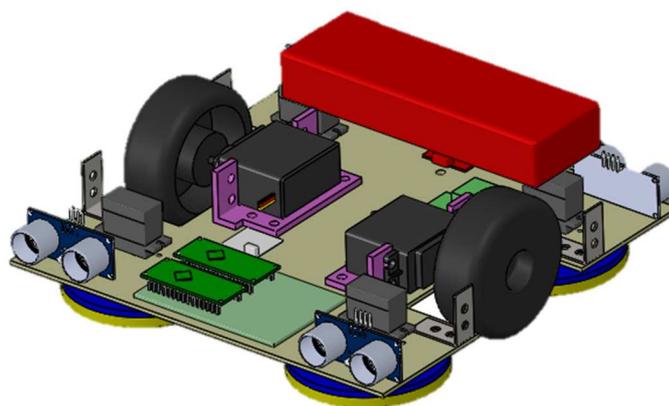
Fuente: Autor

## CAPÍTULO IV

### 4. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS

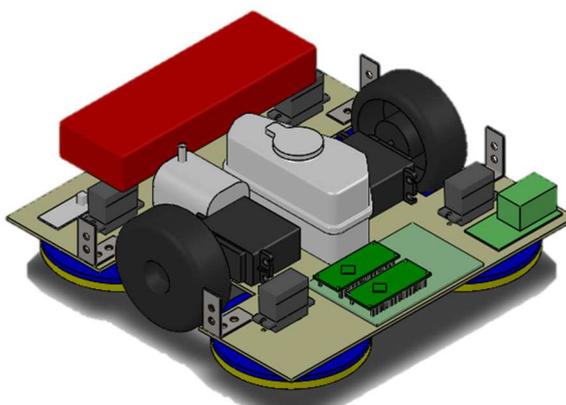
#### 4.1 Planos de construcción del prototipo

El modelamiento de los elementos, cuerpo maestro y cuerpo esclavo se realizaron con el programa CAD, todos los diseños son exclusivos para el uso de esta aplicación. Los planos generados en el software están en los Anexo C. En la Figura 47 se muestra la distribución de espacios dentro del robot del panel maestro, en la Figura 48 se muestra la distribución de espacios del panel esclavo.



**Figura 47. Diseño CAD de modulo maestro**

Fuente: Autor



**Figura 48. Diseño CAD de modulo esclavo**

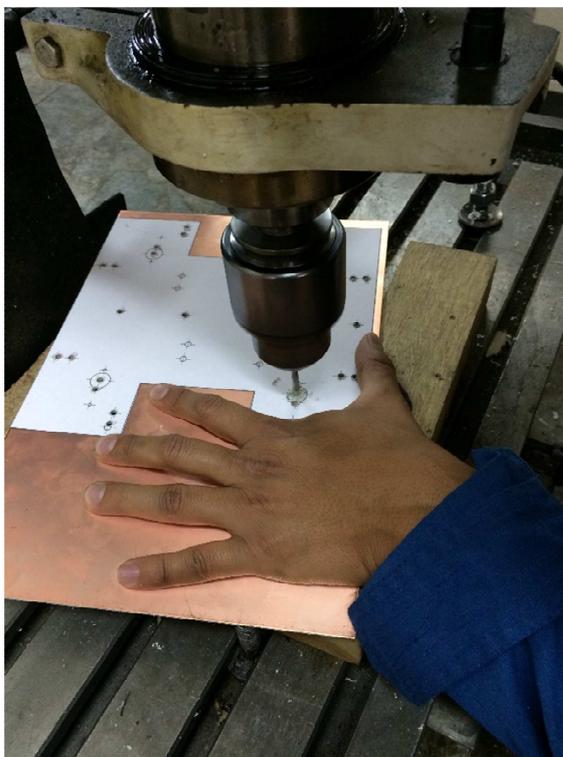
Fuente: Autor

## 4.2 Construcción de cuerpo base

La construcción del cuerpo base tiene varios procedimientos para tener el chasis de la forma que fue modelada en el software CAD.

### 4.2.1 Maquinado del chasis

Para empezar con la construcción del prototipo se procede al corte y perforación de la placa de fibra de vidrio, con el diseño CAD CAM se tiene el plano para poder maquinar los agujeros de manera exacta. El chasis de modulo maestro y modulo esclavo son el mismo diseño. Se utiliza un taladro de banco la operación de taladrado tal como se muestra en la Figura 49.



**Figura 49. Taladrado chasis primario**

Fuente: Autor

En la Figura 50 se muestra la placa de fibra de vidrio hecha todas sus perforaciones y lista para pasar al siguiente paso del proceso de fabricación.



**Figura 50. Chasis perforado**

Fuente: Autor

Posterior mente se cortan las placas con la forma del chasis del robot.

#### **4.2.2 Tratamiento químico chasis**

En el tratamiento térmico se sumerge el chasis previamente maquinado en agua caliente mezclada con cloruro férrico para remover la capa de cobre con la cual viene la placa PCB de fibra de vidrio que se utiliza para el chasis tal como se muestra en la Figura 51. Se sumerge un chasis a la vez en la solución de cloruro férrico.



**Figura 51. Chasis sumergido en agua con cloruro férrico**

Fuente: Autor

En la Figura 52 se muestran las placas de fibra de vidrio sin su lámina de cobre.



**Figura 52. Chasis listo**

Fuente: Autor

#### **4.3 Ensamble de sujeciones de los imanes**

Luego de tener el sujetador del imán de neodimio impreso en 3D, este sujetador tiene las tolerancias adecuadas para el imán de neodimio. Se coloca en el interior cuidando que la fuerza de atracción quede en el sentido correcto según señala el diseño mecánico tal como se muestra en la Figura 53.



**Figura 53. Sujeción de imán de neodimio**

Fuente: Autor

#### **4.4 Ensamble de servomotores con llantas**

La sujeción de los elementos electrónico hacia el chasis es por medio de un pegamento epóxico de 2500psi de esfuerzo a la tensión mostrado en el Anexo D.

Teniendo en cuenta que el robot va a trabajar en su mayoría en posición vertical las cargas están sometidas a esfuerzo cortante, teniendo el siguiente análisis para la batería que es el elemento de mayor peso dentro del robot.

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo de tensión.

$\tau$ : Esfuerzo de cortante.

$A$ : Área de contacto del pegamento.

$W$ : Peso.

$$\sigma_{perm} = 2500psi$$

Como el fabricante no da datos sobre esfuerzo cortante se considera el esfuerzo a la tensión sobre dos:

$$\tau_{perm} = \frac{\sigma_{perm}}{2}$$

$$\tau_{perm} = \frac{2500psi}{2}$$

$$\tau_{perm} = 1250psi = 8.62MPa$$

La superficie de la batería es:

$$A = 137mm \times 45mm = 6165mm^2$$

$$W_{bat} = 0.267kg = 2.62N$$

$$\tau_{bat} = \frac{W}{A}$$

$$\tau_{bat} = \frac{2.62 N}{6165mm^2}$$

$$\tau_{bat} = 4.25 \times 10^{-4} MPa$$

Aplicando el mismo análisis para los servo-motores, que son los elementos que resisten todo el peso del robot.

$$A = 34mm \times 40mm = 1360mm^2$$

$$W_{robot} = 3kg = 29.43N$$

$$\tau_{ser} = \frac{29.43 N}{1360mm^2}$$

$$\tau_{ser} = 21.64 \times 10^{-4} MPa$$

Como  $\tau_{perm} > \tau_{ser}$  y  $\tau_{perm} > \tau_{bat}$ , son elementos que sufren mayor esfuerzo cortante se concluye que el pegamento resiste para la sujeción del resto elementos del robot.

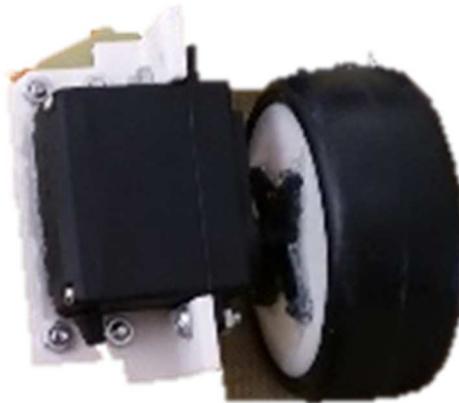
Una vez ya impreso el sujetador del servomotor se lo atornilla para su correcta sujeción tal como se muestra en la Figura 54.



**Figura 54. Sujeción de servomotor**

Fuente: Autor

El acople que viene en el kit del servo se lo acopla con una pega especial de 2500psi contra agua, tener en cuenta que este acople tiene que estar perfectamente centrado con la llanta para luego ser atornillado en el servo motor como se muestra en la Figura 55.



**Figura 55. Acople de la llanta maestro con el servomotor**

Fuente: Autor

En el panel esclavo la carcasa del servo motor es pegada al chasis en la posición correcta que se indica en planos de construcción Anexo C tal como se muestra en la Figura 56.



**Figura 56. Acople de la llanta esclavo con el servomotor**

Fuente: Autor

#### **4.5 Ensamblaje de mini servos con los discos limpiadores**

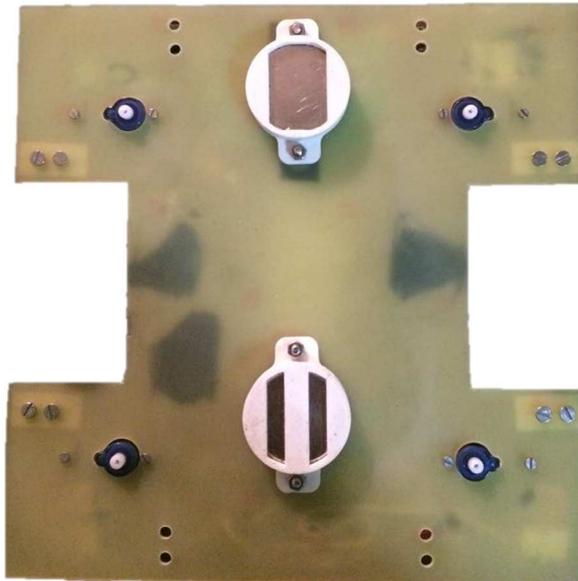
En los mini servos el primer paso es pegar el acople del mini servo en el disco limpiador de la misma forma que el ítem 4.4. Luego se pega en toda la superficie del disco limpiador velcro macho mostrado en la Figura 57.



**Figura 57. Acondicionamiento de discos limpiadores**

Fuente: Autor

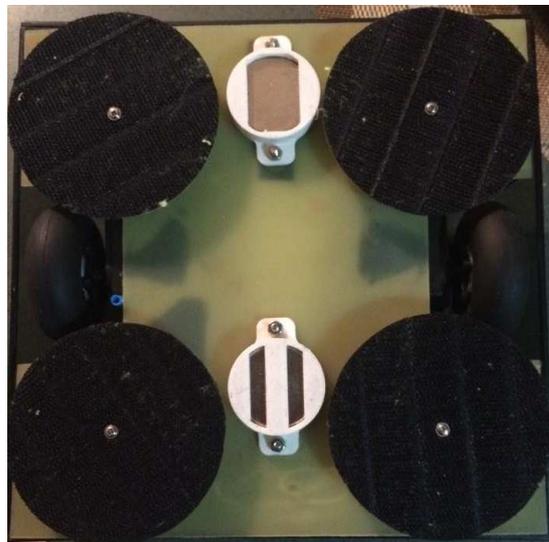
En el chasis se colocan los mini servos en los respectivos espacios y se sujetan al chasis con pernos y tuercas, tanto para el chasis de módulo maestro como para el módulo esclavo mostrado en la Figura 58.



**Figura 58. Posición de mini servos en chasis**

Fuente: Autor

Se debe colocar cada disco limpiador con su acople en el eje de movimiento de cada mini servo y ajustar con su respectivo perno tal como se muestra en la Figura 59.



**Figura 59. Ensamble de discos limpiadores con mini servos**

Fuente: Autor

#### 4.6 Conexión de los sensores

Como se está trabajando con la plataforma arduino existen unos cables ideales para la conexión entre los elementos o módulos de arduino, los cables son finos y flexibles multifilares, como se observa en la Figura 60.



**Figura 60. Cables de conexión**

Fuente: Autor

A continuación se muestra la Tabla 29 de datos técnicos del fabricante.

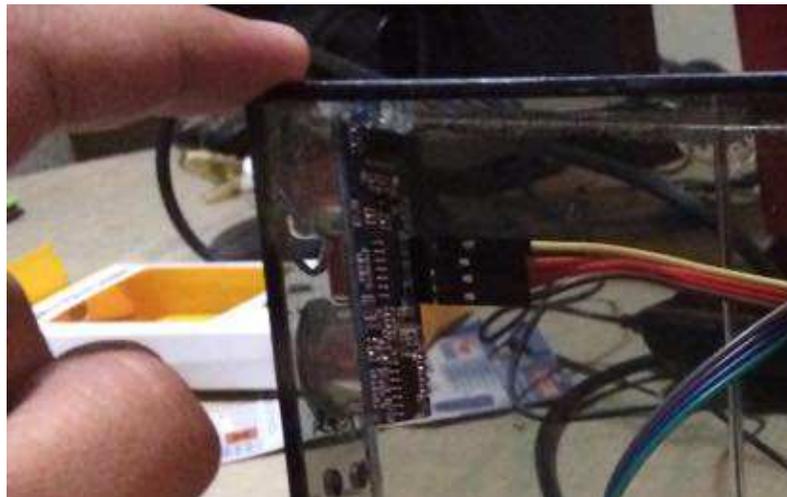
**Tabla 29**

#### Características de cables de conexión

<b>Longitud</b>	20 cm
<b>Disipación de energía</b>	80 mW
<b>Conector compatible</b>	2,54 mm
<b>Tipo de pines</b>	Hembra – Macho / 1p – 1p
	Hembra – Hembra / 1p – 1p
	Macho – Macho / 1p – 1p

Fuente: Autor

Los sensores se conectan con cables como se muestran en la Figura 61. Con el siguiente código de colores para el señalar que pin del sensor se trata.

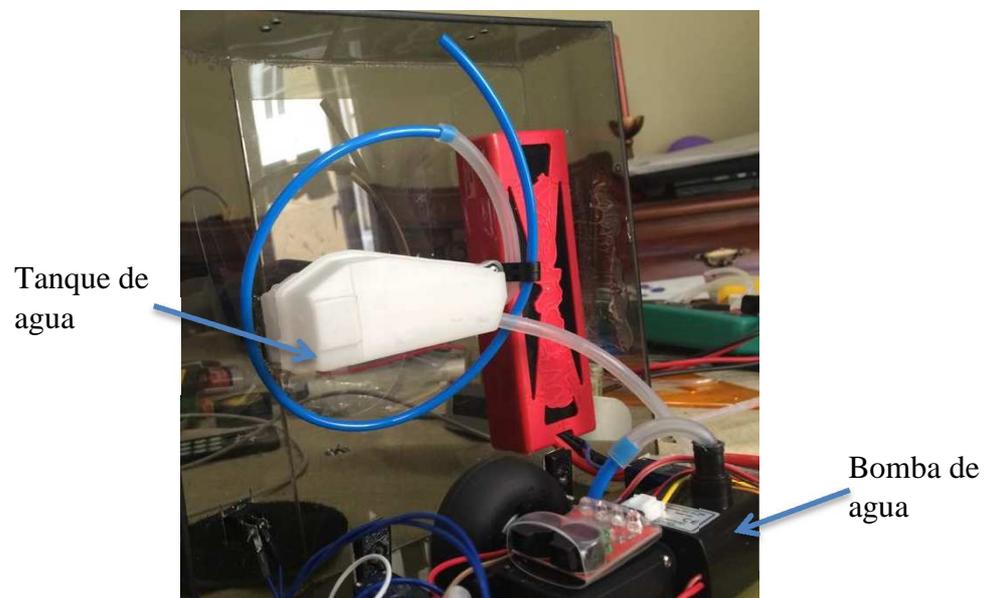


**Figura 61. Cables de conexión de sensor ultrasónico**

Fuente: Autor

#### **4.7 Ensamblaje la bomba de agua**

El tanque de agua se acopla con manguera de 4mm de diámetro para conexión del tanque con la bomba de agua tal como se muestra en la Figura 62. Luego se procede a ensamblar en la carcasa.

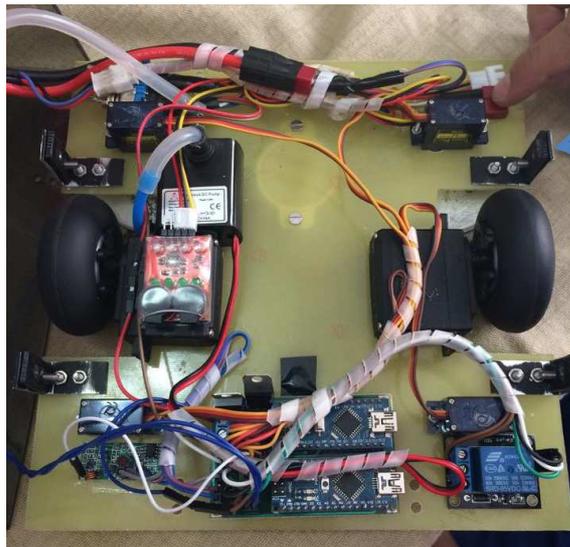


**Figura 62. Ensamble de tanque de agua con bomba**

Fuente: Autor

#### **4.8 Ensamblaje chasis y carcasa**

La unión del chasis con la carcasa se utiliza cuatro perfiles en L atornillados de acuerdo como se observa en los planos de construcción y se puede apreciar en la Figura 64.



Perfil en L  
para la  
sujeción de  
la carcasa.

**Figura 63. Ensamble de chasis con carcasa**

Fuente: Autor

#### **4.9 Conexión del sistema**

La conexión de todo el sistema se señala en el siguiente plano de conexiones que se diagrama en el software Isis de Proteus.

A continuación se muestra el esquema eléctrico-electrónico del panel maestro en la Figura 65.

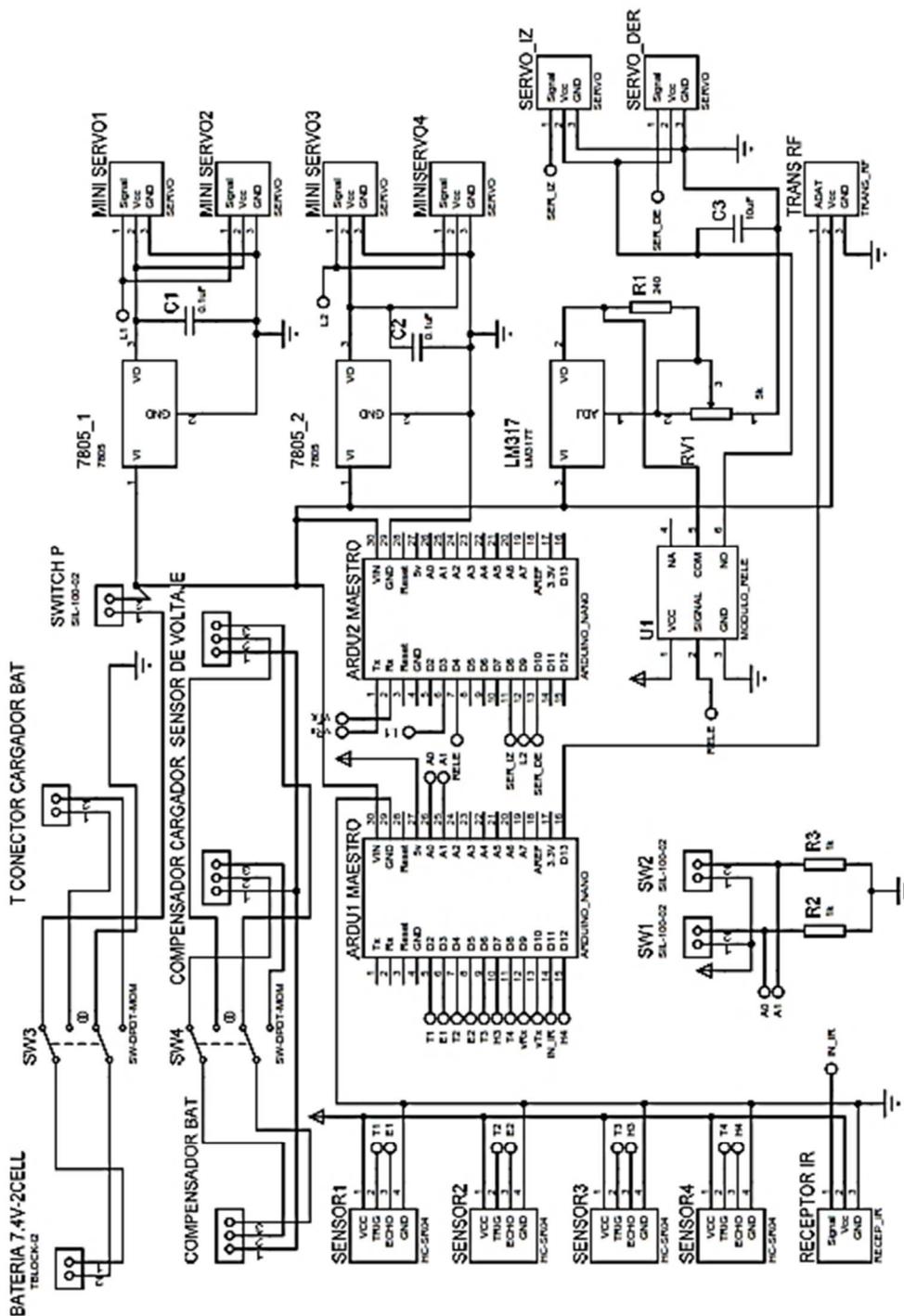


Figura 64. Diagrama de conexión eléctrico/electrónico del maestro

Fuente: Autor

En la Tabla 30 se describe los pines entrada/salida y su conexión.

**Tabla 30**

**Descripción de pines entrada/salida del esquema eléctrico panel maestro.**

<b>Pin Entrada/salida</b>	<b>Descripción</b>
<b>T1</b>	Señal terminal trigger del sensor ultrasónico 1.
<b>E1</b>	Señal terminal echo del sensor ultrasónico 1.
<b>T2</b>	Señal terminal trigger del sensor ultrasónico 2.
<b>E2</b>	Señal terminal echo del sensor ultrasónico 2.
<b>T3</b>	Señal terminal trigger del sensor ultrasónico 3.
<b>H3</b>	Señal terminal echo del sensor ultrasónico 3.
<b>T4</b>	Señal terminal trigger del sensor ultrasónico 4.
<b>H4</b>	Señal terminal echo del sensor ultrasónico 4.
<b>VRX</b>	Señal de transmisión serial pin rx.
<b>VTX</b>	Señal de transmisión serial pin tx.
<b>IN_IR</b>	Señal codificada del sensor infrarrojo.
<b>A0</b>	Señal de control del sensor fin de carrera1.
<b>A1</b>	Señal de control del sensor fin de carrera2.
<b>L1</b>	Control para funcionamiento de mini servos 1 y 3.
<b>L2</b>	Control para funcionamiento de mini servos 2 y 4.
<b>RELE</b>	Señal para activación de la bomba.
<b>SER_IZ</b>	Control para funcionamiento de servo izquierda.
<b>SER_DER</b>	Control para funcionamiento de servo derecha.

Fuente: Autor

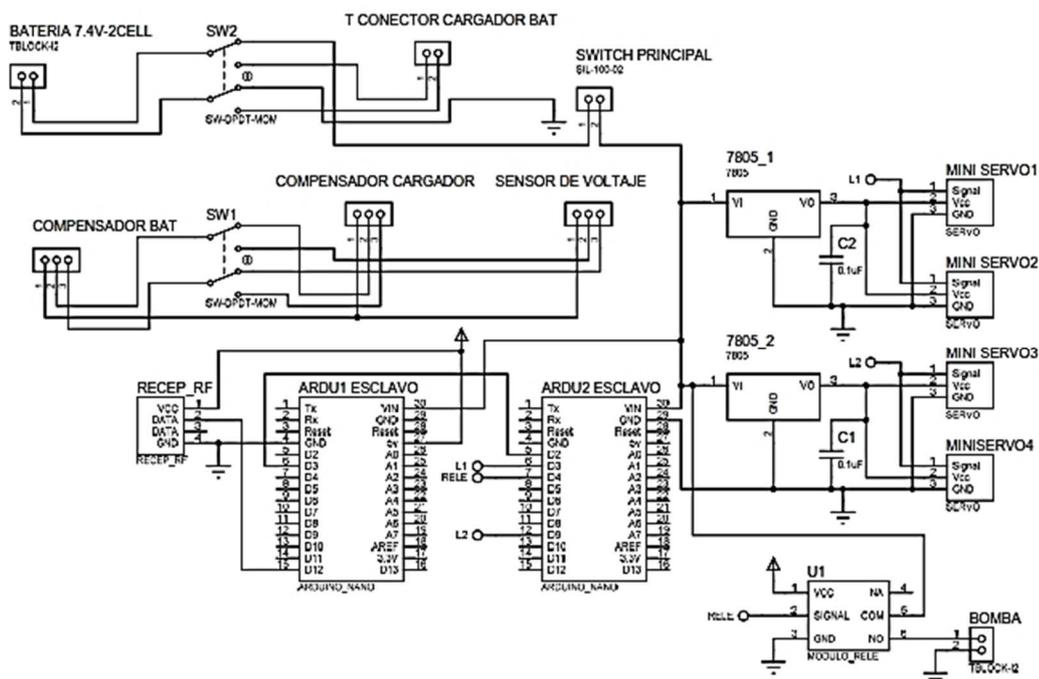


Figura 65. Diagrama de conexión eléctrico/electrónico del esclavo

Fuente: Autor

Tabla 31

Descripción de pines entrada/salida del esquema eléctrico panel esclavo.

Pin Entrada/salida	Descripción
L1	: Control para funcionamiento de servos 1 y 3.
L2	: Control para funcionamiento de servos 2 y 4.
RELE	: Señal para activación de la bomba

Fuente: Autor

#### 4.9.1 Diseño de la placa electrónica

En la construcción de este prototipo se opta por la construcción de una baquelita profesional de doble capa. Con el previo diseño en el programa ISIS de Proteus, se diseña en el programa ARES el ruteado de la baquelita.

Según la norma IPC2221 se calcula que el ancho de cada línea del ruteado que es de 25th. En la Figura 67 se muestra el ruteado de la placa electrónica del maestro, y en la Figura 68 se muestra la visualización 3d de la placa del maestro.

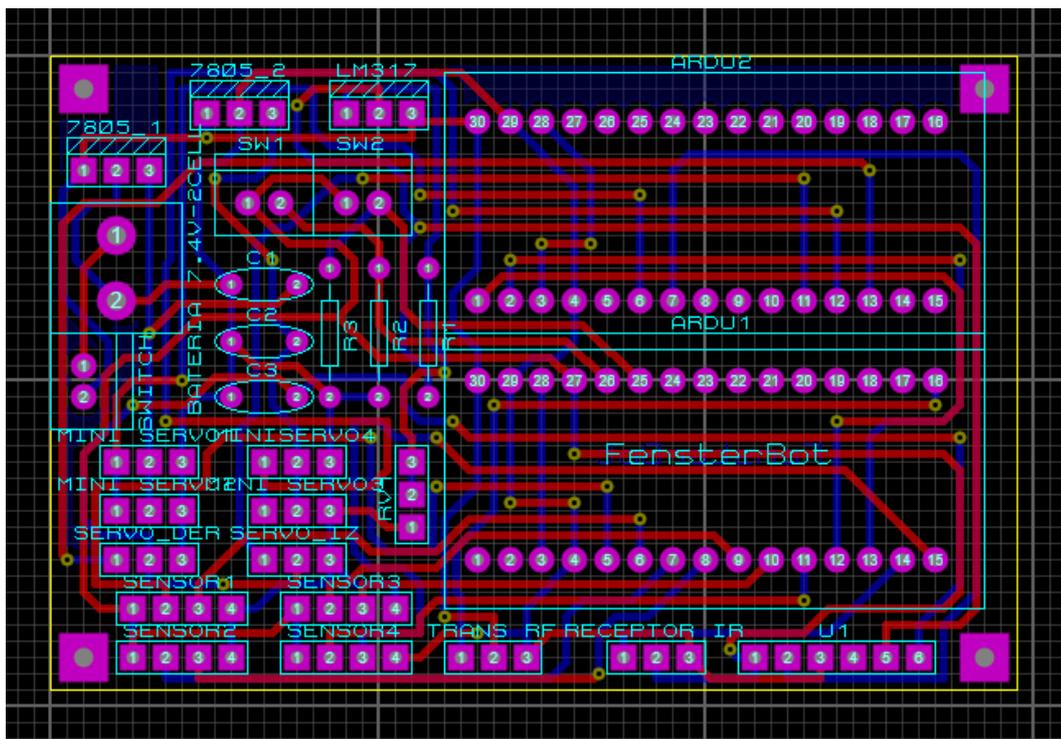


Figura 66. Diagrama de ruteado panel maestro

Fuente: Autor

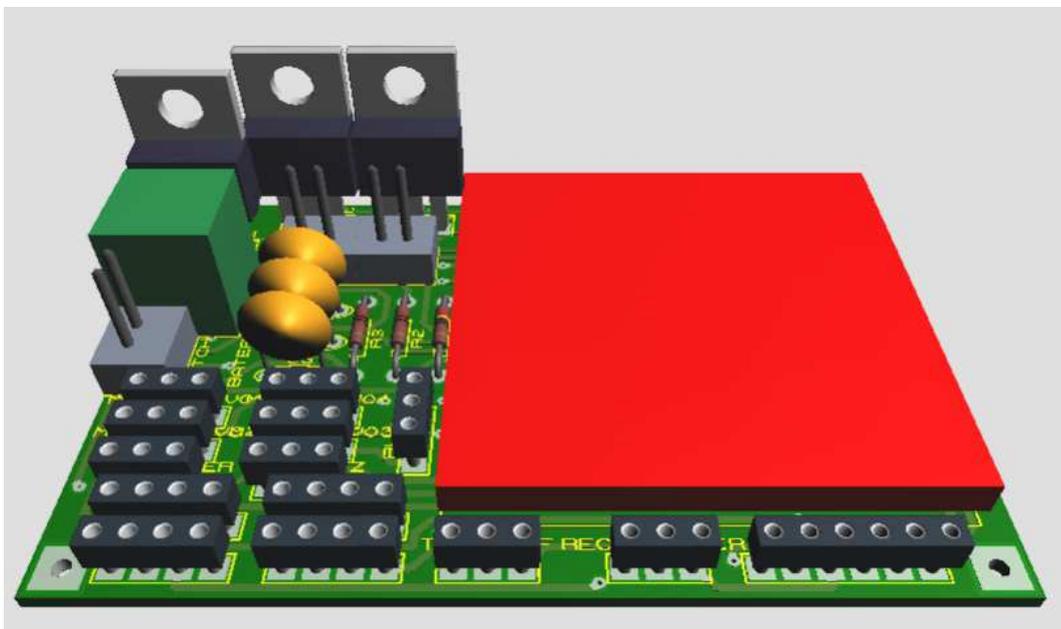
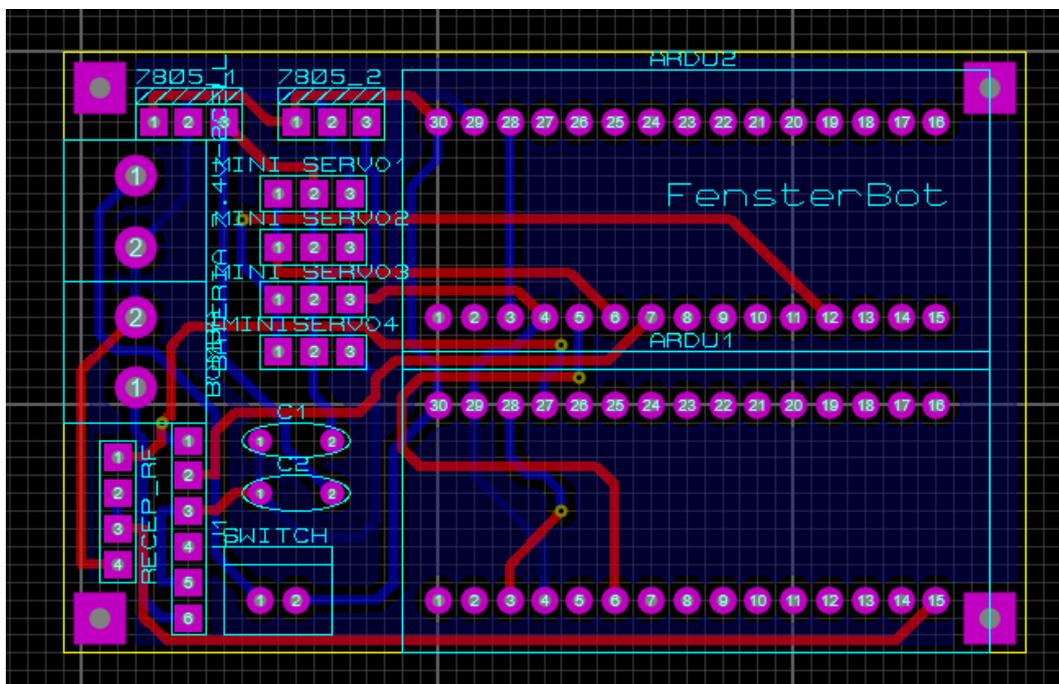


Figura 67. Visualización 3D del panel maestro

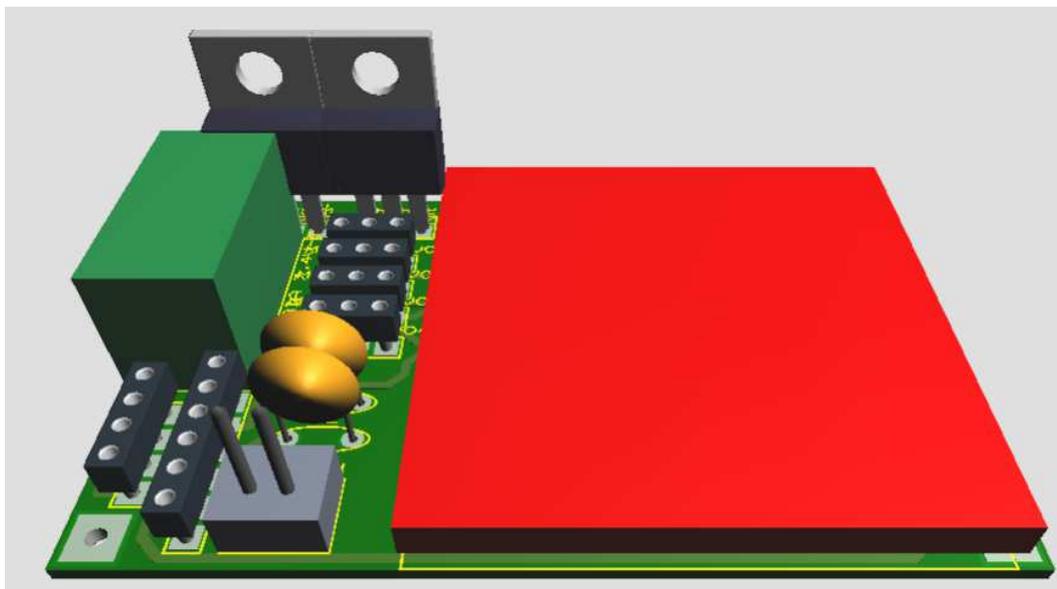
Fuente: Autor

En la Figura 69 se muestra el ruteado de la placa electrónica del esclavo, y en la Figura 70 se muestra la visualización 3d de la placa del esclavo.



**Figura 68. Diagrama de ruteado del panel esclavo**

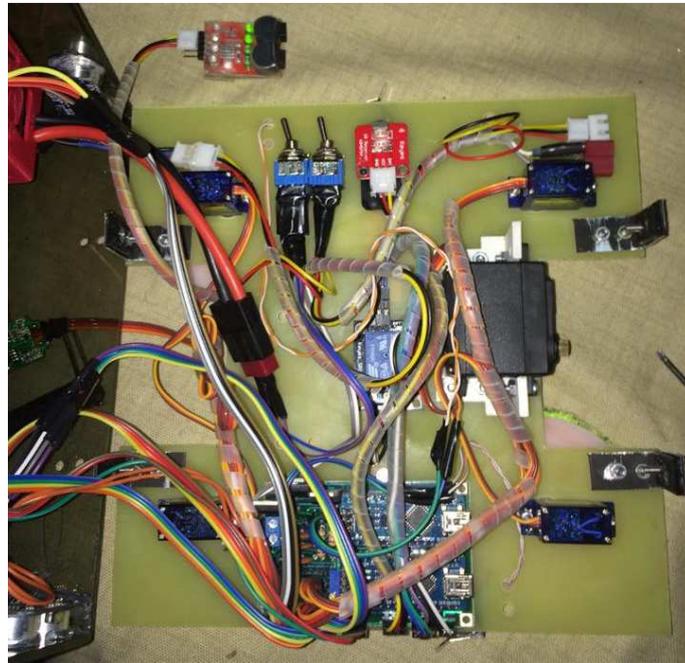
Fuente: Autor



**Figura 69. Visualización 3D del panel esclavo**

Fuente: Autor

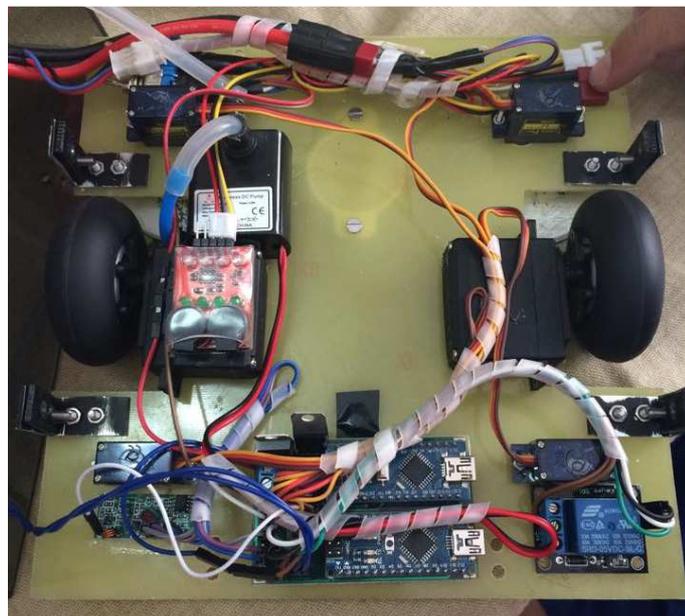
Continuando con el ensamblaje se observa la conexión completa del panel maestro tal como se muestra en la Figura 71.



**Figura 70. Conexión del sistema de modulo maestro**

Fuente: Autor

En la Figura 72 se muestra la conexión completa del panel esclavo.



**Figura 71. Conexión del sistema de modulo esclavo**

Fuente: Autor

#### 4.10 Pruebas

El protocolo de pruebas se ejecuta bajo tres pruebas analizando varios comportamientos del robot según cada prueba.

La primera prueba se efectúa para verificar el desplazamiento y sujeción del robot en 4 diferentes espesores de vidrio 3, 4, 6 y 7mm, en esta prueba se mide fuerza que hay entre los dos paneles, la velocidad de desplazamiento sobre la superficie y la calidad de limpieza.

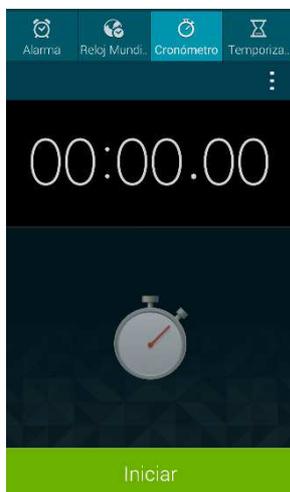
La segunda prueba se realiza para verificar la distancia que se puede usar el control remoto. Las distancias que se ponen a prueba son 2, 3, 10, 15 y 20m.

En la tercera prueba se mide la autonomía del robot, calificando el tiempo de duración de los elementos que se necesitan recargar para el funcionamiento del robot. Duración de carga de batería de panel maestro y esclavo. Duración del tanque de líquido para limpiar vidrio en los tiempos 40, 60, 90, 120, 150min.

##### 4.10.1 Instrumentos de comprobación

###### *Cronómetro Digital*

Mide el tiempo al desplazarse el robot en una distancia determinada.



Cronómetro digital 2 funciones:

LAP: Tiempo parcial

SPLIT: Tiempo acumulado

Apreciación de 1/100 segundos

**Figura 72: Cronómetro Digital**

Fuente: Autor

### *Flexómetro*

Mide la distancia en milímetros que se desplaza el robot, debe tomarse en cuenta el largo del robot que es 200x200 mm.



Apreciación: 1mm o 1/32 plg.

**Figura 73: Flexómetro**

Fuente: Autor

### *Balanza Digital*

Mide la fuerza que ejerce los imanes del módulo maestro hacia el módulo esclavo.

Capacidad: 50Kg / 110lb



Apreciación: 10 gramos

**Figura 74: Balanza digital**

Fuente: Autor

#### *4.10.2 Descripción del ensayo*

En la Tabla 32 se muestra la descripción de la primera prueba Desplazamiento y sujeción, y su procedimiento para cada ítem a calificar.

Tabla 32

**Procedimiento para prueba de desplazamiento y sujeción.**

<b>Prueba</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Procedimiento</b>
<b>Fuerza de sujeción</b>	Kg(kilogramo)	1.-Colocar el robot en posición de trabajo. 2.-Se amarra dos piolas a cada una de las llantas. 3.- Se acopla a la balanza digital. 4.- Se jala con la mano y se observa la fuerza que produce la separación de los dos paneles. 5.- Se repite el procedimiento 4 veces para sacar un promedio.
<b>Velocidad</b>	cm/s(centímetros sobre segundo)	1.- Medir la distancia horizontal del vidrio. 2.- Colocar el robot en posición horizontal (esta es la trayectoria de trabajo del robot). 3.- Con mando manual dar señal para que robot avance. 4.- Tomar el tiempo que se demora el robot en llegar al final de la ventana. 5.- Repetir el procedimiento 4 veces para sacar un promedio.
<b>Calidad de limpieza</b>	*Excelente: limpieza perfecta cristal queda transparente; *Bueno: Cristal en condiciones aceptables de transparencia; *Malo: No realizó limpieza el robot	1.- Se observa el vidrio en contraluz para observar de mejor manera

Fuente: Autor

En la Tabla 33 se muestra la descripción de la segunda prueba Distancia del control remoto, y su procedimiento para cada ítem a calificar.

Tabla 33

**Procedimiento para prueba distancia del control remoto.**

Prueba	Unidad de medida	Procedimiento
<b>Calificación</b>	*Excelente: La señal llega al primer intento; *Bueno: La señal llega haciendo 3 intentos; *Malo: No llega la señal al robot	1.-Colocar el robot en posición de trabajo. 2.- Apuntando directamente al sensor infrarrojo (IR) del robot. 3.-Presional el control remoto para dar una orden al robot a una distancia de 2, 3, 10, 15 y 20m. 4.- Repetir la prueba dos tres veces para cada distancia.

Fuente: Autor

En la Tabla 34 se muestra la descripción de la segunda prueba Distancia del control remoto, y su procedimiento para cada ítem a calificar.

Tabla 34

**Procedimiento para prueba autonomía del robot.**

Prueba	Unidad de medida	Procedimiento
<b>Eléctrica del maestro</b>	*Excelente: Sin problemas de corriente de batería. *Malo: Recarga de la batería	1.-Colocar el robot en posición de trabajo. 2.- Hacer que el robot este trabajando por un tiempo continuo de 40, 60, 90, 120, 150min.
<b>Eléctrica del maestro</b>	*Excelente: Sin problemas de corriente de batería. *Malo: Recarga de la batería	1.-Colocar el robot en posición de trabajo. 2.- Hacer que el robot este trabajando por un tiempo continuo de 40, 60, 90, 120, 150min.
<b>Líquido limpia vidrios</b>	*Excelente: No necesita Recarga de líquido limpia vidrios; *Malo: Recarga de líquido limpia vidrios	1.-Colocar el robot en posición de trabajo. 2.- Hacer que el robot este trabajando por un tiempo continuo de 40, 60, 90, 120, 150min.

Fuente: Autor

#### 4.10.3 Resultado de pruebas

Los resultados de las pruebas se muestran en el Anexo C.

#### 4.10.4 Análisis de resultados

Tomando como base los resultados obtenidos y las observaciones de cada parámetro que se toma en cuenta para realizar las hojas de datos se concluye que:

El prototipo tiene dificultad para desplazarse verticalmente hacia arriba a causa de que la gravedad realiza el mayor esfuerzo que deben soportar los motores para el ascenso. Una vez que se encuentra en posición horizontal la velocidad del prototipo aumenta.

En la etapa de calificación de desplazamiento y sujeción:

- Es relativamente proporcional a mayor distancia de separación de los módulos (espesor de cristal) mayor es la velocidad de funcionamiento del robot, ya que la fuerza de atracción entre los imanes de neodimio disminuye y el momento que deben ejercer las llantas para desplazarse es menor.
- Al tener una velocidad de limpieza relativamente alta la calidad de la limpieza del cristal es baja, ya que la fricción que ejerce los paños de microfibra con el líquido limpiador sobre la superficie del vidrio no es suficiente para una limpieza excelente de calidad, requeriría de más de una vez el servicio de limpieza con el robot en el mismo cristal.
- La fuerza de sujeción que debe tener entre los módulos para poder operar en un cristal es el parámetro más relevante para su buen funcionamiento, en el ensayo de pruebas del robot limpiador se pudo obtener los resultados para diferentes espesores de cristal, para los espesores de 3mm hasta los 5mm la fuerza de sujeción es excelente, pero para los espesores a partir de 6mm la fuerza de sujeción es buena pero no suficiente para poder desplazarse verticalmente y en 7mm ya la fuerza de sujeción es mala y los módulos no pueden estar en una posición estática en el cristal porque la fuerza de sujeción no es suficiente para la atracción de módulos.

En la etapa de mando inalámbrico:

- El modulo receptor infrarrojo para el control remoto tiene un alcance de 18m. pero como para la aplicación de mando inalámbrico al robot limpiador se lo va a realizar en interior del lugar existen objetos que pueden delimitar el alcance del mando inalámbrico, en las pruebas se pudo obtener un buen funcionamiento del control remoto a una distancia de 10 metros apuntando con dirección al receptor de señal del robot.

En la etapa de autonomía del robot

- Se obtiene un excelente rendimiento del robot limpiador hasta los 120 minutos, pasado este tiempo el robot limpiador no rinde al 100 por ciento por lo que comienza a bajar su potencia de trabajo y los servomotores al no tener la alimentación de energía necesaria no ejercen el torque requerido para que se desplace correctamente el módulo maestro y el módulo esclavo.

#### **4.11 Analisis de costos**

La empresa FOS Ecuador S.A. auspiciante del proyecto de tesis: diseño y construcción de un prototipo de robot limpiador de vidrios, autónomo con mando inalámbrico. No requiere de un análisis de mercado ni de un análisis financiero únicamente un costo del proyecto en general, tomando en cuenta costos directos, costos indirectos.

##### *4.11.1 Costos directos*

Los costos directos son los gastos de materiales, elementos electrónicos y piezas de ensamblaje del robot. Mostrado en la Tabla 36.

**Tabla 35**  
**Costos Directos**

Nº	ITEM	CANTIDAD	PRECIO C/U	SUB TOTAL
1	Llantas caucho	2	12	24
2	Llantas goma espuma	2	10	20
3	Mini servo	8	11	88
4	Servo 15kg.cm	2	17	34
5	Arduino nano	4	19	76
6	Fabricación baquelita profesional	2	60	120
7	Porta servo	2	5	10
8	Porta imán	4	5	20
9	Imán neodimio	4	35	140
10	Placa fibra de vidrio	5	2	10
11	Carcaza	2	40	80
12	Discos limpiadores	8	3	24
13	Almohadillas limpiadoras	8	0.5	4
14	Sensor ultrasónico	4	11	44
15	Modulo IR	1	8	8
16	Modulo RF Tras/reciver	1	5	5
17	Modulo relé	2	6	12
18	Baterías Li-po 4000mAh 20C	2	70	140
19	Bomba de agua	1	5	5
20	Tanque de agua	1	30	30
21	Mangueras agua 4mm	1	2	2
22	Placa sujeción	16	2	32
23	Cables para conexión	1	6	6
<b>TOTAL(\$)</b>				<b>934</b>

Fuente: Autor

#### 4.11.3 Costos indirectos

Los costos indirectos son los gastos que genera la investigación y revisión del proyecto. Mostrados en la Tabla 36.

**Tabla 36****Costos Indirectos**

<b>Horas Estudiantes</b>		
<b>N°</b>	<b>Costo</b>	<b>Total</b>
<b>300</b>	<b>6</b>	<b>1800</b>
<b>Horas Director</b>		
<b>N°</b>	<b>Costo</b>	<b>Total</b>
<b>4</b>	<b>25</b>	<b>100</b>
<b>Horas codirector</b>		
<b>N°</b>	<b>Costo</b>	<b>Total</b>
<b>4</b>	<b>25</b>	<b>100</b>
<b>Total(\$)</b>		<b>2000</b>

Fuente: Autor

Los costos totales son los gastos acumulados de los costos directos y los costos indirectos. Mostrados en la Tabla 37.

**Tabla 37****Costos Total de Proyecto**

<b>Costos directos</b>	<b>934</b>
<b>Costos indirectos</b>	<b>2000</b>
<b>Total(\$)</b>	<b>2934</b>

Fuente: Autor

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- La fuerza que generan los imanes está estrictamente relacionada con la distancia entre los dos imanes tal como se observa en la ecuación (3.3.13), la pérdida en el campo magnético que genera el vidrio es mínima por ello se la hace despreciable.
- El movimiento del robot depende de la fuerza de rozamiento entre la llanta de goma del panel maestro y el cristal, por ello es importante limpiar las llantas antes de usar el robot.
- Al ser un prototipo de robot, el diseño preliminar tiene varios puntos que se pueden mejorar, como: sujeción de elementos electrónicos al chasis, posición de switch de encendido y control de carga.
- El pegamento epóxido ofrece un excelente rendimiento con factor de seguridad alto para sujetar los elementos de manera permanente.
- La cantidad de agua debe ser mínima para alcanzar el máximo rendimiento en cuando a calidad de limpieza y durabilidad de la batería.
- Es relativamente proporcional a mayor distancia de separación de los módulos (espesor de cristal) mayor es la velocidad de funcionamiento del robot, ya que la fuerza de atracción entre los imanes de neodimio disminuye y el momento que deben ejercer las llantas para desplazarse es menor.
- Al tener una velocidad de limpieza relativamente alta la calidad de la limpieza del cristal es baja, ya que la fricción que ejerce los paños de microfibra con el líquido limpiador sobre la superficie del vidrio no es suficiente para una limpieza excelente de calidad, requeriría de más de una vez el servicio de limpieza con el robot en el mismo cristal.
- La fuerza de sujeción que debe tener entre los módulos para poder operar en un cristal es el parámetro más relevante para su buen funcionamiento, en el ensayo de pruebas del robot limpiador se pudo obtener los resultados para

diferentes espesores de cristal, para los espesores de 3mm hasta los 5mm la fuerza de sujeción es excelente, pero para los espesores a partir de 6mm la fuerza de sujeción es buena pero no suficiente para poder desplazarse verticalmente y en 7mm ya la fuerza de sujeción es mala y los módulos no pueden estar en una posición estática en el cristal porque la fuerza de sujeción no es suficiente para la atracción de módulos.

- El modulo receptor infrarrojo para el control remoto tiene un alcance de 18m., Sin embargo, como la aplicación de mando inalámbrico al robot limpiador se lo realiza en el interior del lugar y existen objetos que pueden delimitar el alcance del mando inalámbrico, en las pruebas se pudo obtener un buen funcionamiento del control remoto a una distancia de 10 metros apuntando con dirección al receptor de señal del robot.
- Se obtiene un excelente rendimiento del robot limpiador hasta los 120 minutos, pasado este tiempo el robot limpiador no rinde al 100 por ciento por lo que comienza a bajar su potencia de trabajo y los servomotores al no tener la alimentación de energía necesaria no ejercen el torque requerido para que se desplace correctamente el módulo maestro y el módulo esclavo.

## **5.2 Recomendaciones**

- Realizar la estructura de la carcasa de una forma ergonómica mejora el aspecto visual, el peso del robot aunque encárese el producto por ser un prototipo.
- Al construir el robot se recomienda usar maquinaria de precisión para que todos los elementos estén en el lugar exacto.
- Una de las principales observaciones es que para que el robot tenga un desempeño constante a diferentes espesores de vidrio se debe implementar un mecanismo que permita modificar la distancia entre imanes.
- Para lograr un mejor desempeño del robot se sugiere la implementación de motores que tengan control de torque por ejemplo (motor cds5516), que posee un control del motor vía comunicación serial.

- Realizar una placa electrónica profesional que contenga todos los elementos para optimizar espacio y haciendo más liviano el robot.
- Unificar la carcasa con el tanque de agua para que sea posible la utilización de una bomba sumergible evitando de esta forma fugas de líquidos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albacete, E. P. (2008). *Robotica*. Obtenido de <http://www.info-ab.uclm.es/labeledec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm>
- Albacete, E. P. (2014). *Escuela Politecnica Superior de Albacete*. Obtenido de El Servomotor: [www.info-ab.uclm.es/labeledec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm](http://www.info-ab.uclm.es/labeledec/solar/electronica/elementos/servomotor.htm)
- Anderson, M., & Anderson, S. (2011). *Machine Ethics*. Londres, España: Cambridge University Press.
- Arduino. (2015). *Arduino*. Obtenido de <http://arduino.cc/en/Main/Software>
- Arduino S.A. (2010). *Arduino*. Obtenido de <http://www.arduino.cc/en/pmwiki.php?n=>
- ATMEL Corporation. (2015). *ATMEL*. Obtenido de <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>
- ATOMIKRCMX. (2012). *MercadoLibre.mx*. Obtenido de [http://mco-s2-p.mlstatic.com/nueva-bateria-venom-lipo-74v-20c-4000mah-hard-case-16787-MCO20126837315\\_072014-O.jpg](http://mco-s2-p.mlstatic.com/nueva-bateria-venom-lipo-74v-20c-4000mah-hard-case-16787-MCO20126837315_072014-O.jpg)
- Dassault Systemes. (2011). *SOLIDWORKS*. Obtenido de [http://www.solidworks.com/sw/docs/Instructor\\_WB\\_2011\\_ESP.pdf](http://www.solidworks.com/sw/docs/Instructor_WB_2011_ESP.pdf)
- DE LA FUENTE, M. J. (2000). *Universidad de Valladolid - Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática*. Recuperado el 01 de 06 de 2014, de <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>
- DRK. (2012). *Control remoto inflarrojo*. Obtenido de [blog.drk.com.ar](http://blog.drk.com.ar)
- FU, K. S., C., G. R., & G., L. C. (s.f.). *ROBOTICA: Control, detección, visión e inteligencia*. McGraw - Hill.
- Giménez, A. (2000). *Universidad Carlos III de Madrid e-Archivo*. Recuperado el 28 de Agosto de 2014, de Tesis Doctoral: [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11711/gimenez\\_tesis\\_2000.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/11711/gimenez_tesis_2000.pdf?sequence=1)
- GRAM, F. R. (20 de Febrero de 2012). *Cuyahoga Community College*. Obtenido de <http://web.archive.org/web/20120220030524/http://instruct.tri-c.edu/fgram/web/Mdipole.htm>
- Gresh, P. (2001). *Introducción a la ingeniería. Un enfoque a través del diseño*. Hall.

- Guillén, D., Tello, D., & Galan, B. (2010). *Repositorio Digital - UPS*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29/7/Capitulo1.pdf>
- Hobby Store. (2012). *Hobby Store*. Obtenido de <http://www.hobbyecuador.com/>
- Iberobotics, S.L. (2013). *Iberobotics*. Obtenido de [http://www.iberobotics.com/shop/product\\_info.php?products\\_id=308](http://www.iberobotics.com/shop/product_info.php?products_id=308)
- K&J Magnetics, Inc. (2014). *K&J Magnetics*. Obtenido de <http://www.kjmagnetics.com/calculator.asp>
- Kushner, D. (26 de Octubre de 2011). *The Making of Arduino*. Obtenido de <http://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino>
- Magnet Sales & Manufacturing Company, Inc. (2000). *Total Magnetic SolutionsTM*. Obtenido de [http://www.magnetsales.com/design/calc\\_filles/pullandpushbetween2discmagnets.asp](http://www.magnetsales.com/design/calc_filles/pullandpushbetween2discmagnets.asp)
- Open Source Alternative*. (2012). Obtenido de <http://www.opensourcealternative.org/>
- RC Eléctrico. (2014). *RC Eléctrico*. Obtenido de <http://www.rcelectrico.es/manuales/capitulo-2-eleccion-de-neumaticos-de-goma-o-espuma>
- Reyes, F. (2011). *Robótica: Control de robots manipuladores*. S.A. MARCOMBO.
- Ruta15. (27 de Septiembre de 2012). *Ruta15*. Obtenido de <http://ruta15.com/index.php/replicator2/>
- VALDÉS, F. y. (2007). *Microcontroladores: Fundamentos y Aplicaciones con PIC* (3ra. ed.). Cataluña - España: Marcombo.
- Zabala, G. (2007). *Robotica: Guía teorica y Práctica*. Gradi S. A.