

CLEANBOT “ROBOT LIMPIADOR DE SUPERFICIES VERTICALES”

CÓDIGO DE PROYECTO: PG-15-2-38



DAVID FERNANDO GOMEZ RODRIGUEZ

CÓDIGO: 1211237

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1018479203

JUAN SEBASTIAN JIMENEZ RAMIREZ

CÓDIGO: 1111446

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1032463528

SAHIR SIERRA DUEÑAS

CÓDIGO: 1010821

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1015432818

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ, D.C.

2017

CLEANBOT “ROBOT LIMPIADOR DE SUPERFICIES VERTICALES”

DAVID FERNANDO GOMEZ RODRIGUEZ

CÓDIGO: 1211237

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1018479203

JUAN SEBASTIAN JIMENEZ RAMIREZ

CÓDIGO: 1111446

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1032463528

SAHIR SIERRA DUEÑAS

CÓDIGO: 1010821

IDENTIFICACIÓN: C.C. 1015432818

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO DE LA
UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA**

DIRECTOR:

M.SC. Néstor Fernando Penagos Quintero

M.Sc en Diseño y gestión de proyectos tecnológicos

Ing. en Electrónica

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

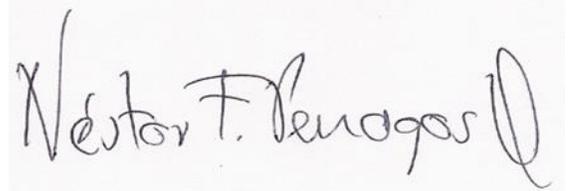
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

BOGOTÁ, D.C.

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Una vez realizada la revisión metodológica y técnica del documento final de proyecto de grado, doy constancia de que el (los) estudiante (s) ha cumplido a cabalidad con los objetivos propuestos, cumple a cabalidad con los Lineamientos de Opción de Grado vigentes del programa de Ingeniería Mecatrónica y con las leyes de derechos de autor de la República de Colombia, por tanto, se encuentra(n) preparado(s) para la defensa del mismo ante un jurado evaluador que considere idóneo el Comité de Investigaciones del Programa de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Piloto de Colombia.



M.SC. Néstor Fernando Penagos Quintero

Director del Proyecto

DEDICATORIA

Le dedico este logro a mis padres Guertty y Fernando que han sido el pilar fundamental en todos mis logros, a mi hermana Angie que ha sido una persona incondicional que ha estado en todos los momentos, a mi sobrina Amy para que vea un ejemplo de persona, y mi familia que han sido un apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.

David Fernando Gómez Rodríguez

Este proyecto de grado y la culminación de mi carrera se la dedico a mi padre Juan Pablo Jiménez por la perseverancia que me ha enseñado, a mi madre Ana Carolina Ramírez por ser un ejemplo de fortaleza y por darme perspectiva para la vida y a mi hermana Ana Daniela Jiménez por su apoyo incondicional.

Juan Sebastian Jiménez Ramírez

Este proyecto y triunfo personal se lo dedico a mi madre Edna Dueñas, mi padre Omar Sierra por el gran esfuerzo y dedicación, que me brindaron para lograr esta meta hecha realidad.

A mi tía Juli Marcela Sierra y mi tío Edgar Sierra por todos los empujones y regaños, para realizar las actividades de la mejor manera posible y siempre dando más de uno mismo.

A mi hermano Yarid Sierra, que todo lo que uno se proponga con o sin obstáculos se puede realizar si uno trabajada duro y firme.

Sahir Sierra Dueñas

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la Universidad Piloto de Colombia junto con la Facultad de Ingeniería en especial el programa Mecatrónica por ayudarnos en crecer en este ámbito de conocimiento, dándonos apoyo en cada avance del proyecto y mostrándonos que aquí no termina esta etapa de crecimiento.

Nuestro asesor del proyecto de grado el Ingeniero Néstor Fernando Penagos Quintero, por estar pendiente durante todo el desarrollo del proyecto, y motivarnos a hacer un proyecto innovador, funcional y futurista para la sociedad.

Los demás profesores de la carrera por nuestro crecimiento personal y profesional en toda esta etapa que se ha culminado.

A nuestros compañeros por estar siempre apoyándonos en los diferentes momentos y situaciones que han ocurrido a lo largo de este tiempo, tanto académicamente como personalmente.

Y por último y más importante a nuestras familias por el apoyo incondicional en esta larga y dura etapa, que gracias a su comprensión, ayuda y dedicación nos impulsan hacer este sueño realidad.

Gracias por todo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
NOTA DE ACEPTACIÓN	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTOS	5
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE ANEXOS.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	12
1. GENERALIDADES.....	13
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1 <i>Antecedentes del problema</i>	13
1.1.2 <i>Descripción del problema</i>	13
1.1.3 <i>Línea de investigación del programa</i>	13
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	14
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	14
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	14
1.4 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO	15
1.4.1 <i>Alcances y limitaciones</i>	15
1.5 MARCO REFERENCIAL.....	15
1.5.1 <i>Estado del arte</i>	15
1.5.2 <i>Marco normativo</i>	17
1.6 MARCO METODOLÓGICO	18
2. DISEÑO Y ANALISIS MECANICO	19
2.1 SISTEMA DE AGARRE	19
2.1.1 <i>Selección del mecanismo de agarre</i>	19
2.1.2 <i>Selección de la bomba de vacío</i>	22
2.1.3 <i>Selección de las ventosas</i>	22
2.2 SISTEMA DE MOVIMIENTO.....	27
2.2.1 <i>Selección del mecanismo de movimiento</i>	27
2.2.2 <i>Selección de motores</i>	30
2.2.3 <i>Análisis del mecanismo de movimiento</i>	31
2.3 SISTEMA DE LIMPIEZA	36
2.3.1 <i>Selección del mecanismo de limpieza</i>	36
2.3.2 <i>Análisis de los elementos de limpieza</i>	38
2.3.3 <i>Selección y construcción del tanque de almacenamiento</i>	42
2.3.4 <i>Selección de la bomba de agua</i>	43
2.4 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	47
2.4.1 <i>Selección del material de la estructura</i>	47
2.4.2 <i>Diseño estructural</i>	48
3. DISEÑO Y ANALISIS ELECTRONICO	52
3.1 SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELECTRONICOS.....	53
3.1.1 <i>Control de desplazamiento</i>	53
3.1.2 <i>Sensores de proximidad</i>	56
3.1.3 <i>Sistema de mando</i>	58

3.2	DISEÑO DE LA TARJETA DE CONTROL.....	59
3.2.1	<i>Etapa de potencia</i>	59
3.2.2	<i>Diagramas de flujo</i>	62
3.3	FUENTE DE PODER.....	63
3.3.1	<i>Análisis energético de la batería</i>	63
3.3.2	<i>Selección de la batería</i>	64
3.3.3	<i>Supervisión de baterías</i>	65
4.	RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	68
4.1	PRUEBAS MECÁNICAS.....	68
4.2	PRUEBAS ELECTRÓNICAS.....	69
4.3	PRUEBAS DE ACOPLÉ.....	70
4.4	CORRECCIONES.....	70
4.5	PRUEBAS FINALES.....	73
5.	CONCLUSIONES	74
6.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	75
6.1	RECOMENDACIONES.....	75
6.2	TRABAJOS FUTUROS.....	75
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
	ANEXOS	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. Métodos de agarre.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 2. Selección del método de agarre.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 3. Selección mecanismo de agarre.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 4. Características de las ventosas según el material.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 5. Datos de sistemas de movimiento.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 6. Selección del sistema de movimiento.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 7. Selección de paso diametral para el piñón del sistema de movimiento.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 8. Características técnicas sistemas de limpieza.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 9. Selección de método de limpieza.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 10. Selección de paso diametral para el piñón del disco.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 11. Evaluación y selección del material del prototipo.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 12. Tabla comparativa de robot limpiacristales.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 13. Selección diseño estructural.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 14. Cuadro comparativo encoder.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 15. Selección del sensor de posición.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 16. Cuadro comparativo sensores infrarrojos.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 17. Selección del sensor de proximidad.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 18. Tabla comparativa microprocesadores.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 19. Selección del microprocesador.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 20. Comparación de tipos de baterías.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 21. Cuadro comparativo de pesos de tarjetas.....</i>	<i>66</i>

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Robot limpiador de ventana, prototipo 1 y 2.....	15
FIGURA 2. Robot Gecko Comercial.....	16
FIGURA 3. WashBot Prototipo	17
FIGURA 4. Diseño del mecanismo preliminar 1 y 2.	21
FIGURA 5. Bombas de vacío	22
FIGURA 6. Complementos mecánicos del mecanismo de agarre.	27
FIGURA 7. Sistema por llantas	27
FIGURA 8. Aplicación del cilindro de doble efecto en un robot escalador	28
FIGURA 9. Funcionamiento sistema piñón – cremallera.....	28
FIGURA 10. Motor seleccionado para el sistema de movimiento.....	31
FIGURA 11. Diseño del piñón, eje motor-encoder prototipo y final	35
FIGURA 12. Disco limpiador diseñado a medida.....	37
FIGURA 13. Tanque de almacenamiento del líquido limpiavidrios	43
FIGURA 14. Esquema del sistema de limpieza	44
FIGURA 15. Mini-bomba de agua RS-360SH.....	46
FIGURA 16. Diseño estructural preliminar 1, 2 y 3.....	49
FIGURA 17. Diseño final del prototipo en su totalidad	50
FIGURA 18. Mapa mental del circuito.....	52
FIGURA 19. Sensor encoder rotatorio KY-040.....	55
FIGURA 20. Distribución de pines y pulsos del sensor seleccionado	55
FIGURA 21. Sensor CNY70.....	57
FIGURA 22. Simulación de etapa de potencia bombas de vacío.....	60
FIGURA 23. Diagrama de flujo general	62
FIGURA 26. Relé "SRD-5VDC-SL-C".....	65
FIGURA 27. Esquemático general del circuito.....	66
FIGURA 28. Pruebas de agarre prototipo – ventana.....	68
FIGURA 29. Pruebas de movimiento motor – piñón y cremallera.....	69
FIGURA 30. Pruebas de encoder detección de pulsos	69
FIGURA 31. Pruebas de acople vista delantera y trasera.....	70
FIGURA 32. Soporte de las cremalleras – base principal	71
FIGURA 33. Soporte de los motores	71
FIGURA 34. Cuadros correctores de detección de sensores CNY70	72
FIGURA 35. Microfibras implementadas en el prototipo	72
FIGURA 36. Prototipo final.....	73

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. QFD DEL PROTOTIPO	Error! Bookmark not defined.	79
ANEXO B. PLANOS MECANICOS		81
ANEXO C. PLANOS ELECTRONICOS.....		95
ANEXO D. DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL.....		99
ANEXO E. COSTOS		105
ANEXO F. MANUAL DEL USUARIO.....		107

INTRODUCCIÓN

Este proyecto consta de un prototipo de un robot, capaz de ejecutar la limpieza de superficies vidriosas (Ventanas), en edificios de gran altura, esto con el fin de ser una solución viable para la limpieza de los edificios, sin poner en riesgo a los trabajadores o personas que realizan esta tarea.

El prototipo está compuesto por un diseño mecánico y uno electrónico los cuales se detallaran a continuación. Primero el diseño mecánico está estructurado para el agarre en superficies de vidrio, además de tener un sistema de limpieza el cual esta premeditado para tener una limpieza efectiva sobre esta superficie, y se complementa con el sistema de movimiento que tiene unas fibras para terminar de limpiar.

Segundo el diseño electrónico está en la capacidad de establecer distintas órdenes que el robot debe realizar, además de definir su trayectoria, inspeccionar la carga de cada una de las baterías y demás tareas que son necesarias para el funcionamiento del mismo.

El proyecto se realizó en las instalaciones de la Universidad Piloto de Colombia.

RESUMEN

El presente proyecto de grado tiene como objetivo la realización de un prototipo de robot limpiavidrios, el cual tiene autonomía para realizar la limpieza de ventanas de edificios de gran altura. El robot consta de un sistema de agarre compuesto por ventosas y bombas de vacío, que mantiene al prototipo de forma vertical mientras ejecuta la limpieza. También incluye un sistema de limpieza conformado por un disco limpiador cubierto con una microfibra y una bomba de agua que le inyecta líquido limpiavidrios en un determinado período de tiempo.

El prototipo posee un sistema de detección de bordes, conformado por sensores de proximidad los cuales no permiten que el robot choque contra un borde o se salga de la superficie a un espacio vacío. Por otro lado, los sensores de posición conectados a los motores, controlan la distancia en que se desplazan las extremidades del robot de una manera precisa y sin riesgos a que el sistema de movimiento se desfase de una rutina programada.

ABSTRACT

The present project of degree aims the realization of a prototype of a robot that cleans windows, which has autonomy to realize the cleaning of windows of high-rise buildings. The robot consists of a grip system integrated by suction cups and vacuum pumps, which keeps the prototype in a vertical form while cleaning. It also includes a cleaning system consisting of a cleaning disc covered with a microfiber and a water pump that injects a glass cleaner liquid in a certain period of time.

The prototype has an edge detection system, made up of proximity sensors which don't allow the robot to collide with a border or leave the surface towards an empty space. On the other hand, the position sensors connected to the motors, control the distance in which the extremities of the robot move in a precise way and without risks of the movement system being displaced from a programmed routine.

1. GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Antecedentes del problema

En las ciudades capitales de Colombia, y en especial Bogotá, en los últimos años la construcción de edificios de grandes alturas, conlleva a que la limpieza de las fachadas sea más difícil.

Es por ello que se plantea el diseño y construcción de un prototipo de robot limpiador de superficies verticales, para hacer más efectiva en el proceso de limpieza.

Las ARL's (Administradora de Riesgo Laboral) tienen definido los posibles riesgos a alguna actividad y su probabilidad de que esta pueda pasar, en consulta con la empresa de SEGUROS DE RIESGOS LABORALES SURAMERICANA S.A. en sus estadísticas, los accidentes por caídas tiene un 4 puesto de la frecuencia en que ocurre, después de accidentes por violencia, por tránsito y sustancias peligrosas [1]. Por lo cual se atribuye uno de los trabajos con un alto grado de probabilidad de accidente.

1.1.2 Descripción del problema

El problema en general se basa en evitar que personas realicen este tipo de trabajo al ser considerado uno de los trabajos más peligrosos que puede haber en la actualidad, ya que ocasiona que el trabajador con base a un sistema de cuerdas (cuerdas de soporte, arnés de seguridad y línea de vida), tenga que estar suspendido en el aire varios metros de distancia del suelo por varias horas, ocasionando un gran riesgo para ellos. Al desarrollar el actual proyecto, se da la posibilidad de que no haya necesidad de enviar al trabajador a ejecutar esta riesgosa tarea, además de que el robot ejecutara el trabajo de igual manera, desarrollando posibles tareas que el trabajador no podía efectuar a causa de dificultades como factores climáticos. Asimismo proporcionara mayor privacidad a las personas que se mantienen dentro del edificio.

1.1.3 Línea de investigación del programa

El proyecto está inmerso en la línea de investigación de Robótica y Biomecatrónica, por su estructura de diseño, construcción y operación del sistema (integración entre la electrónica, la mecánica, la automatización y el control).

1.2 JUSTIFICACIÓN

A medida que las ciudades van creciendo, aumentan la construcción de edificios cada vez más modernos y atractivos a la vista, lo que ha generado que sean algunos con un exterior de vidrio, por lo que la dificultad que se genera es el mantener la limpieza para su buena presentación. Esto lo han cubierto con personas que ejercen esta actividad arriesgando su vida y de la sociedad, según el instituto de medicina legal el 28.5% de las 2.833 muertes que se sufrieron en Colombia, fueron por caídas de altura, lo que equivale a 808 muertes por este ámbito. [2]

La idea es la de diseñar y construir un prototipo el cual da una opción para la solución del problema, evitando que personas tengan que arriesgar su vida e incomodar a los que habitan y/o trabajan en los edificios para mantener la eficiencia de la limpieza. El prototipo contará con un sistema autónomo para evitar una constante vigilancia del usuario en cuanto a la limpieza y seguridad.

De la misma forma este proyecto podrá ayudar a la Universidad Piloto de Colombia en la limpieza de la fachada exterior de algunos de sus edificios, tales como el Fundadores, APR y la sede G, evitando gastos adicionales. Igualmente, la universidad estará mostrando los alcances que el programa Ingeniería Mecatrónica puede generar a la vista del público, al mismo tiempo que puede elevar el interés de los estudiantes a la elaboración de nuevos prototipos, o generando nuevos avances en el área de la robótica.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo de robot para la limpieza de superficies verticales (Vidrios).

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar e implementar un sistema de agarre y de movimiento para el prototipo en superficies verticales.
- Diseñar e implementar una tarjeta ligera.
- Diseñar un software para el funcionamiento y el manejo puntual de los elementos para la limpieza de la superficie.
- Realizar pruebas de funcionamiento.

1.4 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

1.4.1 Alcances y limitaciones

El prototipo está proyectado a que esté entre los siguientes rangos de dimensiones: largo (25cm a 30cm), ancho (19cm a 25cm), alto (7cm a 15cm), y donde solo se centrara en la limpieza de superficies de vidrios cuadradas y/o rectangulares.

Contará con dos indicadores para el control de la cantidad de líquido limpiador. El robot trabajara de forma autónoma sujeto a la duración de la batería seleccionada según convenga.

1.5 MARCO REFERENCIAL

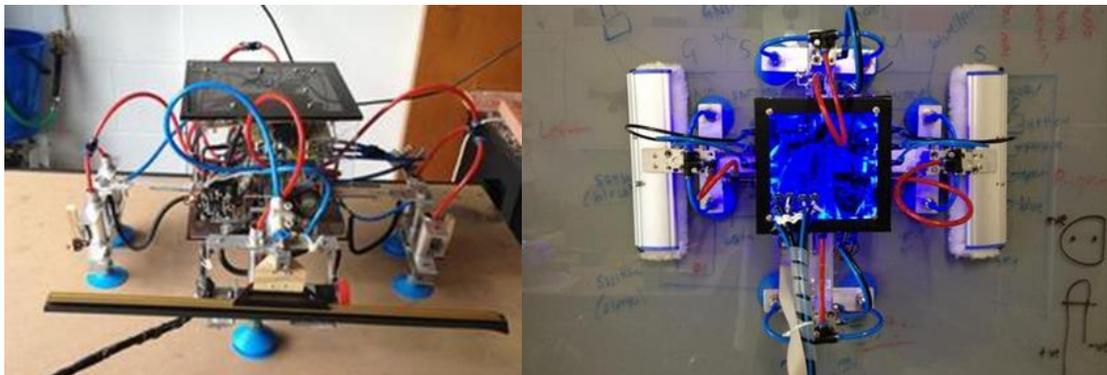
1.5.1 Estado del arte

Teniendo en cuenta el proyecto que se realizó, se podrá observar que ha habido distintos prototipos fabricados a lo largo del tiempo, cada uno con distintas formas de soluciones y de acciones para la realización de la tarea en sus distintos espacios. A continuación se dará a una breve reseña o descripción de los proyectos más relevantes:

Glass Cleaner:

Es un robot limpiador de ventanas desarrollado por el estudiante de secundaria Sohail Abdulla en el colegio Mount Roskill Grammar en el 2013, crea un diseño de robot limpiador para ayudar a su padre a limpiar los vidrios que estaban en la parte superior de su casa, conto con la colaboración de la empresa Festo para los materiales y unas pequeñas capacitaciones. El joven Sohail Abdulla realizo dos prototipos como se muestra en la figura 1 [3].

FIGURA 1. Robot limpiador de ventana, prototipo 1 y 2.



Sus principales cambios fue la forma de limpieza puesto que el primer prototipo limpiaba de arriba abajo generando que el robot se estancara en un determinado tiempo por las escobillas de hule, mejorándolo con una limpieza en forma horizontal (izquierda a derecha y viceversa), y el cambio de piezas por unas más convencionales para reducir el peso.

El robot funciona sosteniéndose por medio de ventosas 2 en cada lado del robot, las ventosas se unían con su espejo a través de ejes metálicos para deslizarse su centro en ambas direcciones (horizontal y vertical), el sistema consistía en que se levantaban las ventosas verticales el robot se deslizaba por los ejes horizontales hasta un extremo y volvían a succionar las ventosas una vez hay las otras 4 ventosas horizontales se soltaban y se movían así generando un movimiento horizontal y limpiando en el momento de su paso.

Gecko:

Es un robot limpiador que es muy usual en el mercado, el reciente diseño fue realizado por Lucie Kubatova de la Universidad Técnica de Checa, en el análisis se dan cuenta que lo más complicado es realizar que el robot se mantenga de forma vertical sobre el cristal, por lo q se inspiran en los dedos de las lagartijas ya que estos tienen una facilidad para aferrarse a cualquier superficie vertical.

El robot funciona con energía solar con el fin de que los usuarios no tengan más que solo ponerlo en la ventana, cuenta con distintas celdas ubicadas en todo su cuerpo, una grande por los lados del ojo del robot y otras alrededor de él, su sistema de programación analiza que tan sucio está el cristal y procede analizar el modo en que operara su trayectoria. Este robot no usa agua, ni elementos líquidos, trabaja en base a un paño de microfibra con el cual realiza la limpieza. Como se muestra en la figura 2 [4].

FIGURA 2. Robot Gecko Comercial



WashBot:

Desarrollado por Julia Bleck, Michael Liu, Erin O'Malley y Andria Ramírez de la Universidad Rice de Houston y, Nourelhouda Derbeli y Ali Abdmouleh, ambos estudiantes de la Escuela Nacional de Ingenieros de Sfax de Túnez en abril de 2013, ambos equipos enfocados en el proyecto

desarrollado un prototipo el cual es ajustable a distintos tamaños de ventanas pero empotrado en sus extremos, el robot en su centro de limpieza trabaja con un cepillo girando presionando con el vidrio y previamente en una esquina se lanza un chorro de agua a presión antes de pasar el cepillo como se muestra en la figura 3 [5].

FIGURA 3. WashBot Prototipo



El prototipo trabaja solo de forma horizontal en distintos modos de velocidad para así asegurar la limpieza del vidrio.

1.5.2 Marco normativo

La seguridad en trabajos en alturas está basada en la Resolución 1409 del 2012 en el cual se puede observar estas principales características:

- Siempre que la altura supere los 1.5 metros sobre el nivel inferior es considerada trabajo en alturas
- Debe contar con un equipo de protección contra caídas en alturas (eslinga, cable u otros materiales)
- Contar con una vida (materiales que permitan q no desciendan más de 60 cm)
- Se debe contar con medidas de prevención y protección generando una restricción en cuanto a caídas para evitar daños y peligro a la sociedad
- Tener conocimiento de rescate y fundamentos de primeros auxilios

Para una mayor profundidad de la normativa leer la Resolución 1409 del 2012. [1]

1.6 MARCO METODOLÓGICO

Las actividades que se contemplaron para la realización del proyecto se componen de 4 etapas en las que consiste.

Primera etapa: Evaluación de los requisitos del prototipo por medio de QFD, como se muestra en el ANEXO A.

Segunda etapa: Diseño, aquí se realiza la estructura mecánica, la simulación de elementos electrónicos y de software para el proyecto.

Tercera etapa: Pruebas de elementos, aquí se llevaron a cabo las pruebas en físico de los elementos y/o componentes que fueron puestos en simulación previamente, para así garantizar el funcionamiento correcto, y de esta forma conocer si presenta algunas variaciones en cuanto a la simulación o se tenga que cambiar algún elemento.

Cuarta etapa: Construcción y Pruebas, se realizó el acople de todos los elementos para mirar funcionamiento en conjunto, y realizar las correcciones pertinentes si lo requiere.

Quinta etapa: Documentación, se incorporaron todo los cálculos, lecturas e información que se obtuvo durante el trayecto de la realización del proyecto.

2. DISEÑO Y ANALISIS MECANICO

En el presente capítulo se explicaran todos los cálculos y/o diseños mecánicos que se realizaron en el diseño y construcción del prototipo de un robot limpiador de superficies verticales (vidrios), para que de esta manera cumpla su funcionamiento de forma efectiva y sin riesgos críticos de sufrir una caída, ya que el prototipo debe permanecer en un plano vertical en todo momento. El diseño mecánico está compuesto por tres sistemas: 1) el sistema de agarre, 2) movimiento y 3) limpieza; los cuales están sujetos a la base del prototipo, la cual está diseñada de tal manera que funcione de forma efectiva.

2.1 SISTEMA DE AGARRE

2.1.1 Selección del mecanismo de agarre

El sistema de agarre está compuesto por componentes mecánicos los cuales permiten el movimiento y la sostenibilidad en forma vertical del prototipo, existen diferentes métodos de agarre como se muestran en la tabla 1[6] [7].

Tabla 1. Métodos de agarre

Factores	Vacío	Electromagnetismo	Magnetismo
Descripción	Método de succión de aire por medio de ventosas.	Método de agarre por medio de una composición de materiales aislantes, conductores y semi-conductores.	Método de agarre por medio de la fuerza ejercida por dos imanes.
Pros	Método en el cual se encuentran las piezas de tamaño pequeño y de fácil obtención.	Método en el cual el peso del mecanismo es mínimo y soporta grandes cantidad de peso según el tamaño con el que se crea el sistema.	Método en el cual el agarre soporta grandes cantidad de peso según el tamaño del imán interior e exterior.
Contras	Dificultad en la obtención de varios mecanismos a causa de su alto costo.	Dificultad en la obtención de los materiales para su construcción.	Dificultad en la creación del proyecto en cuanto al movimiento de los imanes.

Sabiendo los pros y contras de cada método de agarre se prosigue a evaluar las características de gran importancia como se muestra tabla 2, donde el grado de importancia de las características van de 4 cuya calificación es la más alta y 1 la más baja.

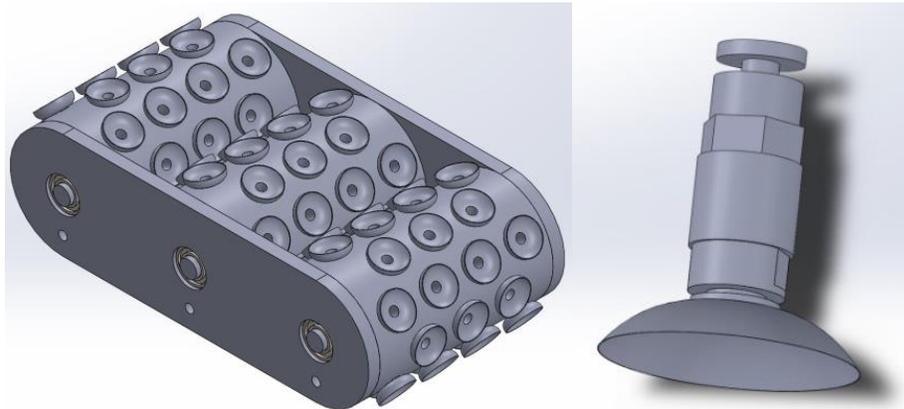
Tabla 2. Selección del método de agarre

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Demanded Quality	Metodo de vacio	Metodo de electromagnetismo	Metodo de magnetismo
1	9	30%	3	Tamaño	⊖	○	▲
2	9	20%	2	Peso	○	⊖	▲
3	3	10%	1	Costo	○	▲	▲
4	9	40%	4	Agarre	⊖	⊖	○
Difficulty					6	10	9
Max Relationship Value in Column					9	9	3
Weight / Importance					720	640	180
Relative Weight					46.8%	41.6%	11.7%

Teniendo en cuenta la tabla anterior y la funcionalidad del prototipo, la fuerza que va a ejercer, la seguridad y la obtención de materiales, se opta por el método de vacío, así mismo el método de vacío genera una mejor adherencia sobre las superficies vidriosas ya que es mayor al de los demás métodos.

Ya conociendo el sistema de agarre se realizaron dos diseños preliminares como se muestran en la figura 4 respectivamente, para poder seleccionar el más adecuado en cuanto a tamaño, calidad, costo y peso; como se verá en la tabla 3.

FIGURA 4. Diseño del mecanismo preliminar 1 y 2.



Fuente: Desarrollado por los autores.

Tabla 3. Selección mecanismo de agarre

Factores	Diseño preliminar N°1	Diseño preliminar N°2
Descripción	El primer diseño está compuesto por dos elementos; los cilindros hechos a medida y las pequeñas ventosas puestas en los cilindros.	Diseño comercial compuesto por tres elementos; la ventosa, el racon y rosca.
Tamaño	178 x 93 x 60	35 x 35 x 40 c/u
Costo	100000 c/u	50000 c/u
Peso	300 gr c/u	20 gr c/u
Pros	Diseño en el cual el mecanismo de agarre y movimiento eran uno mismo.	Diseño en el cual se ejerce un mayor agarre con menos complejidad.
Contras	El mecanismo es de tan gran tamaño que las bombas de vacío convencionales no son capaces de generarle el vacío necesario.	El mecanismo no lleva incluido el sistema de movimiento siendo estos dos sistemas totalmente distintos.

El mecanismo seleccionado fue el segundo diseño ya que ocupa menor área y genera más firmeza en el agarre. Además de generar menos complejidad en el momento de incorporarlo en la estructura del prototipo.

2.1.2 Selección de la bomba de vacío

Teniendo en cuenta que una de las limitaciones del prototipo es que sea autónomo y no dependa de cables externos, se investigaron bombas de vacío de menor tamaño y que fueran de un peso considerablemente bajo, por lo que a la hora de la selección se limitó a dos bombas de vacío que se encontraban comercialmente como se ve en la figura 5 [8] [9], siendo estas generadoras de la misma cantidad de vacío; se consideró utilizar la que fuera de menor tamaño y peso para así aligerar la carga que deberían generar las bombas (una por cada ventosa) en cuanto al vacío necesitado.

FIGURA 5. Bombas de vacío



Fuente: Tomada de TdRobotica

Fuente: Tomada de ElectronicLab

Habiendo escogido la bomba de vacío tipo 2, se prosigue a acoplarse de tal manera al prototipo, ya que con esto se podrá hacer la selección de la ventosa, teniendo en cuenta las características de funcionamiento de la bomba de vacío.

2.1.3 Selección de las ventosas

El funcionamiento de las ventosas tiende a cambiar en el ambiente según distintas condiciones como: el material de la superficie; el estado de la superficie sea liso u/o rugoso, seco o húmedo; las dimensiones del prototipo y la deformación de la ventosa donde se debe tener en cuenta: la fuerza ejercida, su forma y su material.

Tomando en cuenta el material de la ventosa se dio a la tarea de la investigación de varios proveedores entre ellos Vuototecnica e AIRBEST y basándose en esto se seleccionaron varios materiales como: caucho nitrilico, silicona, EPDM y poliuretano. Donde se evaluaron según

características importantes de acuerdo al funcionamiento del prototipo como se ve en la tabla 4, teniendo en cuenta los catálogos de los proveedores nombrados anteriormente [10] [11].

Tabla 4. Características de las ventosas según el material

Características	Silicona	Caucho Nitrilico	Poliuretano	EPDM
Resistencia al Desgaste	Bueno	Excelente	Excelente	Muy Bueno
Adherencia al vidrio	Excelente	Excelente	Muy Bueno	Muy Bueno
Resistencia a la Intemperie	Muy Bueno	Bueno	Muy Bueno	Excelente
Compra Comercial	Fácil	Fácil	Fácil	Difícil
Costo Comercial	Bajo	Bajo	Alto	Bajo
Pieza sobre la que se usa	Alimento, caliente y frio	Aceitado y liso	Aceitado, liso y rugoso	Industria de Empaque

De acuerdo a la tabla anterior se concluyó que el material más adecuado a utilizar sería el caucho nitrilico ya que ejerce mayor adherencia al vidrio y en promedio mantiene mayores niveles de evaluación en las distintas características.

Se debe tener en cuenta que para desarrollar los cálculo de ventosas se tomaran los datos en las que el prototipo supondría efectuaría la limpieza, en el agarre como una superficie seca con probabilidades de poca humedad y el movimiento de largas trayectorias como se verá a continuación.

En primera instancia se indagaron varias fórmulas de distintos fabricantes como: Airbest, Festo, Vuototecnica y Schmalz para así hallar la manera más efectiva de calcular la fuerza que necesitan cada una de las ventosas hacer para que el prototipo se mantenga adherido a la superficie vertical como resultado se halló que según la empresa FESTO [6], la forma más eficaz sería mediante la siguiente ecuación:

$$F_H = \left(\frac{m}{\mu}\right) * (g + a) * S \text{ (Ecuacion 1)}$$

Dónde:

$$\text{masa del prototipo } (m) = 3 \text{ Kg}^1$$

$$\text{Coeficiente de fricción entre una superficie seca y nitrilo } (\mu) = 0.5$$

$$\text{Aceleración Terrestre } (g) = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Ya que las limitantes del prototipo no se permiten exceder de ciertas dimensiones se estableció que las distancias máximas que podría moverse serían en la parte superior e inferior de 50 mm y en las laterales de 20 mm por lo que se tomó la de mayor distancia.

Para hallar la velocidad promedio del prototipo va a tener, es necesario conocer el tiempo con el cual se mueve en un ciclo, para esto hay que tener en cuenta las especificaciones de elementos mecánicos (bombas de vacío), ya que requieren un determinado tiempo para poder liberar la presión contenida en las ventosas, una vez de terminado el ciclo se obtiene que el tiempo total es de 18 segundos. Con los datos obtenidos procedemos a obtener la velocidad de un ciclo del prototipo:

$$\text{Desplazamiento máximo } (d) = 0.05 \text{ m}$$

$$\text{Tiempo de desplazamiento de un ciclo } (t) = 18 \text{ seg.}$$

$$\text{Velocidad de un ciclo del prototipo } (v) = \frac{d}{t} \text{ (Ecuación 2)}$$

$$\text{Velocidad de un ciclo del prototipo } (v) = \frac{0.05 \text{ m}}{18 \text{ seg.}} = 0.00277 \text{ m/s}$$

Para calcular la aceleración máxima se debe tener en cuenta el cambio máximo de velocidad que se efectúa en la transición de desplazamiento de cada una de sus partes. Para este caso se tomó la siguiente velocidad:

$$\text{Velocidad máxima del prototipo } (v) = 0.05 \text{ m/s}$$

$$\text{Aceleración máxima } (a) = \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ (Ecuación 3)}$$

$$\text{Aceleración máxima } (a) = = \frac{0 \text{ m/s} - 50e^{-3} \text{ m/s}}{1 \text{ s} - 0 \text{ s}} = 0.05 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Aceleración del prototipo } (a) = 0.05 \text{ m/s}^2$$

Según FESTO [6], para trabajos en los que las ventosas se mueven de manera vertical se indica que el factor de seguridad vertical sería de:

¹ Se estableció que el peso máximo del prototipo es de 3 Kg como se explica en el apartado 2.4.2.

$$\text{Factor de Seguridad } (S) = 2$$

Desarrollando así los cálculos para saber la fuerza necesitada para levantar el prototipo sea igual a:

$$F_H = (3 \text{ Kg}/0.5) * (9.81 \text{ m/s}^2 + 0.05 \text{ m/s}^2) * 2$$

$$F_H = 118.32 \text{ N}$$

Habiendo hallado la fuerza total necesitada para sostener el prototipo se procede a calcular, la cantidad de fuerza que necesita ser ejercida por cada una de las ventosas, en el cual estas ayudaran en el movimiento del prototipo, por lo que a mayor cantidad de ventosas menos carga ejercida por cada una, como se ve en la ecuación siguiente:

$$F_{VC} = \frac{F_H}{\text{Cantidad de Ventosas}} \quad (\text{Ecuacion 4})$$

Ya que el prototipo está diseñado para moverse en un plano X-Y, se establece que en cada una de sus cuatro extremidades contara con una ventosa, sin embargo al momento de desplazamiento de la base principal, solo consta de dos ventosas en funcionamiento, por lo tanto se hacen los cálculos de fuerza necesitada y del dimensionamiento de la ventosa, teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado. Primero se calcula el tamaño de la ventosa con la siguiente ecuación [12] para así hallar el diámetro de la ventosa a seleccionar.

$$D_{\text{ventosa}} = 1,12 * \sqrt{\frac{(m * S)}{(P_u * n * \mu)}} \quad (\text{Ecuacion 5})$$

Siendo:

m = Masa de la pieza en Kg

P_u = Depresión en bar (Vacio generado por la bomba de vacio)

n = Número de ventosas

μ = Coeficiente de fricción entre vidrio seco y nitrilo

S = Factor de seguridad

Ya que se sabe que cada ventosa va a trabajar independientemente con su respectiva bomba de vacío, y que el mínimo de ventosas que habrá en funcionamiento en ciertas situaciones será de máximo dos ventosas se realiza el siguiente cálculo a continuación:

$$D_{ventosa} = 1,12 * \sqrt{\frac{(3 \text{ Kg} * 2)}{(0.55 \text{ bar} * 2 * 0.5)}}$$

$$D_{ventosa} = 3.699 \text{ cm}$$

Sabiendo el diámetro requerido para las ventosas, se procede a buscar la referencia comercial más cercana del valor obtenido, por lo cual se trabaja con unas ventosas de un diámetro exterior de 35 mm, la cual cuando se expande al máximo, llega a un diámetro de 37 mm, por lo tanto cumple con los requisitos de diseño.

Volviendo a la ecuación 1 en la que se debe saber la fuerza que necesitan ejercer cada ventosa, y sabiendo el número de ventosas a utilizar se prosigue a calcular la fuerza que debe realizar cada ventosa por separado como se ve a continuación:

$$F_{VC} = \frac{118.32 \text{ N}}{2} = 59.16 \text{ N}$$

Así teniendo la cantidad de fuerza que debe ejercer cada ventosa, se realiza el cálculo del área de cada ventosa en funcionamiento y la presión que debe ejercer cada una de ellas, para así saber que tanta depresión debe ejercer la bomba de vacío.

$$A_{supC} = \pi * r^2 = \pi * (0.0185 \text{ m})^2 = 0.001075 \text{ m}^2$$

$$P_{VC} = \frac{F_{VC}}{A_{supC}} = \frac{59.16 \text{ N}}{0.001075 \text{ m}^2} = 55.03 \text{ KPa}$$

Ya habiendo hallado los datos de las ventosas, se prosigue a regular la bomba de succión sabiendo que su funcionamiento en vacío debe ser de 55 KPa, por cada ventosa.

Por ultimo tras saber los cálculos necesarios para el correcto funcionamiento de estas, se prosigió con la compra del racon y rosca neumática comerciales que funcionaran con el tamaño de la ventosa escogida como se ve en la figura 6.

FIGURA 6. Complementos mecánicos del mecanismo de agarre.



Fuente: Tomada por los autores.

2.2 SISTEMA DE MOVIMIENTO

2.2.1 Selección del mecanismo de movimiento

Para la selección del sistema de movimiento, se estudiarán tres sistemas los cuales serán: 1) llantas, 2) neumático y 3) cremallera.

El primero es el sistema por llantas como se ven la figura 7, el cual se compone de elementos como motores, llantas oruga, engranajes, entre otros. Este sistema es de un gran tamaño y peso, aunque es de buena velocidad de desplazamiento y además tiene una gran fuerza de agarre.

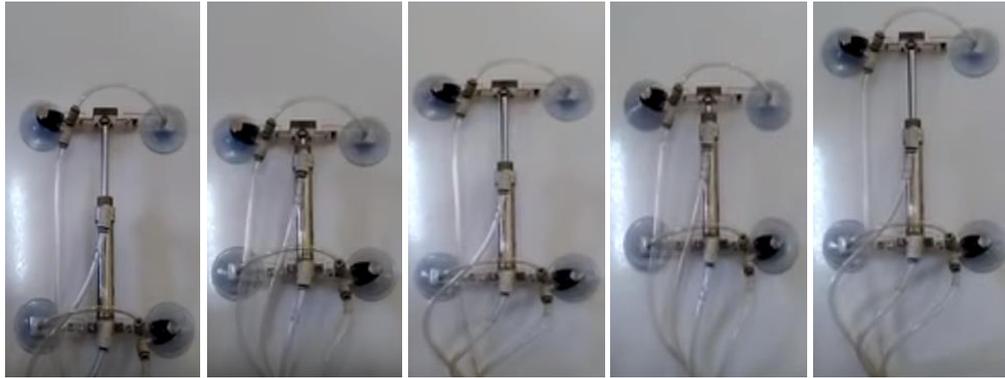
FIGURA 7. Sistema por llantas



Segundo está el sistema neumático el cual consiste en la implementación de bombas de aire las cuales activarían los cilindros de doble efecto para hacer la transmisión de potencia, esto con el fin

de realizar el movimiento vertical o lateral del robot cuando lo necesite. En la figura 8 [13], se observa cómo se aplicaría el sistema al prototipo.

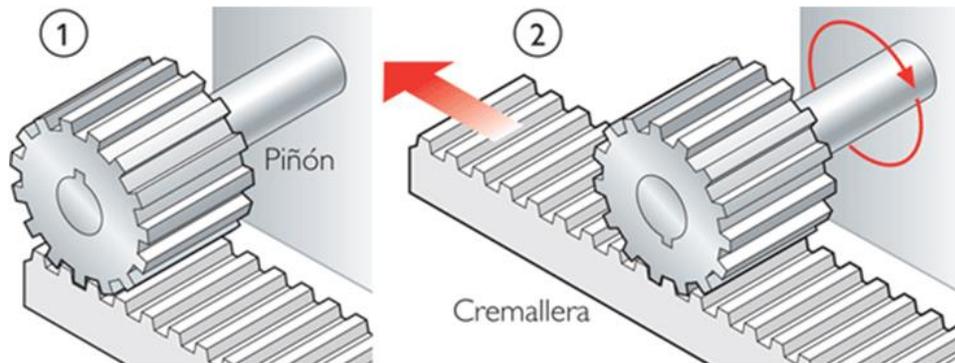
FIGURA 8. Aplicación del cilindro de doble efecto en un robot escalador



Fuente: Tomada del video Wall climbing robot project by student en Youtube

Y el tercero es el sistema por piñón-cremallera, el cual consta de un motor-reductor conectado a un piñón que transmitiría la fuerza del motor a la cremallera, para que se realice el desplazamiento del prototipo. Para el sistema los componentes que se necesitan son: un motor, un piñón y una cremallera como se muestra en la figura 9 [14].

FIGURA 9. Funcionamiento sistema piñón – cremallera



Fuente: Tomada de E-DUCATIVA

Para la selección del mecanismo de movimiento se considerarán factores como tamaño, peso, velocidad entre otros como se ve en la tabla 5.

Tabla 5. Datos de sistemas de movimiento

Factor	Rango (Min - Max)	Sistema neumático	Sistema por cremallera	Sistema por llantas
Velocidad (cm/s)	(1, 2)	2	1.5	1.5
Peso (gr)	(- , 500)	200	50	250
Tamaño (mm)	(- , 110 x 30 x 60)	100 x 20 x 23	90 x 15 x 25	105 x 25 x 60
Costo (Cop)	(- , 50000)	250000	80000	60000
Precisión (%)	100	100	50	50

Sabiendo los rangos de cada sistema de movimiento se prosigue a evaluar las características de mayor importancia en el prototipo según el sistema como se muestra tabla 6, donde el grado de importancia de las características van de 5 cuya calificación es la más alta y 1 la más baja

Tabla 6. Selección del sistema de movimiento

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Demanded Quality	Sistema neumático	Sistema por cremallera	Sistema por llantas
1	9	13.3%	2	Velocidad	⊖	⊖	○
2	3	33.3%	5	Peso	▲	○	▲
3	9	26.7%	4	Tamaño	○	⊖	▲
4	9	6.7%	1	Costo	⊖	○	▲
5	9	20%	3	Precisión	⊖	▲	○
Difficulty					7	6	10
Max Relationship Value in Column					9	9	3
Weight / Importance					473.3	500	166.7
Relative Weight					41.5%	43.9%	14.6%

Tras evaluar los tres sistemas se concluyó que el sistema más apropiado para el prototipo sería el de cremallera ya que cumple por mayoría los requisitos propuestos.

2.2.2 Selección de motores

Para la selección de los motores se tuvieron en cuenta varios factores del prototipo como los mostrados a continuación:

$$\text{Peso del Prototipo} = 3 \text{ Kg}$$

$$\text{Desplazamiento motor – cremallera} = 5 \text{ cm}$$

Sabiendo los datos anteriores se prosigue a calcular la fuerza que el motor debería ejercer para mover el prototipo.

$$f = P * A_c \text{ (Ecuacion 6)}$$

$$f = 3 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$f = 29.43 \text{ N}$$

Después de calcular la fuerza requerida se halla el trabajo que debe realizar el motor a la altura especificada.

$$W = f * h \text{ (Ecuacion 7)}$$

$$W = 29.43 \text{ N} * 0.05 \text{ m}$$

$$W = 1.471 \text{ J}$$

Enseguida se hizo la relación entre el motor y el piñón el cual mediría 12,192 mm de diámetro como se muestra en el apartado 2.2.3, para así hallar el torque necesario que debería tener el motor para ejercer su tarea en el sistema de movimiento.

$$T = f * R_{\text{piñon}} \text{ (Ecuacion 8)}$$

$$T = 29.43 \text{ N} * 0.006096 \text{ m}$$

$$T = 0.1794 N * m \text{ o } 1.893 Kg * cm$$

Finalmente tras saber los requerimientos que debe tener el motor, se selecciona el adecuado como se muestra en la figura 10 [15].

FIGURA 10. Motor seleccionado para el sistema de movimiento



Fuente: Tomada de Alibaba

Los parámetros del motor seleccionado son las siguientes por lo que es el apropiado para el sistema de movimiento propuesto.

$$\text{Voltaje} = 6V \quad \text{Fuerza} = 3W \quad T = 1 \text{ a } 3 Kg \text{ cm}$$

2.2.3 Análisis del mecanismo de movimiento

El mecanismo de movimiento escogido se basa en el control de cada extremidad por separado por medio de piñones, una cremallera, un motor y un sensor de posición; el último componente nombrado anteriormente se explicará en el capítulo 3, apartado 3.1.1.

Teniendo en cuenta la tabla 8.14 [16] de AGMA, el número de dientes mínimo para trabajar con un piñón es de 12, por lo tanto trabajamos con esta cantidad de dientes.

Enseguida se procede a conocer el ancho de cara del piñón y para esto se cuenta con la siguiente formula:

$$F = \frac{W_T P_d K_A K_m K_s K_B K_I}{J K_V} \frac{F_s}{S_{fb}} \quad (\text{Ecuacion 9})$$

$$J_p = 0.32$$

Se escoge un factor de seguridad de 2 para asegurarnos que el piñón pueda soportar el doble del peso real, y no un factor más grande ya que sería sobre dimensionado innecesariamente.

$$F_s = 2$$

$$P_d = 25 \text{ in}^{-1}$$

$$W_T = \frac{2P_d T_p}{N_p} = 9.2195 \text{ lb (Ecuacion 10)}$$

Para poder obtener el factor dinámico, se requiere saber la calidad del engrane (su precisión Q_v) que en este caso utilizamos en $Q_v \leq 5$ lo cual nos da un $V_t = 0.00525 \text{ m/s}$.

$$K_v = \left(\frac{A}{A + \sqrt{200V_t}} \right)^B \text{ (Ecuacion 11)}$$

Donde $A = 50 + 56(1 - B)$

Donde $B = \frac{(12 - Q_v)^{2/3}}{4}$

Y se obtiene

$$K_v = 0.98$$

$$K_m = 1.6$$

$$K_a = 1$$

$$K_s = 1$$

$$K_B = 1$$

$$K_i = 1$$

$$F = \left(1175.96 \frac{\text{lb}}{\text{in}} \right) \frac{2}{S_{fb}} \text{ (Ecuacion 12)}$$

Ahora para obtener el valor del ancho de la cara, solucionamos S_{fb} (Resistencia a la fatiga por flexión) y S_{fc} (Resistencia a la fatiga superficial) y de esta forma se calcula con el mayor, el ancho de cara para evitar fallas.

Resistencia a la fatiga por flexión

$$S_{fb} = \frac{K_L}{K_T K_R} S_{fb'} \text{ (Ecuacion 13)}$$

Donde $S_{fb'}$ se puede obtener en la tabla 8.20 [17] y la figura 8.25 [18] del libro de diseño de máquinas cuarta edición de Norton y teniendo en cuenta que se está realizando el análisis para metal. En relación con lo anterior se determina que es sería hierro fundido contamos con un 175 HB de dureza lo que nos indicaría que:

$$S_{fb'} = 8000 \text{ psi}$$

Se calcula K_L que es el factor de vida y obtienen:

$$K_L = 1.683(10^9)^{-0.0323}$$

$$K_L = 0.8617$$

Se selecciona $K_T = 1$ ya que las temperaturas no llegan a los 250°F y se selecciona $K_R = 1$ según tabla para tener un porcentaje de confiabilidad de 99 %.

En base a estos datos obtenemos $S_{fb} = 6893,6 \text{ psi}$

Resistencia a la fatiga superficial

$$S_{fc} = \frac{C_L C_H}{C_T C_R} S_{fc'} \text{ (Ecuacion 14)}$$

Donde $S_{fc'}$ se puede obtener en la tabla 8.21 del libro de diseño de máquinas cuarta edición de Norton [19] y teniendo en cuenta que se está realizando el análisis para metal. En relación con lo anterior se determina que es sería hierro fundido contamos con un 175 HB de dureza lo que nos indicaría que:

$$S_{fc'} = 65000 \text{ psi}$$

Se calcula C_L que es el factor de vida superficial y obtienen:

$$C_L = 2.366(10^9)^{-0.056}$$

$$C_L = 0.7726$$

Se calcula C_H que es el factor de vida superficial y obtienen:

$$C_H = 1 + A(Mg - 1) \text{ (Ecuacion 15)}$$

Se calcula A en base a los HB del engrane y del piñón y como ambos están con hierro fundido, entonces el valor de $A = 0$ por lo tanto $C_H = 1$

Los parámetros de $C_T C_R$ son idénticos a los de $K_T K_R$ por lo tanto se puede hallar

$$S_{fc} = 50219 \text{ psi}$$

Hallamos F con los dos valores para saber cuál es el más crítico.

$$F_{con S_{fb}} = 0.3411 \text{ in}$$

$$F_{con S_{fc}} = 0.0468 \text{ in}$$

Para verificar que el P_d escogido es el apropiado se mira de la siguiente forma

$$\frac{8}{P_d} < F < \frac{16}{P_d} \text{ (Ecuacion 16)}$$

$$0.32 < 0.3411 < 0.64$$

Para selección el paso diametral (P_d), se tomaron distintos valores como se muestra en la tabla 7 hasta que uno de estos comprobara estar entre los rangos de la ecuación 16, para así desarrollar los cálculos mostrados anteriormente con el p_d escogido.

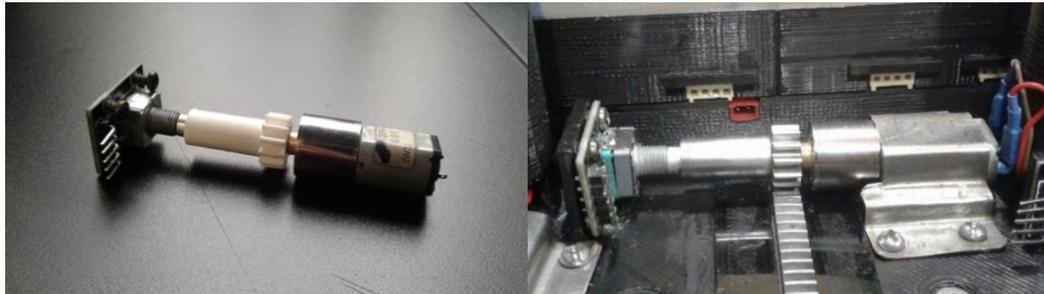
Tabla 7. Selección de paso diametral para el piñón del sistema de movimiento

Paso diametral (Pd)	Ancho de cara (F)	Rangos
80	3.4936 in	0.1<F<0.2
65	2.3063 in	0.1230<F<0.2461
40	0.8734 in	0.2<F<0.4
25	0.3411 in	0.32<F<0.64

Teniendo en cuenta los datos del piñón (pitch), se manda hacer la mecanización de la cremallera de acuerdo al piñón diseñado.

Con base al piñón diseñado se extendió el eje para que el acople del motor y el encoder sea de manera centralizada como se muestra en la figura 11.

FIGURA 11. Diseño del piñón, eje motor-encoder prototipo y final



Fuente: Desarrollado por los autores.

Ya teniendo el piñón, se recalcula el factor de seguridad con el ancho de cara fabricado el cual sería de 0.3235 in como se muestra en la ecuación 11 de tal manera que ahora se hallara F_s :

$$0.3235 \text{ in} = \left(1175.96 \frac{\text{lb}}{\text{in}}\right) \frac{F_s}{6893,6 \text{ psi}}$$

$$F_s = 1.896$$

2.3 SISTEMA DE LIMPIEZA

2.3.1 Selección del mecanismo de limpieza

El sistema de limpieza está compuesto de un mecanismo capaz de limpiar de forma efectiva la ventana durante su funcionamiento, en el momento de la selección por el método en el que se limpiaría el vidrio se pueden evaluar tres opciones: 1) limpieza por rodillos, 2) presión contra el vidrio y 3) un disco limpiador.

Tabla 8. Características técnicas sistemas de limpieza

Características	Sistema de Rodillos	Sistema de Disco Limpiador	Sistema Bajo Presión
Acabado (%)	70	90	80
Costo (Cop)	57000	60000	15000
Dificultad de Desarrollo	5	5	7
Consumo de Agua (ml/s)	10	8	12

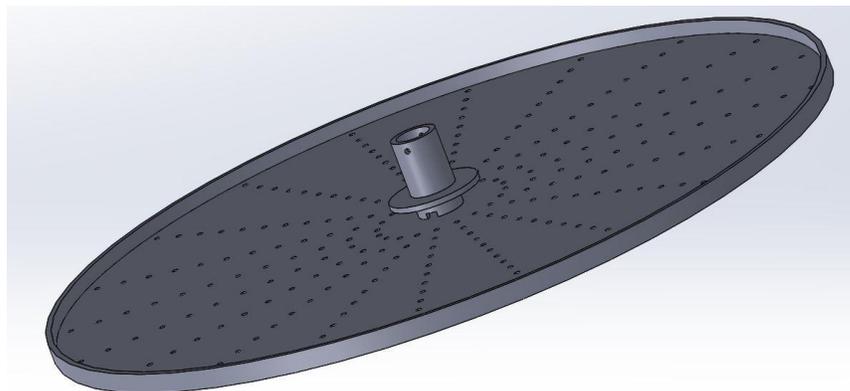
Sabiendo los datos generales de cada sistema de limpieza se prosigue a evaluar las características de gran importancia como se muestra tabla 9, donde se les da un grado de importancia a cada una de las características donde 3 es la calificación más alta y 1 la más baja.

Tabla 9. Selección de método de limpieza

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Demanded Quality	Sistema de rodillos	Sistema de disco limpiador	Sistema bajo presion
1	9	50%	3	Acabado	⊖	⊖	⊖
2	3	16.7%	1	Costo	○	○	○
3	9	33.3%	2	Consumo de agua	○	⊖	▲
Difficulty					5	5	7
Max Relationship Value in Column					9	9	9
Weight / Importance					600	800	533.3
Relative Weight					31%	41.4%	27.6%

Como se muestra en la tabla 9, el método que mostraría ser más efectivo sería el disco limpiador por lo que se analizó y se propuso el diseño y construcción de un disco limpiador a la medida como se muestra en la figura 12, para que funcionara de manera más sincronizada con los demás elementos del prototipo.

FIGURA 12. Disco limpiador diseñado a medida



Fuente: Desarrollado por los autores.

El disco limpiador consiste de un disco con una columna tubular en el centro por donde se proporcionaría el líquido limpiavidrios desde el tanque pasando por la bomba de agua hasta llegar al disco el cual tendría puesto una microfibrá que por medio de los varios agujeros puestos a través de todo el disco mojaría la microfibrá con el líquido de limpieza limpiando el vidrio. El movimiento del disco estaría acondicionado a un grupo de engranajes intercomunicados a un motor como se explicara en el siguiente apartado.

2.3.2 Análisis de los elementos de limpieza

Como se vio en el apartado anterior el método seleccionado fue el de un disco limpiador por lo que al momento de permitir que realizara su tarea, se necesitaba de un juego de engranaje-piñón y un motor que lo rotara como se calculara a continuación:

El motor utilizado es el visto en el apartado 2.2.2, por lo que con base a esto se hicieron los cálculos correspondientes para el diseño del piñón y engranaje del disco. Ya que se conoce que el motorreductor tiene una velocidad angular de 180rpm y se requiere que la velocidad angular de salida del prototipo sea 60rpm, por lo tanto lo que se realiza es un reductor de velocidad.

$$\begin{aligned}\omega_{motor} &= 180rpm \\ \omega_{salida} &= 60rpm \\ M_g &= \frac{\omega_{motor}}{\omega_{salida}} = \frac{180rpm}{60rpm} = 3 \text{ (Ecuacion 17)}\end{aligned}$$

Por lo que se halla la razón del engrane (M_g), se puede observar que la relación es 3 a 1 entre el piñón y el engrane por lo tanto se procede a revisar con que fuerza de salida se contaría.

$$\begin{aligned}T_{motor} &= 25 \text{ Ncm o } 2,212 \text{ lb in} \\ T_{salida} &= 75 \text{ Ncm o } 6,638 \text{ lb in}\end{aligned}$$

Ahora se procede a verificar la cantidad de dientes que se requiere, estos son tomados teniendo en cuenta la tabla 8.9 del capítulo de engranes rectos del libro diseño de máquinas cuarta edición de Norton [20].

$$M_g = \frac{N_g}{N_p} = 12(3) = 36 \text{ (Ecuacion 18)}$$

Aplicando lo explicado en la tabla 8.9 [19] mencionada anteriormente el piñón constaría de 21 dientes y el engranaje de 63 y de esta forma se mantiene la razón del engrane. Enseguida se procede a conocer el ancho de cara del piñón y para esto se cuenta con la siguiente formula:

$$F = \frac{W_T P_d K_A K_m K_s K_B K_I F_s}{J K_V S_{fb}}$$

$$J_p = 0.32$$

Se escoge un factor de seguridad de 2 para asegurarnos que el piñón pueda soportar el doble del peso real, y no un factor más grande ya que seria sobre dimensionado innecesariamente.

$$F_s = 2$$

$$P_d = 25 \text{ in}^{-1}$$

$$W_T = \frac{2 P_d T_p}{N_p} = 9.2195 \text{ lb}$$

Para poder obtener el factor dinámico se requiere saber la calidad del engrane (su precisión Q_v) que se utilizo fue $Q_v \leq 5$ lo cual nos da un $V_t = 0.00525 \text{ m/s}$.

$$K_v = \left(\frac{A}{A + \sqrt{200 V_t}} \right)^B$$

Donde $A = 50 + 56(1 - B)$

Donde $B = \frac{(12 - Q_v)^{2/3}}{4}$

Y se obtiene

$$K_v = 0.98$$

$$K_m = 1.6$$

$$K_a = 1$$

$$K_s = 1$$

$$K_B = 1$$

$$K_i = 1$$

$$F = \left(1175.96 \frac{lb}{in}\right) \frac{2}{S_{fb}}$$

Ahora para obtener el valor del ancho de la cara, solucionamos S_{fb} (Resistencia a la fatiga por flexión) y S_{fc} (Resistencia a la fatiga superficial) y de esta forma se calcula con el mayor, el ancho de cara para evitar fallas.

Resistencia a la fatiga por flexión

$$S_{fb} = \frac{K_L}{K_T K_R} S_{fb'}$$

Donde $S_{fb'}$ se puede obtener en la tabla 8.20 [17] y la figura 8.25 [18] del libro de diseño de máquinas cuarta edición de Norton y teniendo en cuenta que se está realizando el análisis para metal. En relación con lo anterior se determina que sería hierro fundido contamos con un 175 HB de dureza lo que nos indicaría que:

$$S_{fb'} = 8000 \text{ psi}$$

Se calcula K_L que es el factor de vida y obtienen:

$$K_L = 1.683(10^9)^{-0.0323}$$

$$K_L = 0.8617$$

Se selecciona $K_T = 1$ ya que las temperaturas no llegan a los 250°F y se selecciona $K_R = 1$ según tabla para tener un porcentaje de confiabilidad de 99 %.

En base a estos datos obtenemos $S_{fb} = 6893,6 \text{ psi}$

Resistencia a la fatiga superficial

$$S_{fc} = \frac{C_L C_H}{C_T C_R} S_{fc'}$$

Donde $S_{fc'}$ se puede obtener en la tabla 8.21 del libro de diseño de máquinas cuarta edición de Norton [19] y teniendo en cuenta que se está realizando el análisis para metal. En relación con lo anterior se determina que sería hierro fundido contamos con un 175 HB de dureza lo que nos indicaría que:

$$S_{fc'} = 65000 \text{ psi}$$

Se calcula C_L que es el factor de vida superficial y obtienen:

$$C_L = 2.366(10^9)^{-0.056}$$

$$C_L = 0.7726$$

Se calcula C_H que es el factor de vida superficial y obtienen:

$$C_H = 1 + A(Mg - 1)$$

Se calcula A en base a los HB del engrane y del piñon y como ambos están con hierro fundido, entonces el valor de $A = 0$ por lo tanto $C_H = 1$

Los parámetros de $C_T C_R$ son idénticos a los de $K_T K_R$ por lo tanto se puede hallar

$$S_{fc} = 50219 \text{ psi}$$

Hallamos F con los dos valores para saber cuál es el más crítico.

$$F_{con S_{fb}} = 0.3411 \text{ in}$$

$$F_{con S_{fc}} = 0.0468 \text{ in}$$

Para verificar que el Pd escogido es el apropiado se mira de la siguiente formula:

$$\frac{8}{P_d} < F < \frac{16}{P_d}$$

$$0.32 < 0.3411 < 0.64$$

Para selección el paso diametral (Pd), se tomaron distintos valores como se muestra en la tabla 10, hasta que uno de estos comprobara estar entre los rangos de la ecuación 16, para así desarrollar los cálculos mostrados anteriormente con el pd escogido.

Tabla 10. Selección de paso diametral para el piñón del disco

Paso diametral (Pd)	Ancho de cara (F)	Rangos
80	1.9358 in	0.1<F<0.2
60	1.0889 in	0.1333<F<0.2666
40	0.4839 in	0.2<F<0.4
25	0.3411 in	0.32<F<0.64

Ya teniendo el piñón, se recalcula el factor de seguridad con el ancho de cara fabricado el cual sería de 0.3235 in como se muestra en la ecuación 11 de tal manera que ahora se hallara F_s :

$$0.3567 \text{ in} = \left(1175.96 \frac{\text{lb}}{\text{in}}\right) \frac{F_s}{6893,6 \text{ psi}}$$

$$F_s = 2.091$$

Teniendo en cuenta los datos del piñón (pitch) y conociendo la reducción que se le va aplicar al engranaje que nos da un Mg igual a 3, conocemos que el engranaje tiene una totalidad de 36 dientes, por lo que al tener todos los datos necesarios como se muestran a continuación se manda a mecanizar el engranaje.

2.3.3 Selección y construcción del tanque de almacenamiento

El tanque del prototipo, tendrá la función de almacenar el líquido limpiavidrios, el cual será suministrado al disco por una bomba de agua, la cual será externa al tanque, por lo que hace la succión del líquido y lo envía hasta el disco limpiador en ciertos periodos de tiempo.

Para la selección del tanque se tuvieron en cuenta varios requerimientos para que no hubiera conflicto en el momento de su funcionamiento y en la integración con el resto del prototipo. Ya

que el prototipo cuenta con limitaciones en cuanto a su tamaño se optó por un tanque con las siguientes dimensiones.

$$\textit{Tanque Hermetico} \quad D_{max} \text{ (mm)} = 100 \times 100 \times 40$$

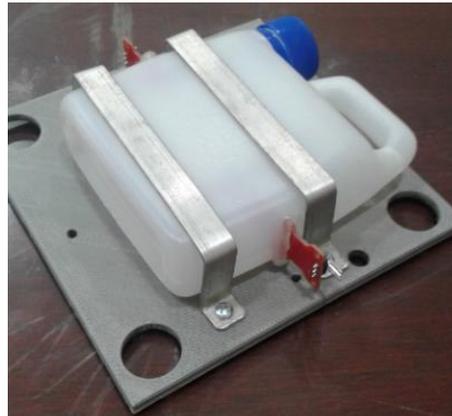
Los parámetros del tanque seleccionado son:

$$\textit{Tanque Hermetico} \quad D \text{ (mm)} = 100 \times 95 \times 37$$

$$\textit{Almacenamiento} = 250 \text{ ml}$$

Ya teniendo el tanque de almacenamiento se prosigue a la construcción e implementación de los sensores y demás elementos al tanque como se muestra en la figura 13.

FIGURA 13. Tanque de almacenamiento del líquido limpiavidrios

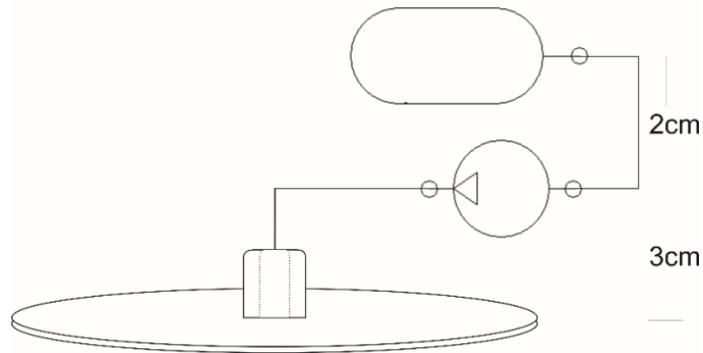


Fuente: Desarrollado por los autores.

2.3.4 Selección de la bomba de agua

Para escoger la bomba que se utilizaría, se desarrollaron los cálculos para hallar los parámetros necesitados por esta, a continuación se muestra el esquema en la figura 14 en el cual se ve la apariencia del sistema de limpieza.

FIGURA 14. Esquema del sistema de limpieza



Fuente: Desarrollado por los autores

Esta es la ecuación que se utilizara para determinar la potencia de la bomba de agua.

$$\frac{P_a}{\gamma} + Z_a + \frac{V_a^2}{2g} + h_a + h_r - h_l = \frac{P_b}{\gamma} + Z_b + \frac{V_b^2}{2g} \quad (\text{Ecuacion 19})$$

Para el cálculo la ecuación queda de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \cancel{\frac{P_a}{\gamma}} + Z_a + \cancel{\frac{V_a^2}{2g}} + h_a + \cancel{h_r} - \cancel{h_l} &= \cancel{\frac{P_b}{\gamma}} + Z_b + \cancel{\frac{V_b^2}{2g}} \\ Z_a + h_a &= \frac{V_b^2}{2g} \\ h_a &= \frac{V_b^2}{2g} - Z_a \end{aligned}$$

Se debe hallar la V_b con la siguiente formula, donde el caudal (Q), se determinó de forma experimental con base a pruebas en el disco. Por lo que se estableció que para humedecer toda la superficie del disco se necesita un $Q = 6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$.

$$V_b = \frac{Q}{A_b} \quad (\text{Ecuacion 20})$$

$$V_b = \frac{6 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi/4 (0.004\text{m})^2}$$

$$V_b = 0.477 \frac{m}{s}$$

Ahora se procede a hallar h_a .

$$h_a = \frac{0.477 \frac{m}{s}}{2 * (9.81 \frac{m}{s^2})^2} - 0.002m$$

$$h_a = 0.124 \frac{J}{N} = 0.124 m$$

Al momento de definir la potencia de la bomba de agua se debe utilizar la siguiente ecuación.

$$P_a = h_a * \rho * g * Q \text{ (Ecuacion 21)}$$

Donde

$$P_a = (0.124m) * (1000 \frac{Kg}{m^3}) * (9.81 \frac{m}{s^2}) * (6 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s})$$

$$P_a = 7.318 \times 10^{-3} W$$

Con una eficiencia mecánica del 75%, se realiza el cálculo de la potencia eléctrica.

$$P_e = \frac{P_a}{em} \text{ (Ecuacion 22)}$$

$$P_e = \frac{7.318 \times 10^{-3} W}{0.75}$$

$$P_e = 9.757 \times 10^{-3} W$$

Al buscar una bomba de agua con estos parámetros se encuentra que la mayoría cumplen los requisitos por lo que se buscó la de menor tamaño, donde comercialmente se encontró la mini bomba de agua con referencia RS-360SH como se muestra en la figura 15 [21].

FIGURA 15. Mini-bomba de agua RS-360SH



Fuente: Tomada de TdRobotica

2.4 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

2.4.1 Selección del material de la estructura

Para la selección del material del prototipo se evaluaron diversos materiales de acuerdo a distintas características que afectarían en su funcionamiento al prototipo como se muestra en la tabla 11, donde se les da un grado de importancia a cada una de las características donde 5 es la calificación más alta y 1 la más baja.

Tabla 11. Evaluación y selección del material del prototipo

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Demanded Quality	Aluminio	Madera	Plástico	Acrílico
1	9	20%	3	Resistencia al oxido	○	▲	⊖	⊖
2	9	6.7%	1	Tenacidad	⊖	⊖	○	○
3	9	33.3%	5	Maleabilidad	○	⊖	⊖	○
4	9	26.7%	4	Peso	○	▲	⊖	○
5	3	13.3%	2	Costo	○	○	▲	○
Difficulty					8	6	7	8
Max Relationship Value in Column					9	9	9	9
Weight / Importance					340	446.7	753.3	420
Relative Weight					17.3%	22.8%	38.4%	21.4%

Habiendo evaluado los distintos materiales se decidió que el material que cumple con las mayoría de los requisitos en su totalidad sería el plástico, abriendo la posibilidad de diseñar la estructura a medida y mandarla a hacer por medio de prototipado rápido para mayor facilidad y provocando mayor sincronía a la hora del desarrollo de las pruebas.

2.4.2 Diseño estructural

Para el diseño estructural se busca que el prototipo sea del menor tamaño posible, para esto y teniendo en cuenta los elementos necesarios para el funcionamiento de los sistemas (movimiento y limpieza) se propone ubicarlos de manera precisa para no desperdiciar espacio, esto hace que sea manejable a la hora de ser operado por el usuario, de igual manera en consecuencia a su limitado tamaño, y conociendo las características de prototipos ya construidos como se muestra en la tabla 12 [22] se tomó como especificación que su peso no exceda de un máximo de 3 kg.

Tabla 12. Tabla comparativa de robot limpiacristales

	WINDORO	HOBOT	WINBOT W730
DIMENSIONES (CM)	21 X 20,8 X 4,7	29,5 X 14,8 X 12	23,2 X 22,5 X 9,5
PESO (KG)	3,2	0,93	2
TIEMPO DE CARGA (H)	2,5	8	2
AUTONOMIA (H)	2	0,33	2
MANDO A DISTANCIA	SI	SI	SI
PROGRAMABLE	NO	NO	NO
VELOCIDAD (M/S)	4,8	0,25 M2/min	0,15
BATERIA	Li 11,1 V 2200 mA	Li-PO 3,7 V	Li 11,1V 400 mA
RUIDO (dB)	60	DESCONOCIDO	55
SENSORES	SI	SI	SI
DEPOSITO	SI	NO	NO
PRECIO (€)*	385	425	325

Ya que siendo mayor el peso implicaría mayores riesgos a la sociedad y al funcionamiento del prototipo debido a que se emplea en una superficie vertical lo que lleva a tener en cuenta que a mayor peso del prototipo, mayor será el esfuerzo que ejercerá el sistema de agarre lo que abriría la posibilidad de experimentar mayor cantidad de errores durante su funcionamiento.

Por lo que a continuación se mostraran los diseños preliminares usados como se muestra en la figura 16, los cuales permitieron diseñar una base más acorde a las especificaciones mostradas anteriormente.

FIGURA 16. Diseño estructural preliminar 1, 2 y 3



Fuente: Desarrollado por los autores.

Ya conociendo los distintos mecanismos de agarre, movimiento y limpieza se realizaron tres diseños preliminares como se muestran en la figura 16 respectivamente, para poder seleccionar el más adecuado en cuanto a sincronía con los demás mecanismos; como se verá en la tabla 13.

Tabla 13. Selección diseño estructural

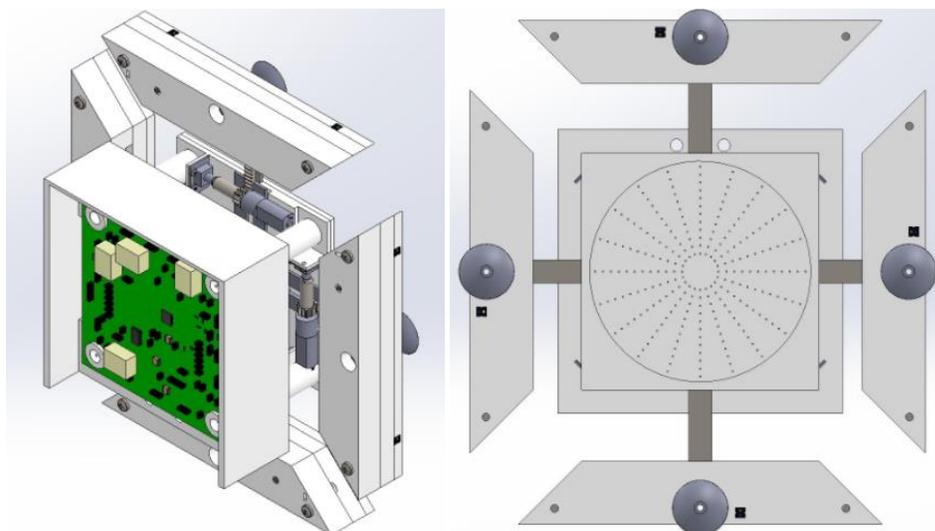
Factores	Diseño preliminar N°1	Diseño preliminar N°2	Diseño preliminar N°3
Descripción Gráfica			
Descripción	<p>Diseño desarrollado en base al diseño preliminar N°1 de agarre.</p> <p>(1) Sistema de riego.</p> <p>(2) Área sistema de</p>	<p>Diseño desarrollado en base al mecanismo de movimiento N°1 (llantas oruga).</p> <p>(1) Sistema de riego.</p>	<p>Diseño desarrollado en base a los mecanismos de agarre y movimiento seleccionados.</p> <p>(1) Sistema de riego.</p>

	agarre y movimiento.	(2) Mecanismo agarre. (3) Mecanismo de movimiento (4) Cuerda de vida.	(2) Mecanismo de movimiento (3) Pilares de soporte. (4) Sistema de agarre. (5) Sensores de proximidad.
Pros	Sistema de agarre y movimiento en un solo mecanismo.	Facilidad para el manejo de los sistemas.	Facilidad del desplazamiento del prototipo.
Contras	Dificultad de la rotación del sistema seleccionado. (cambio de dirección)	Dificultad del desplazamiento a causa del vacío de las ventosas.	Mayor cantidad de peso.

Como se vio en tabla 11 cada uno de los diseños preliminares fueron hechos basándose en los distintos sistemas de movimiento, agarre y limpieza mostrados en apartados anteriores, por lo que al momento de seleccionar los sistemas mencionados anteriormente los diseños preliminares 1 y 2 no fueron seleccionados ya que dichos mecanismos tampoco lo fueron. El diseño seleccionado fue el N°3 ya que fue diseñado de tal manera que los sistemas escogidos se acoplaran de una manera más apropiada.

Finalmente como se muestra en la figura 17, se detalla el diseño completo del prototipo hecho en SolidWorks.

FIGURA 17. Diseño final del prototipo en su totalidad



Fuente: Desarrollado por los autores.

Como se ve en la figura 17, el prototipo se compone en su mayoría de una base principal donde como se explicó en la tabla 11, los mecanismos escogidos irían colocados en las cuatro bases secundarias cuyo objetivo vendrían a ser las extremidades del prototipo que lo mantendrían sujeto al vidrio, un segundo nivel en donde iría el tanque que almacenaría el líquido limpiavidrios con los sensores de nivel, enseguida vendría un nivel exterior al segundo y que llega hasta el tercero con el espacio para las baterías y finalmente un tercer nivel en donde se posicionaría el circuito del prototipo.

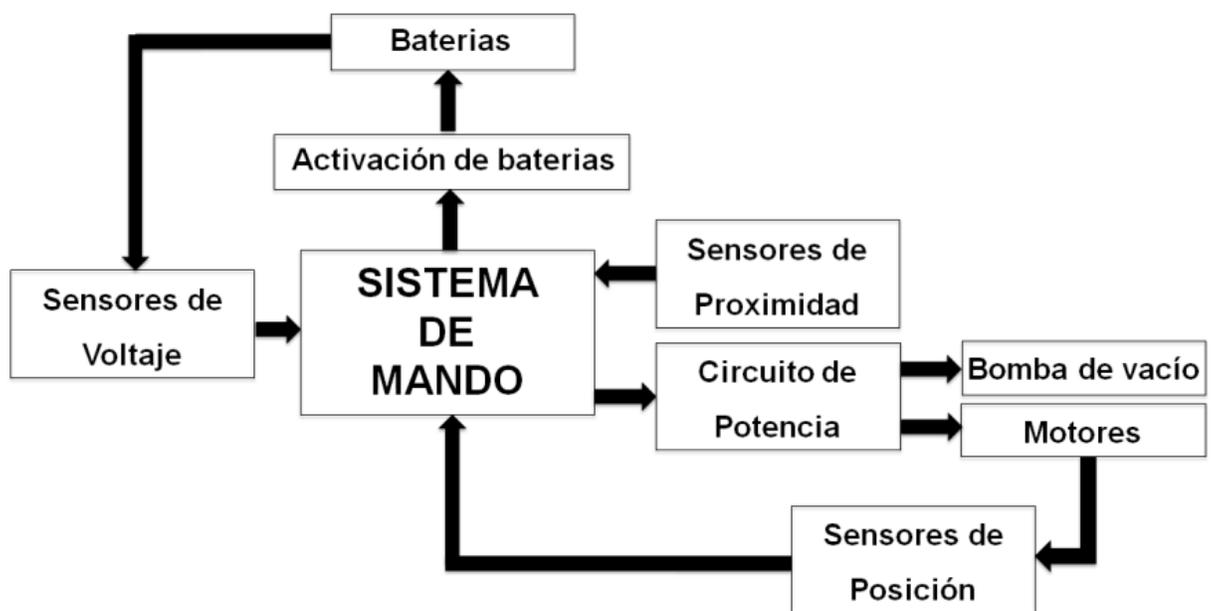
Como se puede ver la estructura tiene incorporado cuatro pilares huecos los cuales tienen tres propósitos: (1) el soporte de los niveles superiores, (2) hacer de canales entre la base y último nivel donde estaría el circuito facilitando el proceso de construcción y mejorando la presentación y (3) son aquellos que mantendrían la soga de vida para en caso de caída estos pilares soportarían el peso máximo del prototipo.

Por último se debe tener en cuenta que el diseño fue sobredimensionado como contramedida para en caso de caída u golpe esta no se fracturara, además de que los huecos interiores de los pilares deberían de ser lo suficientemente amplios para llevar todos los cables de los componentes de un nivel inferior al superior.

3. DISEÑO Y ANALISIS ELECTRONICO

En el presente capítulo se explicaran todos los cálculos y/o diseños electrónicos que fueron implementados en el prototipo de un robot limpiador de superficies verticales, para que de esta manera cumpla su funcionamiento de forma efectiva y sin riesgos críticos para la sociedad, ya que debe ejercer un control apropiado de los elementos. En la figura 18 se muestra un mapa mental de cómo está constituido la tarjeta del prototipo.

FIGURA 18. Mapa mental del circuito



Como se puede ver en el mapa mental el sistema de mando cuenta con tres tipos de sensores: 1) posición, 2) proximidad y 3) voltaje; cada uno de los cuales le permiten monitorear y tomar acciones sobre los siguientes tres sistemas: 1) control de desplazamiento, 2) detección de bordes y 3) supervisión de baterías. Estos manejan a su vez las tres partes mecánicas nombradas en el capítulo anterior. Realizando funciones como el control de extremidades, mediante un sensor de posición, el control de elementos de limpieza, entre otros elementos utilizados dentro del prototipo.

3.1 SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELECTRONICOS

3.1.1 Control de desplazamiento

El movimiento de prototipo como se ha explicado en capítulo anterior se basa en el desplazamiento de varias cremalleras en sus respectivas direcciones, para el control de desplazamiento se optó por utilizar encoder para así conocer la posición de las cremalleras y que estas se movieran las distancias programadas, para la selección del encoder se tuvo en cuenta la tabla 14.

Tabla 14. Cuadro comparativo encoder

Factores	Encoder rotatorio KY-040	Encoder infrarrojo
Descripción	Sensor de entrada giratoria que proporciona indicación en cuanto a posición y dirección según el disco codificado interno.	Sensor tipo ranura que proporciona indicación en cuanto a posición y velocidad según el disco codificado externo.
Pros	Es un sensor capaz de detectar veinte pulsos además que gracias a su entrada giratorio es fácil de acoplar a varios sistemas con motores.	Es un sensor capaz de detectar gran variedad de pulsos según el tamaño y cantidad de orificios de su disco codificado.
Contras	Dificultad en el acople a sistemas que necesiten más pulsos de los que provee.	Dificultad en el acople a del disco codificado a diferentes sistemas.

Sabiendo los pros y contras de cada sensor de posición se prosigue a evaluar las características de gran importancia como se muestra tabla 15, donde el grado de importancia de las características van de 3 cuya calificación es la más alta y 1 la más baja.

Tabla 15. Selección del sensor de posición

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Demanded Quality	Encoder rotatorio KY-040	Encoder infrarrojo
1	9	16.7%	1	Tamaño	○	⊖
2	9	50%	3	Acople	⊖	▲
3	9	33.3%	2	Cantidad de pulsos	○	⊖
Difficulty					6	8
Max Relationship Value in Column					9	9
Weight / Importance					600	500
Relative Weight					54.5%	45.5%

El encoder escogido se muestra en la figura 19 [23], de acuerdo a la tabla anterior se seleccionó el encoder rotatorio KY-040 por su minúsculo tamaño, la cantidad de pulsos necesaria y la facilidad de acople al sistema desarrollado.

Ya que el encoder seleccionado posee dos sensores infrarrojos que detectan la posición y dirección del giro del motor, se abrió la posibilidad de diseñar y crear un piñón modificado que permitiría mayor sincronía entre el motor y el sensor de posición, donde se selecciona el encoder rotatorio KY-040, el cual proporcionaría la posición de manera precisa, consiguiendo los datos necesarios para saber la distancia de desplazamiento de cada extremidad, para así controlarlas con base a sus pulsos, el cual se determina que para las extremidades laterales es de 1-3 cm y para la superior e inferior sería de 3-5 cm.

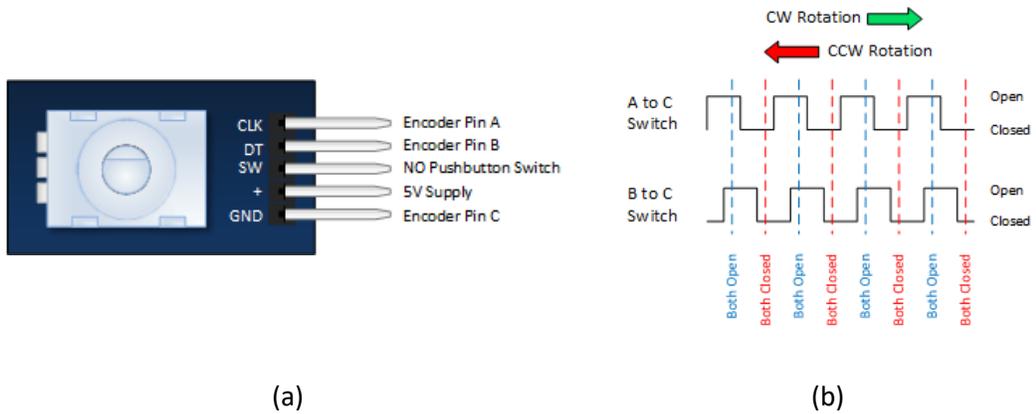
FIGURA 19. Sensor encoder rotatorio KY-040



Fuente: Tomada de Mactronica

El encoder seleccionado consta de 5 pines (CLK, DT, SW, VCC y GND) como se muestra en la figura 20a [23], donde los primeros dos son los pulsos del potenciómetro, como se muestra en la figura 20b, los cuales permiten saber la posición de cada extremidad del prototipo.

FIGURA 20. Distribución de pines y pulsos del sensor seleccionado



Fuente: Tomadas de Mactronica

3.1.2 Sensores de proximidad

Hay varios tipos de sensores de proximidad como capacitivos, inductivos, ultrasónicos, entre otros. Pero en este caso se explicara el funcionamiento del sensor de proximidad de tipo fotoeléctrico, estos normalmente están conformados con un fototransistor y un fotodiodo, el cual realiza una emisión de luz que es detectada por el receptor y dependiendo la intensidad de luz que sea captada se tiene una variación de voltaje en el foto transistor, esto se usará para detectar si el prototipo está cerca del marco de la ventana, además de detectar cuando el prototipo se encuentre sobre el vidrio y en caso de hallar una esquina o un hueco se detenga y cambie su trayectoria. Para la selección de dicho componente se hizo la comparación de dos sensores infrarrojos para así escoger el mejor como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Cuadro comparativo sensores infrarrojos

Factores	CNY70	QRD1114
Descripción	Sensor infrarrojo de corto alcance.	Sensor infrarrojo de corto alcance.
Pros	Es un sensor capaz de detectar los objetos correctamente, además tiene un rango de detección de 1mm a 10mm.	Es un sensor capaz de mantener estabilidad en el voltaje aunque tenga como obstáculo la luz solar.
Contras	Dificultad en el sensado cuando tiene interferencia con la luz solar.	Dificultad en el sensado cuando tiene obstáculos de color oscuro.

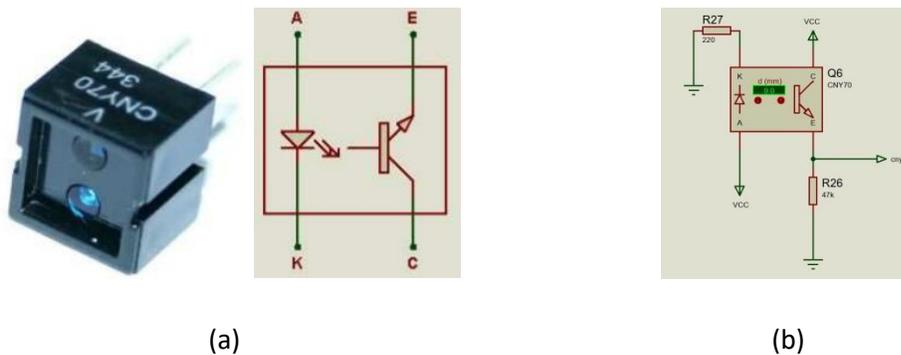
Sabiendo los pros y contras de cada sensor de proximidad se prosigue a evaluar las características de gran importancia como se muestra tabla 17, donde el grado de importancia de las características van de 4 cuya calificación es la más alta y 1 la más baja.

Tabla 17. Selección del sensor de proximidad

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Demanded Quality	Sensor CNY70	Sensor QRD1114
1	9	10%	1	Tamaño	⊖	⊖
2	9	30%	3	Distancia de sensado	⊖	○
3	9	20%	2	Interferencia con la luz	▲	⊖
4	9	40%	4	Detección de objetos claros	⊖	○
Difficulty					6	8
Max Relationship Value in Column					9	9
Weight / Importance					740	480
Relative Weight					60.7%	39.3%

De la tabla anterior y de acuerdo a la necesidad del proyecto, se elige usar sensores CNY70 como se muestra en la figura 21a [24] y su configuración se muestra en la figura 22b, ya que con estos, se puede tener un mejor control del robot, en cuanto a choque contra marcos o en caso de que se termine la superficie de agarre ya que posee un rango de detección amplio en cuanto a la necesidad del prototipo.

FIGURA 21. Sensor CNY70



Fuente: Tomada de Mactronica

3.1.3 Sistema de mando

Para el control del prototipo se optó por buscar la forma más cómoda en cuanto a tamaño y eficacia. (Eficacia referente a no desperdiciar espacios o memoria de un microcontrolador), ya que con lo requerido en el prototipo no es necesario tener abundantes modulos, si no los apropiados. Con base a esto se realizó una tabla comparativa entre varios microcontroladores de distintos fabricantes como se muestra en tabla 18 [25] [26] [27].

Tabla 18. Tabla comparativa microprocesadores

Factores	PIC18F4550	Atmega328	Msp430f2274
Fabricante	Microchip	Atmel	Texas Instruments
Pines de programación entrada-salida	35 Pines	28 Pines	33 Pines
Canales de conversión ADC.	13 Canales	8 Canales	15 Canales
Frecuencia de oscilación interna	32Khz<Fr<8Mhz	128Khz<Fr<20MHz	32Khz<Fr<16MHz
Canal de bus universal serial	1 Canal	1 Canal	1 Canal

Sabiendo los datos de cada microprocesador se prosigue a evaluar las características de gran importancia como se muestra tabla 19, donde el grado de importancia de las características van de 4 cuya calificación es la más alta y 1 la más baja.

Tabla 19. Selección del microprocesador

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Demanded Quality	Microchip PIC18F4550	Atmel Atmega328	Texas Instruments Msp430I2274
1	9	40%	4	Cantidad de pines	⊖	○	⊖
2	9	10%	1	Frecuencia de oscilación interna	○	⊖	⊖
3	9	20%	2	Canales de conversión ADC.	⊖	○	⊖
4	9	30%	3	Conocimiento de plataforma	⊖	▲	▲
Difficulty					6	8	8
Max Relationship Value in Column					9	9	9
Weight / Importance					840	360	720
Relative Weight					43.8%	18.8%	37.5%

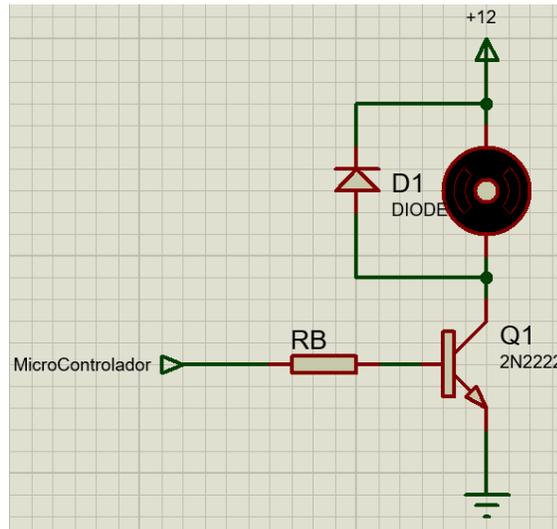
De acuerdo con la tabla anterior, y haciendo un análisis de las diferentes características de estos microcontroladores, se toma la decisión de seleccionar el microcontrolador PIC18F4550 porque es el que posee la mayor cantidad de pines entre todas las opciones, sin embargo ya que el proyecto consta de una vasta cantidad de conexiones se decidió por crear la tarjeta con dos de ellos y una programación maestro-esclavo.

3.2 DISEÑO DE LA TARJETA DE CONTROL

3.2.1 Etapa de potencia

La etapa de potencia para el funcionamiento de las bombas de vacío, se hará a través de un transistor 2n2222 teniendo en cuenta que cada bomba de vacío es de 350mA y el transistor ofrece una corriente máxima (I_{CSat}) de 600mA. El cual será activado por la señal del microcontrolador, como se verá en la figura 22.

FIGURA 22. Simulación de etapa de potencia bombas de vacío



Fuente: Simulación hecha en ISIS Proteus.

Para desarrollar la simulación mostrada anteriormente se prosiguió a calcular la resistencia R_B , donde es necesario realizar una malla por leyes de voltaje de Kirchoff, la cual es de la siguiente manera.

$$-V_{in} + I_B * R_B + V_{BE} = 0 \text{ (Ecuacion 23)}$$

Luego se despejo la ecuación anterior para hallar R_B .

$$R_B = \frac{(V_{in} - V_{BE})}{I_B} \text{ (Ecuacion 24)}$$

Sabiendo los valores necesarios para calcular R_B se prosigue a calcular las incógnitas de la ecuación como I_B , donde para hallar dicho valor se deben conocer I_C y β , los cuales son dados por el motor, que es la carga del transistor y el beta que es el H_{fe} del transistor, que son $I_C = 350mA$ y $\beta=300$.

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \text{ (Ecuacion 25)}$$

$$I_B = \frac{350mA}{300}$$

$$I_B = 1,16mA$$

Al haber hallado I_B se procede a hallar R_B .

$$R_B = \frac{(5V - 0,7V)}{1,16mA}$$

$$R_B = 3,708K\Omega$$

Al momento de seleccionar, la resistencia comercial más cercana es de $3.3K\Omega$.

En el caso del motor del disco, se utilizará el mismo mecanismo de etapa de potencia que en las bombas, ya sabiendo que el motor consume $300mA$, se puede usar el mismo transistor que para las bombas de vacío, el cual es el 2n2222, con esto se procede a hallar R_B , teniendo en cuenta que los parámetros son $I_C = 300mA$ y $\beta=300$.

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$I_B = \frac{300mA}{300}$$

$$I_B = 1mA$$

Al haber hallado I_B se procede a hallar R_B .

$$R_B = \frac{(5V - 0,7V)}{1mA}$$

$$R_B = 4,3K\Omega$$

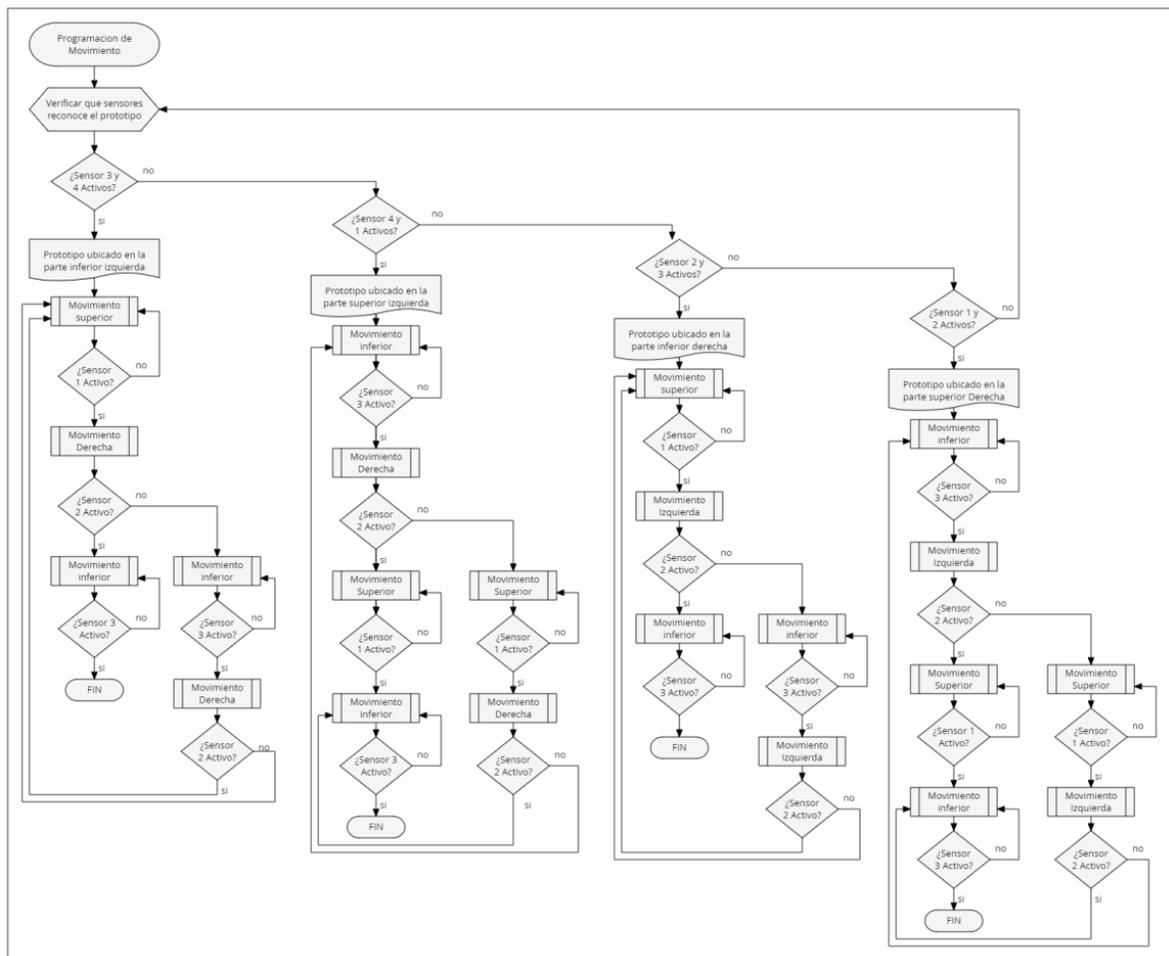
Al momento de seleccionar, la resistencia comercial más cercana es de $3,9K\Omega$.

Para la etapa de potencia de los motores de movimiento, se debe tener en cuenta los parámetros de cambio de giro y que por cada motor debe soportar una corriente mínima de $325mA$. Con estos parámetros primero se determina que el método más ideal para realizar esta etapa de potencia es con un puente "H", al buscar un puente "H" con estas características, se encuentra que el integrado "L293D" cumple con estas, ya que puede controlar dos motores de modo independiente, con capacidad máxima en corriente de $600mA$ por cada motor.

3.2.2 Diagramas de flujo

La programación que se desarrolló para el control del prototipo, consta de un programa general, en el cual estan predeterminadas las rutas que tomara el prototipo según el posicionamiento inicial sobre la ventana, sea que comience en cualquiera de las diferentes esquinas con base a los sensores de proximidad que detectaran los bordes, para mayor comprensión del esquema se enumeraron los sensores de cada extremidad de 1 a 4 siendo: (sensor 1 = lado superior, sensor 2 = lado derecho, sensor 3 = lado inferior y sensor 4 = lado izquierdo) como se muestra en la figura 23.

FIGURA 23. Diagrama de flujo general



Para mayor comprensión del diagrama mostrado en la figura 23, se crearon subrutinas que desarrollarían los movimientos en las diferentes direcciones (arriba, abajo, derecha e izquierda) como se muestran en los diagramas de flujo en el ANEXO C.

Teniendo como referencia los diagramas mostrados en la figura 23 y en el ANEXO D, se puede establecer que el prototipo cuenta con la autonomía suficiente para saber la trayectoria a seguir

dependiendo su punto de inicio. Además con las pequeñas subrutinas de movimiento que se crearon se minimizo notoriamente la programación requerida para el funcionamiento del prototipo, haciéndolo un método sencillo para la toma de decisión y desplazamiento del prototipo.

3.3 FUENTE DE PODER

3.3.1 Análisis energético de la batería

Para el análisis energético de las baterías, se tiene en cuenta que el circuito digital las bombas de aire y los motores se alimentaran por separado. Además se tendrá una batería de respaldo en caso de que alguna de las anteriores falle o se descargue antes de que el robot termine con su trabajo.

Batería para el circuito digital: Para el análisis energético de esta batería se debe tener en cuenta el consumo máximo en miliamperios (mA) que consumirá, en el circuito digital se encuentra, controladores, sensores proximidad y sensores de nivel de agua. Al realizar pruebas se determina que la corriente máxima que consume el circuito es de 280mA. Para determinar la batería que se necesita, se utiliza la siguiente ecuación [28].

$$Carga\ bateria = Consumo\ electrico\ (mA) * Tiempo\ funcionamiento\ (h) \quad (Ecuacion\ 26)$$

Por la capacidad del sistema de limpieza, se estima que el tiempo de trabajo del robot es de 2 horas, por lo que se realizaran todos los cálculos de todas las baterías con dicho tiempo.

$$Carga\ bateria = 300mA * 2h$$

$$Carga\ bateria = 600mA * h$$

Por lo que se debe seleccionar una batería con una capacidad eléctrica mínima de 600mA*h.

Batería para las bombas de aire: Para esta batería se debe tener en cuenta, que también estará conectada la bomba de agua del sistema de limpieza. Su corriente máxima de funcionamiento es de 1200mA.

$$Carga\ bateria = 1200mA * 2h$$

$$Carga\ bateria = 2400mA * h$$

Batería para los motores: En esta batería se incluye el motor del disco, su corriente máxima de funcionamiento es de 1000mA.

$$Carga\ bateria = 1000mA * 2h$$

$$Carga\ bateria = 2000mA * h$$

Batería de reserva: Esta batería se usara únicamente en caso de que alguna de las baterías anteriores fallen o se descarguen, por lo que esta batería se seleccionara de la misma capacidad eléctrica que la batería de las bombas, ya que es la de mayor capacidad eléctrica.

3.3.2 Selección de la batería

Ya calculada la energía que necesita cada una de las baterías (circuito digital, motores, bombas de vacío y reserva, para poder seleccionar el tipo de batería más adecuado en cuanto a amperaje necesitado y menos impacto ambiental se realizó una comparación; como se verá en la tabla 20.

Tabla 20. Comparación de tipos de baterías

Características	Ni-MeH	Li-ion	Ni-Cd
Ciclo de vida (hr)	1000-2000	500-1000	1000-1500
Rendimiento	70%	>95%	75%
Tiempo de Carga	2h-4h	2h-4h	10h-14h
Voltaje por Celda	1,2 V	3,7 V	1,2 V
Contaminante	Media	Media	Alta
Auto-Descarga	20%	6%	30%

Teniendo en cuenta la tabla 20, se determina que las baterías más apropiadas son las de ion de litio debido a que tienen una alta capacidad de carga, son livianas y su tamaño es muy reducido.

3.3.3 Supervisión de baterías

En caso de que el robot no complete la rutina deseada por falta de energía o por algún fallo en alguna de las baterías, se optó por monitorear las baterías con sensores de voltaje que envían una señal al sistema de mando, y éste decide cuando se usará la batería de reserva, donde esta se accionaría por medio de un relé conectado a cada batería, los cuales son controlados desde el sistema de mando.

Para la selección de los relés se necesitan cumplir las siguientes condiciones, que la bobina de activación sea a 5VDC, y que soporte una capacidad mínima de 2400mA en sus contactos.

Buscando en el mercado se encuentra el relé "SRD-5VDC-SL-C" que cumple con las especificaciones, como se ve en la figura 26, se observa que su bobina se activa con 5VDC, y soporta 10A en sus contactos, también cuenta con un diseño de tamaño mínimo, lo cual ahorra espacio.

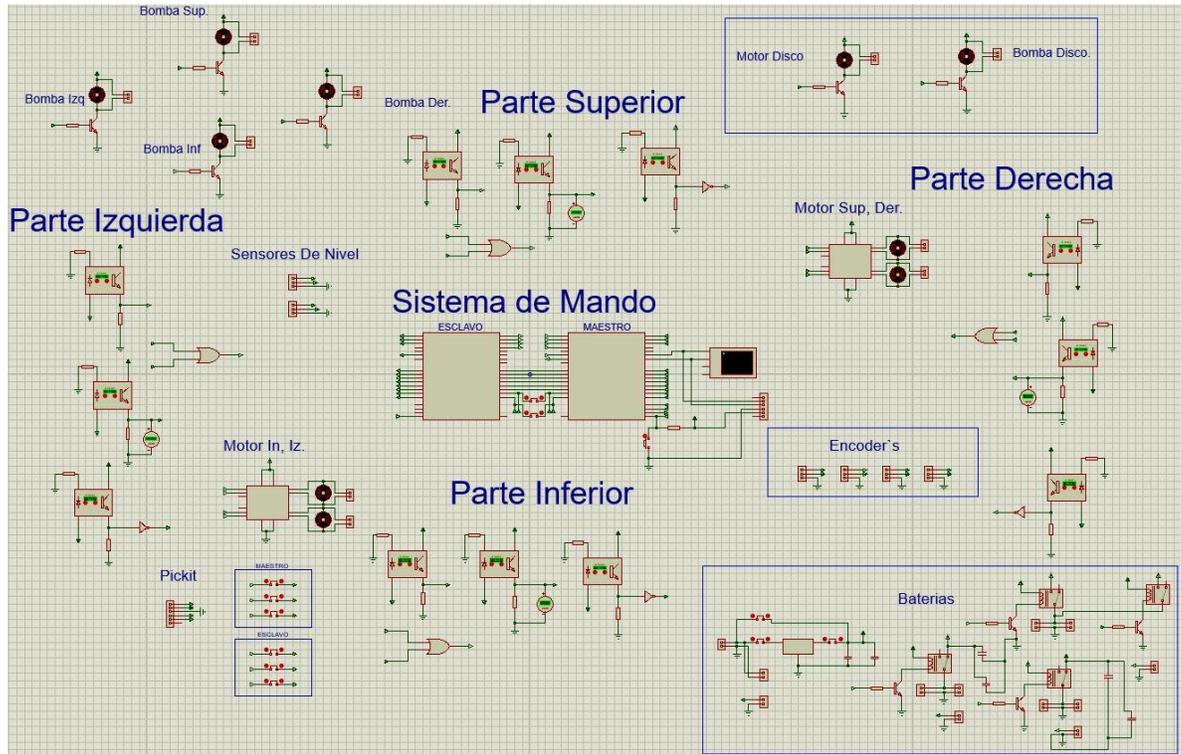
FIGURA 24. Relé "SRD-5VDC-SL-C"



Fuente: Tomada de Banggood

Además en la figura 27 se puede observar de forma general, cómo está dividido el circuito con todos sus componentes y cuál es su implementación, en el ANEXO B se puede observar el plano electrónico y el diseño PCB de la tarjeta.

FIGURA 25. Esquemático general del circuito



Por último, ya habiendo seleccionado todos los componentes que se le implementaran a la tarjeta, se procede a realizar una comparación entre los pesos de distintos módulos, con el cual se determina cual es el sistema de mando del prototipo como se muestra en la tabla 21. [29][30][31][32]

Tabla 21. Cuadro comparativo de pesos de tarjetas

Componente	Raspberry	Arduino	Tarjeta actual
Placa	90 gr	74 gr	142 gr
Relés	58 gr	58 gr	24 gr
Control de motores	42 gr	42 gr	-----
Control de bombas	36 gr	36 gr	-----
Base	40 gr	40 gr	-----
Total	266 gr	250 gr	166 gr
Porcentaje de Ganancia (%)	60,24%	50,6%	

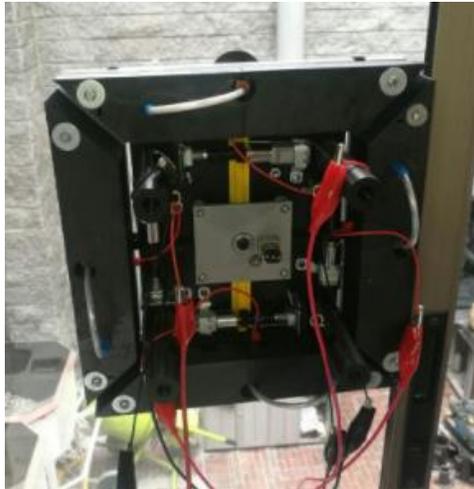
Analizando la tabla anterior se puede comprobar que la creación de una tarjeta propia, es más efectiva que el uso de tarjetas convencionales ya que se deben hacer acoples con diferentes módulos, mientras que en el diseño propio ya viene todo integrado.

4. RESULTADOS Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

4.1 PRUEBAS MECÁNICAS

Se realizaron pruebas mecánicas en los siguientes sistemas: 1) agarre, 2) movimiento y 3) limpieza. Primero se probó el agarre del prototipo a la ventana como se muestra en la figura 28, se observó que el agarre de las ventosas fue óptimo al ser capaz de sostener su peso máximo durante su funcionamiento.

FIGURA 26. Pruebas de agarre prototipo – ventana



Fuente: Desarrollado por los autores.

Segundo se desarrollaron pruebas de movimiento con cada una de las extremidades en la figura 29 se puede ver el prototipo con todas sus extremidades en su máximo rango de movimiento, se observó que el movimiento por medio del piñón y la cremallera fue constante y sin interrupciones o saltos.

FIGURA 27. Pruebas de movimiento motor – piñón y cremallera



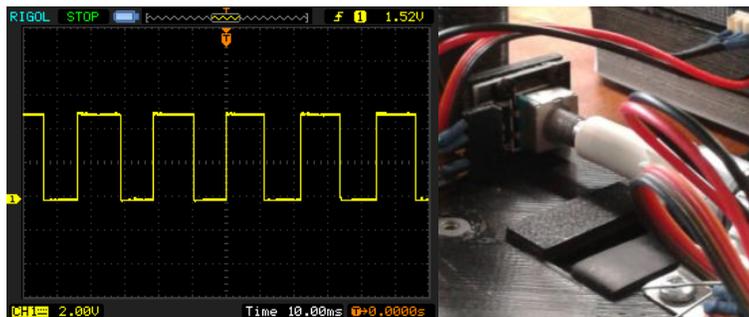
Fuente: Desarrollado por los autores.

Tercero se realizaron pruebas de movimiento con el disco limpiador sobre la ventana, teniendo en cuenta la presión que genera el prototipo y el sistema de agarre sobre esta, se observó que el movimiento rotatorio del disco fue continuo, demostrando que la conexión entre el piñón del motor y el engranaje del disco es la correcta.

4.2 PRUEBAS ELECTRÓNICAS

Se realizaron distintas pruebas a los componentes correspondientes, encoder (KY-040) y sensores de proximidad (CNY70). Primero se probaron los encoder con relación al sensado de los pulsos que toma en cuanto al giro del motor, como se muestra en la figura 30, se observó que los pulsos se comportaban de la manera correspondiente, al momento de girar el encoder detectaban cada uno de los giros mostrando que podría controlar apropiadamente el motor y a su vez las cremalleras.

FIGURA 28. Pruebas de encoder detección de pulsos



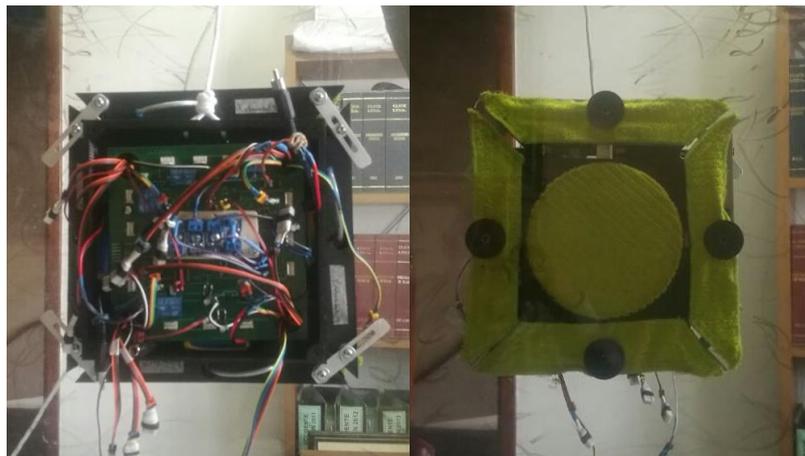
Fuente: Desarrollado por los autores.

Segundo se probaron los sensores de proximidad en cada una de las extremidades, se observó que el cambio de voltaje de cuando está cerca y lejos de una superficie es considerable para la tarea requerida.

4.3 PRUEBAS DE ACOPLE

Habiendo desarrollado ambas pruebas mecánicas e electrónicas se prosigue a acoplar el circuito, todos los componentes electrónicos y conexiones a la estructura como se muestra en la figura 31. Y finalmente realizar pruebas al circuito en cuanto a la programación e autonomía de seguir las rutas predeterminadas por los creadores mostrando la limpieza desarrollada por el prototipo.

FIGURA 29. Pruebas de acople vista delantera y trasera



Fuente: Desarrollado por los autores.

4.4 CORRECCIONES

Tras hacer la realización de las pruebas de acople se hallaron tres dificultades y una forma de mejorar la limpieza, en el movimiento, motores, sensores de proximidad y microfibras en las extremidades respectivamente como se muestra a continuación: 1) el movimiento de las cremalleras al no tener un soporte, al moverse se salían de los carriles provocando que la base principal se cayera al no tener la extremidad que le permitía la adherencia a la ventana.

FIGURA 30. Soporte de las cremalleras – base principal



Fuente: Desarrollado por los autores.

La solución que se aplicó fue el de diseñar unos rieles como se muestra en la figura 32, para que el movimiento de las cremalleras no se salieran y siempre estuvieran sujetas a la base principal, 2) la fuerza de los motores presentaban un ligero salto provocando que el piñón adaptado al motor no hicieran conexión con la cremallera ocasionando que el movimiento no fuera continuo.

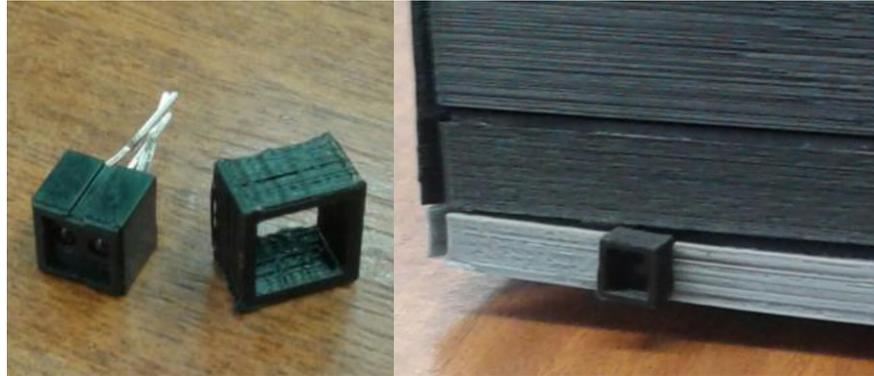
FIGURA 31. Soporte de los motores



Fuente: Desarrollado por los autores.

La solución que se implementó fue la de construir soportes a medida para cada uno de los motores como se muestra en la figura 33, para que el movimiento fuera continuo y 3) el sensado de los sensores de proximidad que a pesar de probarlos horizontalmente no presentaban dificultades pero ya que el prototipo se emplea de forma vertical la luz solar se reflejaba hacia ellos directamente por lo que no detectaba correctamente los bordes.

FIGURA 32. Cuadros correctores de detección de sensores CNY70

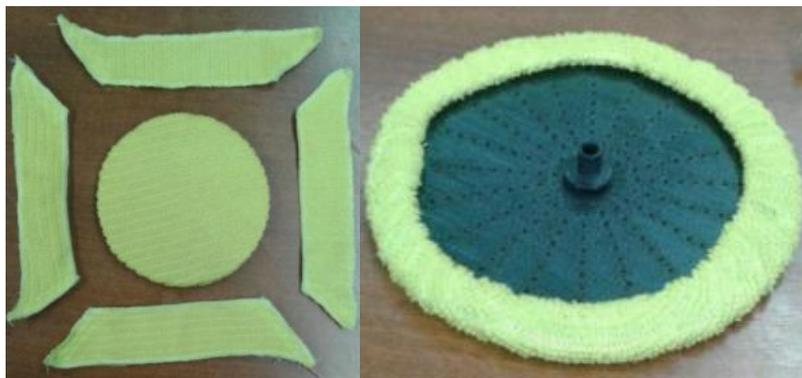


Fuente: Desarrollado por los autores.

La solución que se propuso fue la de proteger los sensores de la luz solar con unos cuadros diseñados a medida a los CNY70 como se muestra en la figura 34, para que la detección de los bordes mejorara considerablemente.

Por último se propuso una manera de mejorar la limpieza de las ventanas al implementar microfibras no solo en el disco sino también en las extremidades del prototipo como se muestra en la figura 35, para que a medida de que el disco limpiara las extremidades secaran al momento de pasar por la parte mojada.

FIGURA 33. Microfibras implementadas en el prototipo

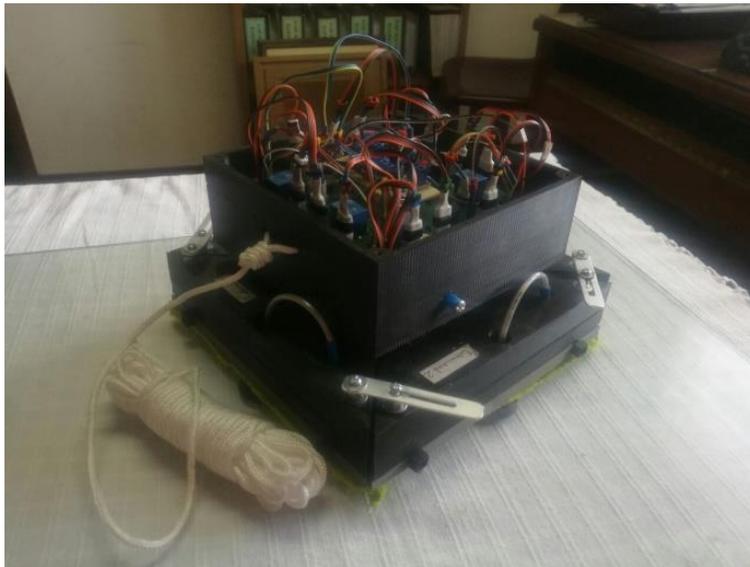


Fuente: Desarrollado por los autores.

4.5 PRUEBAS FINALES

Ya habiendo desarrollado las correcciones apropiadas al prototipo se realizaron las pruebas finales mostrando resultados como: 1) el correcto seguimiento de las rutas predeterminadas mostrando la autonomía del prototipo en cuanto a movimiento y limpieza, 2) la detección de los bordes para el cambio de dirección de acuerdo a lo programado en el circuito. Finalmente en la figura 36, se muestra el prototipo terminado.

FIGURA 34. Prototipo final



Fuente: Desarrollado por los autores.

5. CONCLUSIONES

- Con los sistemas de agarre y movimiento seleccionados se demostraron un aumento en la seguridad y precisión del prototipo, aunque a causa de su reducido tamaño hubo disminución en la distancia y velocidad del desplazamiento.
- Al realizar un diseño propio de la tarjeta, y no utilizar las ya existentes en el mercado (raspberry, Arduino, beaglebone, etc.), reduce el peso y tamaño, puesto que solo utiliza los elementos necesarios, además de facilitar el acople a la estructura reduciendo el espacio.
- Al realizar un código de programación, se diseñó de tal manera que los ciclos de movimiento tanto del robot como de su parte de limpieza, fueran precisos, además se obtuvo un dominio completo de todos los sistemas del prototipo.
- Como resultado de las pruebas se comprobó el diferente funcionamiento de sus sistemas, además se observó el sistema de movimiento y se examinó el sistema de limpieza lo que llevo a la autonomía del prototipo.

6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1 RECOMENDACIONES

Para el funcionamiento y mantenimiento del “CLEANBOT”, se recomienda tener en cuenta los siguientes puntos.

1. El prototipo siempre debe iniciar en una esquina del vidrio.
2. El robot debe posicionarse, hacia arriba, teniendo como referencia la sogá de vida.
3. No se debe dejar desocupar el tanque completamente.
4. No se debe poner a trabajar el robot sin sogá de vida.
5. Después de cada uso, se recomienda el lavado de los paños exteriores y de la microfibrá del disco.

6.2 TRABAJOS FUTUROS

Teniendo en cuenta el prototipo, se ha pensado en realizar una siguiente versión, contemplando y mejorando el CLEANBOT en los distintos aspectos:

1. Implementar un sistema de desplazamiento por cilindros electro-neumáticos
2. Implementar un sistema de monitoreo del prototipo a distancia.
3. Realizar un sistema de verificación de limpieza del vidrio, por medio de imágenes.
4. Implementar un sensor giroscópico, para conocer los grados de inclinación de la superficie y prevenir caídas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **SEGUROS DE RIESGOS LABORALES SURAMERICANA S.A.** PDF: Resolucion 1409 a 2012. [En línea] [Citado el: 20 de 11 de 2015.] http://www.arlsura.com/files/res1409_2012.pdf.
2. Trabajo en altura. *Copernico Escuela Colombiana de Ingenieria*. [En línea] [Citado el: 05 de 12 de 2017.] <http://copernico.escuelaing.edu.co/lpinilla/www/protocolos/ERGO/trabajoenaltura.pdf>.
3. **Sohail Abdulla, Bill Collis**. TKI. [En línea] [Citado el: 06 de 01 de 2016.] <http://technology.tki.org.nz/Resources/Student-showcases/Construction-and-mechanical-technologies/Robotic-window-cleaner>.
4. **Kubatova, Lucie**. Electrolux Design Lab. [En línea] [Citado el: 7 de 01 de 2016.] <http://electroluxdesignlab.com/en/submission/gecko-window-cleaner/>.
5. **Julia Bleck, Michael Liu, Erin O'Malley, Andria Ramírez**. Rice University. [En línea] [Citado el: 08 de 01 de 2016.] <http://news.rice.edu/2013/04/22/students-lofty-goal-is-clear/>.
6. **FESTO**. *Técnica de vacío*. [En línea] [Citado el: 20 de 01 de 2016.] https://www.festo.com/cms/es_es/9788.htm.
7. **Shintake J., Rosset S., Schubert B., Floreano D., Shea H**. Online Library Wiley. PDF: *Versatile soft grippers with intrinsic electroadhesion based on multifunctional polymer actuators*. [En línea] [Citado el: 25 de 01 de 2016.] <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.201504264/full>.
8. TdRobotica. [En línea] [Citado el: 01 de 02 de 2016.] <http://tdrobotica.co/bomba-de-vacio-12v/200.html>.
9. ElectronicLab. [En línea] [Citado el: 02 de 02 de 2017.] <https://electronilab.co/tienda/mini-bomba-aire-vacio-12vdc/>.
10. Vuototecnica Vacuum Solution. *DirectIndustry*. [En línea] [Citado el: 15 de 02 de 2017.] <http://pdf.directindustry.es/pdf/vuototecnica/vacuum-solutions/26412-642529.html#search-ventajas>.
11. Airbest Vacuum Technology. *DirectIndustry*. [En línea] [Citado el: 16 de 03 de 2017.] <http://pdf.directindustry.es/pdf-en/airbest-pneumatics-co-ltd/airbest-vacuum-technology/71536-626845.html#open>.
12. Dimensionamiento de las ventosas. *SCHMALZ*. [En línea] [Citado el: 24 de 03 de 2017.] <https://www.schmalz.com/es/saber-de-vacio/el-sistema-de-vacio-y-sus-componentes/ventosas-de-vacio/dimensionamiento-de-las-ventosas/>.
13. Wall climbing robot project made by student. *Youtube*. [En línea] [Citado el: 07 de 06 de 2017.] <https://www.youtube.com/watch?v=ShB4TbJWtFc>.
14. *E-DUCATIVA*. [En línea] [Citado el: 06 de 07 de 2017.] <http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1102/html/pinoncremallera.jpg>.
15. Top10 Fabrica 12V electrica pequeños motores DC 60rmp, 3kgcm, 20mm, 12V dc motorreductor. *Alibaba*. [En línea] [Citado el: 15 de 07 de 2017.] <https://spanish.alibaba.com/p->

detail/top10-factory-12v-electric-small-dc-motors-60rpm-3kgcm-20mm-12v-dc-geared-motors-60621881918.html.

16. **R.L, Norton.** Engranajes Rectos. Tabla 8.14. *Diseño de Maquinas, un enfoque integrado.* México : Pearson , 2011.

17. **R.L., Norton.** Engranajes Rectos. Tabla 8.20. *Diseño de Maquinas, un enfoque integrado.* México : Pearson, 2011.

18. **R.L, Norton.** Engranaje Rectos. Figura 8.25. *Diseño de Maquinas, un enfoque integrado.* México : Pearson, 2011.

19. **R.L, Norton.** Engranajes Rectos. Tabla 8.21. [aut. libro] Norton R.L. *Diseño de Maquinas, un enfoque integrado.* México : Pearson, 2011.

20. **R.L, Norton.** Engranajes Rectos. Tabla 8.9. *Diseño de Maquinas, un enfoque integrado.* México : Pearson, 2011.

21. Agua RS-360SH. *TdRobotica.* [En línea] [Citado el: 16 de 07 de 2017.] <http://tdrobotica.co/minibomba-de-agua-rs-360sh/453.html>.

22. Comparativa robots limpiacristales. *Robots al detalle.* [En línea] [Citado el: 05 de 12 de 2017.] <http://robotsaldetalle.es/comparativas/comparativa-robots-limpiacristales/>.

23. Sensor Encoder Rotatoria KY-040. *Mactronica.* [En línea] [Citado el: 18 de 07 de 2017.] <http://www.mactronica.com.co/sensor-encoder-rotatorio-ky040-75426600xJM>.

24. Sensor Infrarojo CNY70. [En línea] [Citado el: 18 de 07 de 2017.] http://www.iesluisdelucena.es/dpp/docs/presentaciones/El_sensor_cny70_rev021210.pdf.

25. PIC18F4550 Datasheet. *Microchip.* [En línea] [Citado el: 17 de 08 de 2017.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>.

26. ATMEL328 Datasheet. *ATMEL.* [En línea] [Citado el: 17 de 08 de 2017.] http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf.

27. MSP430F2274-EP Datasheet. *Texas Instruments.* [En línea] [Citado el: 17 de 08 de 2017.] <http://www.ti.com/product/msp430f2274-ep?HQS=TI-null-null-alldatasheets-df-pf-SEP-wwe&DCM=yes>.

28. Aspectos Tecnicos de las Baterias. *AutoSolar.* [En línea] [Citado el: 14 de 08 de 2017.] <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/como-calcular-la-capacidad-de-las-baterias>.

29. Arduino MEGA Genérico. *TeslaBem.* [En línea] [Citado el: 05 de 12 de 2017.] <http://teslabem.com/arduino-mega-2560-generico.html>.

30. MODULO CONTROLADOR MOSFET. *Shop Master.* [En línea] [Citado el: 05 de 12 de 2017.] <https://shop.master.com.mx/product/detail?id=7770>.

31. Raspberry Pi : tabla técnica completa. *Raspberry para torpes.* [En línea] [Citado el: 05 de 12 de 2017.] <https://rasberryparatorpes.net/raspberry-pi-tabla-tecnica-completa/>.

32. MODULO DE 4 RELEVADORES. *Shop Master*. [En línea] [Citado el: 05 de 12 de 2017.]
<https://shop.master.com.mx/product/detail?id=7542>.

ANEXO A.
QFD DEL PROTOTIPO

PROYECTO PG 15-2-38
CLEANBOT “ROBOT LIMPIADOR DE
SUPERFICIES VERTICALES”

ANEXO A. QFD DEL PROTOTIPO

El Contenido del siguiente anexo está bajo las Normas Técnicas Colombianas (NTC) 1687.

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Demanded Quality	Column #													
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Direction of Improvement:					▲	▲	▲		▲		▲		▲	▲				▼
					Sistema de Agarre	Bomba de agua	Tanque de Almacenamiento	Sensores de Proximidad	Baterias	Supervision de Baterias	Linea de Vida	Sensor de extremidad	Sistema para extraer la Extremidad	Circuito Compacto	Manual	Sistema de Limpieza	Material del Prototipo	Costo
1	9	18.2%	10	Se mueva vertical	○				○					○				○
2	9	7.3%	4	Sin cables externos	▲				○	○						▲		
3	9	5.5%	3	Sin mangueras externas		○	○		○									
4	9	9.1%	5	Liviano	○	○	○							○		○	○	○
5	9	10.9%	6	Tamaño pequeño	○								○	○		▲	○	○
6	9	16.4%	9	Funcione sobre vidrio	○											○		
7	9	14.5%	8	Limpie el vidrio		○	○		○			○	○	○		○		○
8	9	12.7%	7	Seguro	○				○	○	○					○	○	○
9	9	3.6%	2	No se choque				○			▲			○				
10	9	1.8%	1	Fácil de usar					○		○				○	○		
Difficulty					10	5	5	6	8	2	1	5	10	10	6	9	7	9
Max Relationship Value in Column					9	9	9	9	9	9	9	3	9	9	9	9	9	9
Weight / Importance					536.4	174.5	174.5	32.7	343.6	180	123.6	43.6	229.1	223.6	16.4	269.1	229.1	392.7
Relative Weight					18.1%	5.9%	5.9%	1.1%	11.6%	6.1%	4.2%	1.5%	7.7%	7.5%	0.6%	9.1%	7.7%	13.2%

ANEXO B.
PLANOS MECÁNICOS

PROYECTO PG 15-2-38
CLEANBOT “ROBOT LIMPIADOR DE
SUPERFICIES VERTICALES”

ANEXO B. PLANOS MECÁNICOS

El Contenido del siguiente anexo está bajo las Normas Técnicas Colombianas (NTC) 1687, 1777 y 1914.

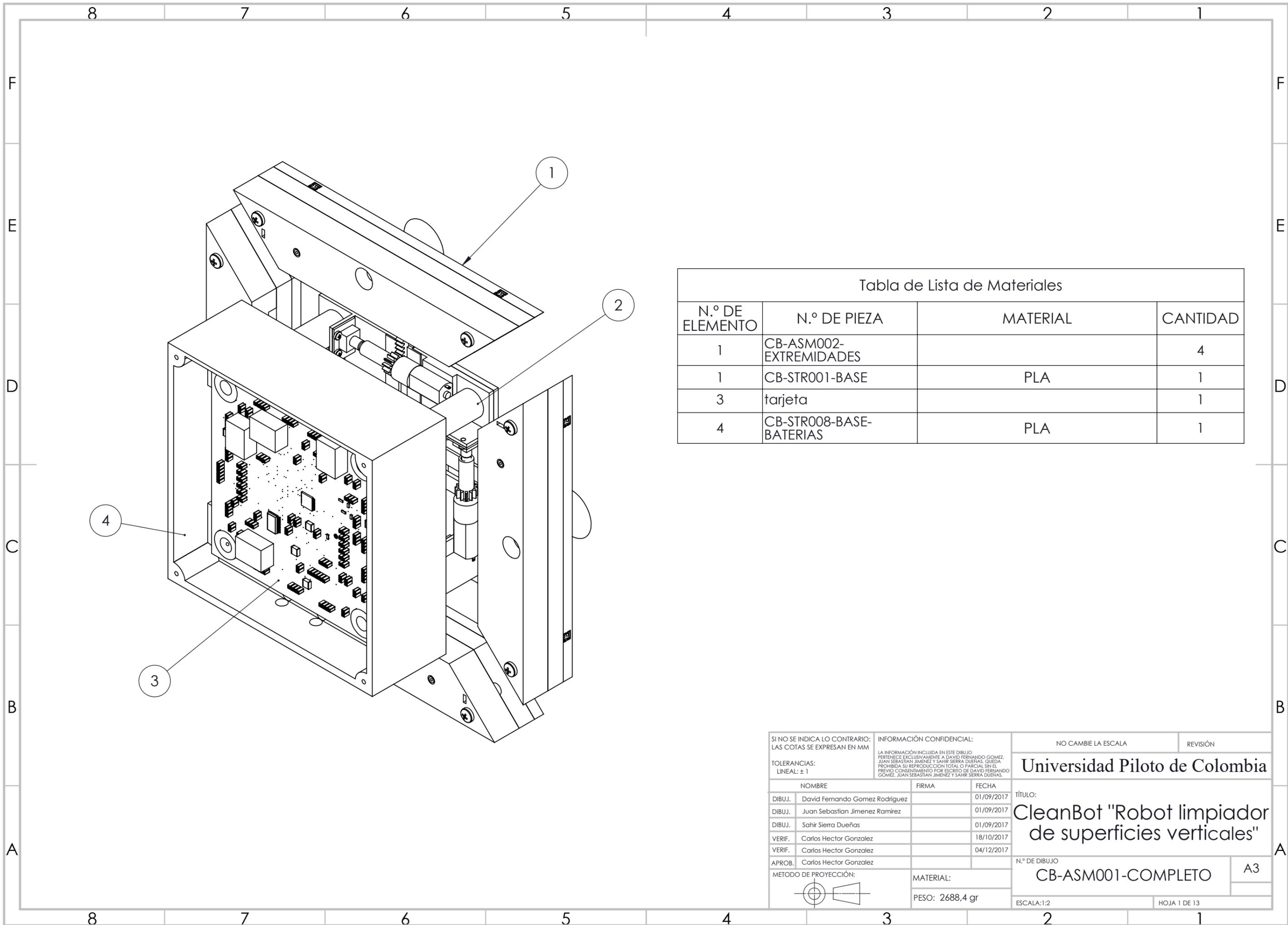


Tabla de Lista de Materiales

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	CB-ASM002-EXTREMIDADES		4
1	CB-STRO01-BASE	PLA	1
3	tarjeta		1
4	CB-STRO08-BASE-BATERIAS	PLA	1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		INFORMACIÓN CONFIDENCIAL: <small>LA INFORMACIÓN INCLUIDA EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE A DAVID FERNANDO GÓMEZ, JUAN SEBASTIÁN JIMÉNEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS. QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE DAVID FERNANDO GÓMEZ, JUAN SEBASTIÁN JIMÉNEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS.</small>	
TOLERANCIAS: LINEAL: ± 1		NOMBRE	FIRMA
		DIBUJ.	FECHA
		DIBUJ.	
		DIBUJ.	
		VERIF.	
		VERIF.	
		APROB.	
MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
PESO: 2688,4 gr		A3	
MATERIAL:		ESCALA: 1:2	
PESO: 2688,4 gr		HOJA 1 DE 13	

NO CAMBIE LA ESCALA

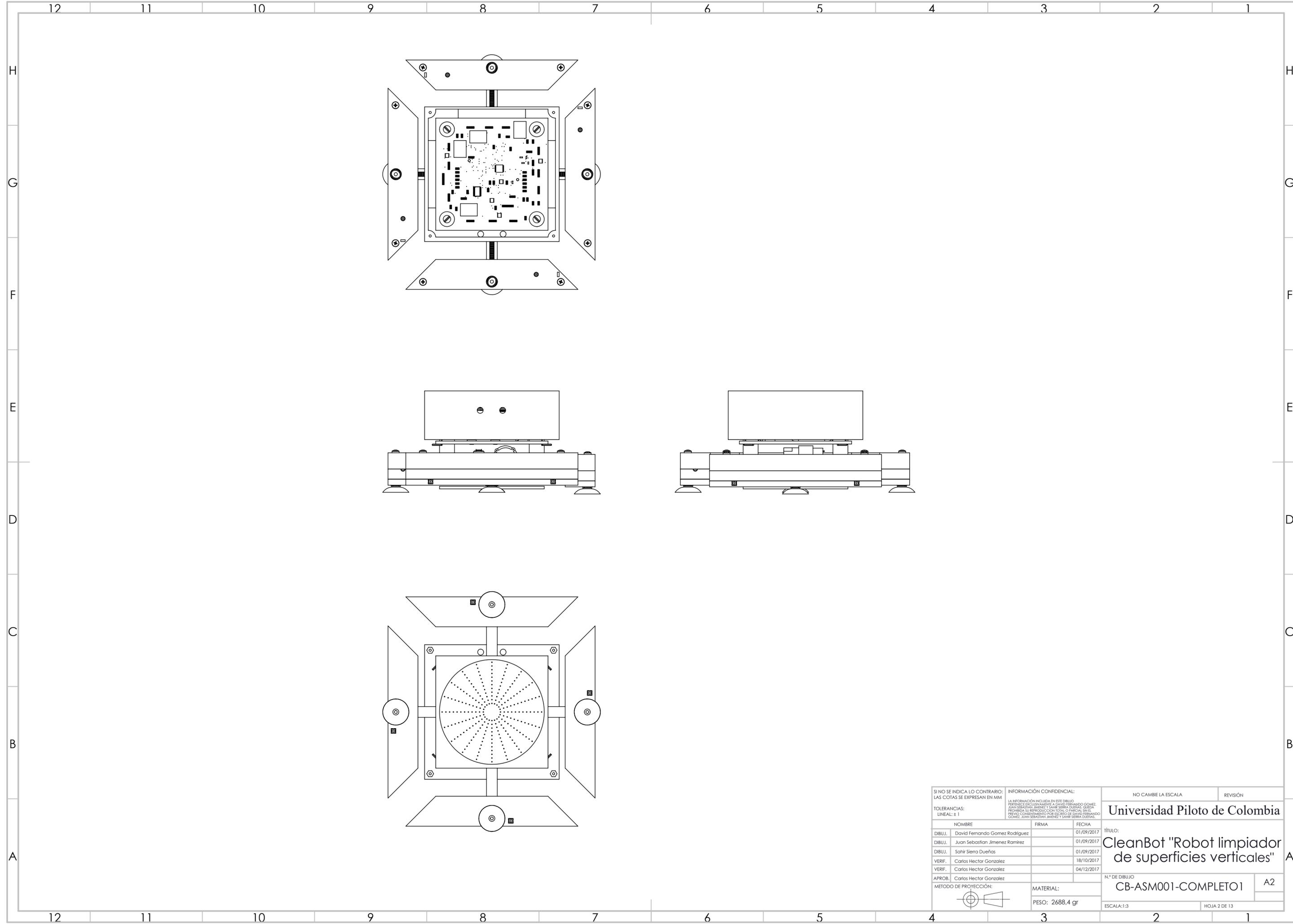
REVISIÓN

Universidad Piloto de Colombia

TÍTULO:
CleanBot "Robot limpiador de superficies verticales"

N.º DE DIBUJO
CB-ASM001-COMPLETO





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM.		INFORMACIÓN CONFIDENCIAL: LA INFORMACIÓN INCLUIDA EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE A DAVID FERNANDO GOMEZ, JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS. QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVILO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE DAVID FERNANDO GOMEZ, JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS.		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TOLERANCIAS: LINEAL: ± 1				Universidad Piloto de Colombia	
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ. David Fernando Gomez Rodriguez		01/09/2017	CleanBot "Robot limpiador de superficies verticales"		
DIBUJ. Juan Sebastian Jimenez Ramirez		01/09/2017	N.º DE DIBUJO		
DIBUJ. Sahir Sierra Dueñas		01/09/2017	CB-ASM001-COMPLETO1		
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		18/10/2017	ESCALA: 1:3		
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		04/12/2017	HOJA 2 DE 13		
APROB. Carlos Hector Gonzalez			A2		
MATERIAL:		PESO: 2688,4 gr			
METODO DE PROYECCIÓN:					

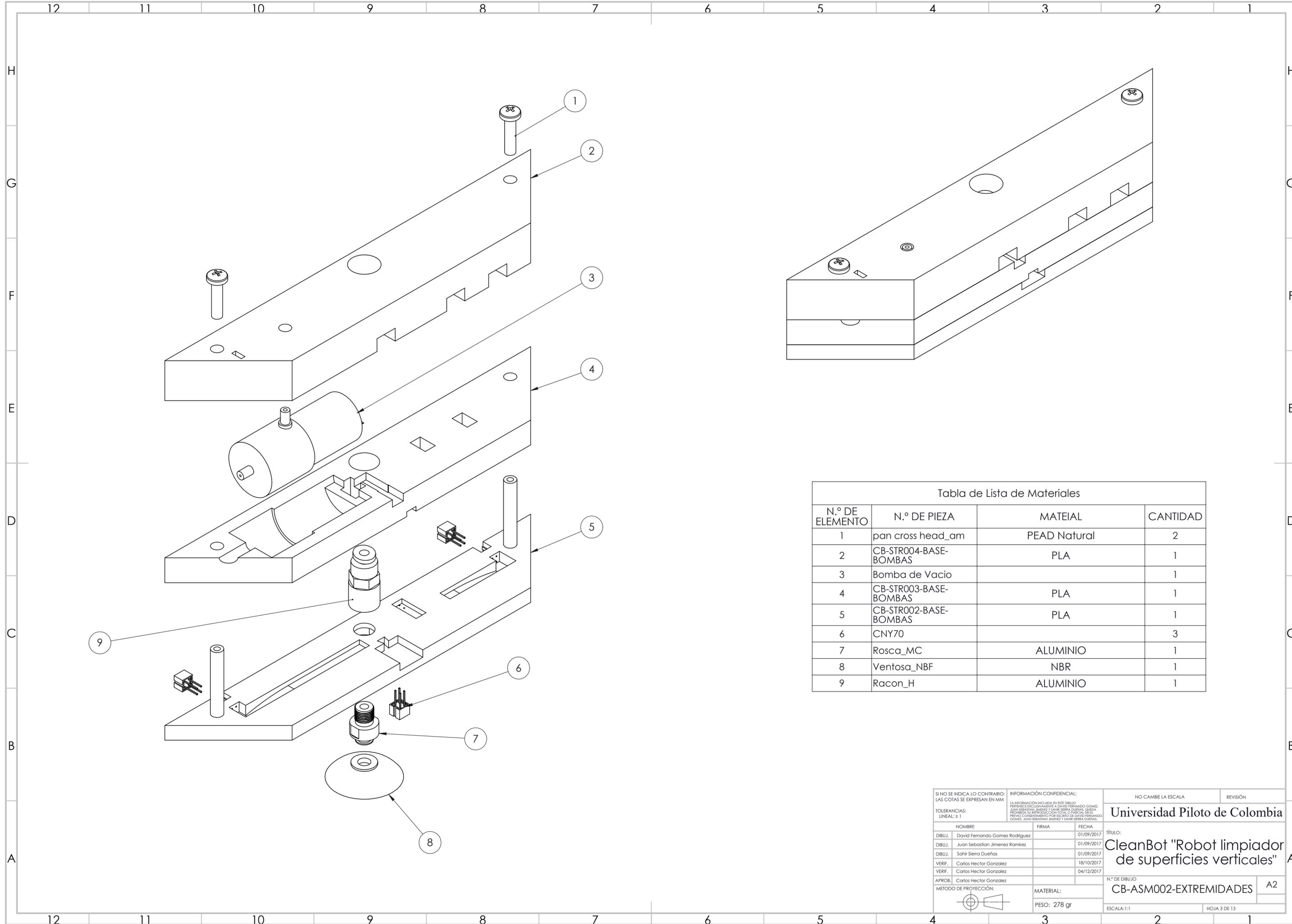


Tabla de Lista de Materiales

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATEIAL	CANTIDAD
1	pan cross head_am	PEAD Natural	2
2	CB-STRO04-BASE-BOMBAS	PLA	1
3	Bomba de Vacio		1
4	CB-STRO03-BASE-BOMBAS	PLA	1
5	CB-STRO02-BASE-BOMBAS	PLA	1
6	CNY70		3
7	Rosca_MC	ALUMINIO	1
8	Ventosa_NBF	NBR	1
9	Racon_H	ALUMINIO	1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		INFORMACIÓN CONFIDENCIAL: LA INFORMACIÓN INCLUIDA EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE A DAVID FERNANDO GÓMEZ JUAN SEBASTIÁN JIMÉNEZ Y SANTIAGO SIERRA DUEÑAS. QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVILO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE DAVID FERNANDO GÓMEZ, JUAN SEBASTIÁN JIMÉNEZ Y SANTIAGO SIERRA DUEÑAS.		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TOLERANCIAS: LINEAL: ± 1				Universidad Piloto de Colombia	
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ. David Fernando Gomez Rodriguez			01/09/2017	CleanBot "Robot limpiador de superficies verticales"	
DIBUJ. Juan Sebastian Jimenez Ramirez			01/09/2017	N.º DE DIBUJO	
DIBUJ. Sahir Sierra Dueñas			01/09/2017	CB-ASM002-EXTREMIDADES	
VERIF. Carlos Hector Gonzalez			18/10/2017	A2	
VERIF. Carlos Hector Gonzalez			04/12/2017	ESCALA: 1:1	
APROB. Carlos Hector Gonzalez		MATERIAL:		HOJA 3 DE 13	
MATERIAL:		PESO: 278 gr			
MATERIAL:					

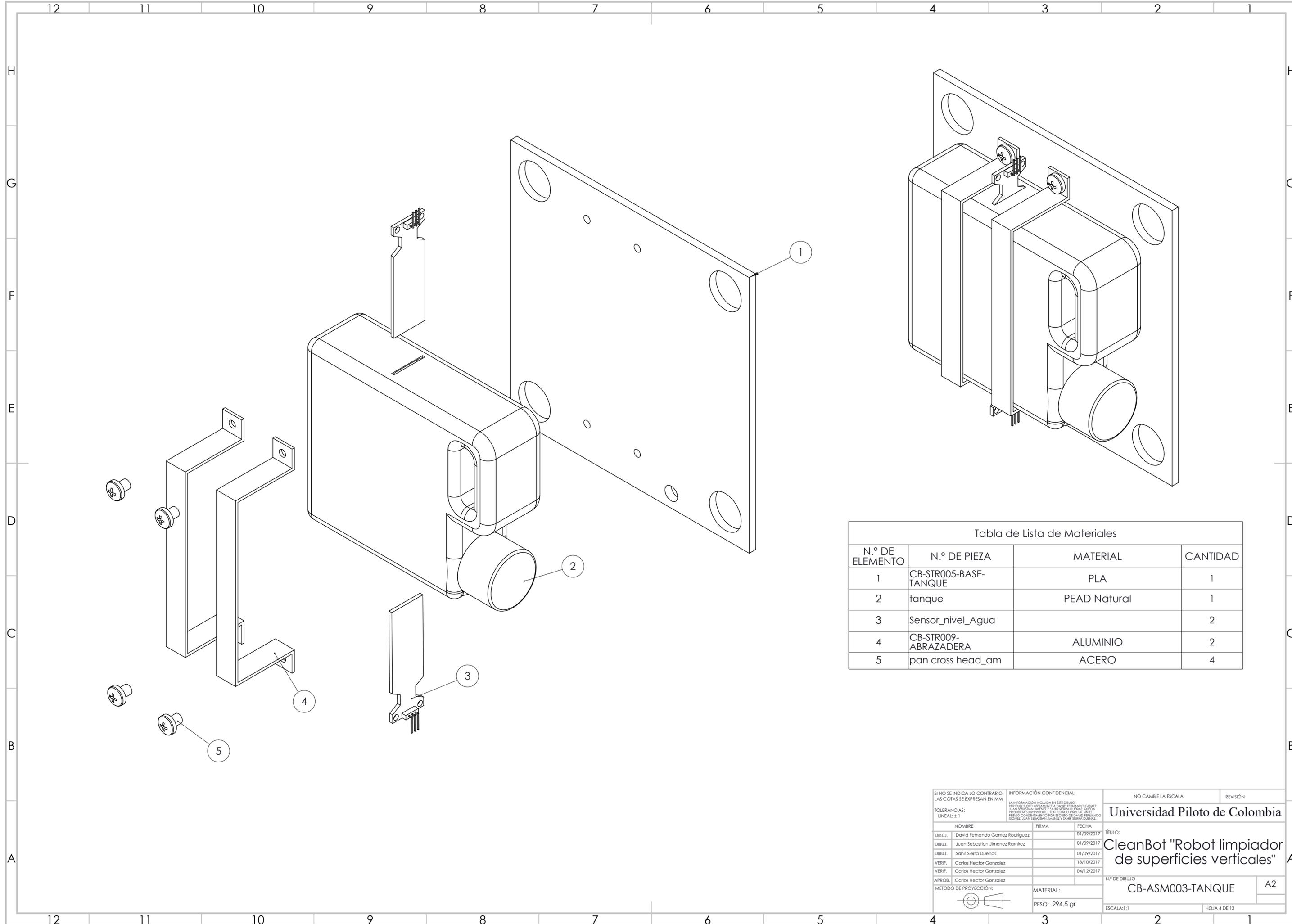
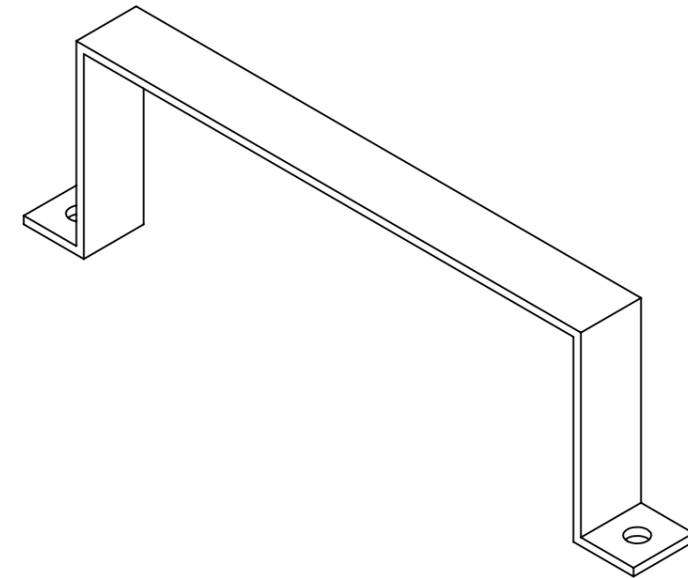
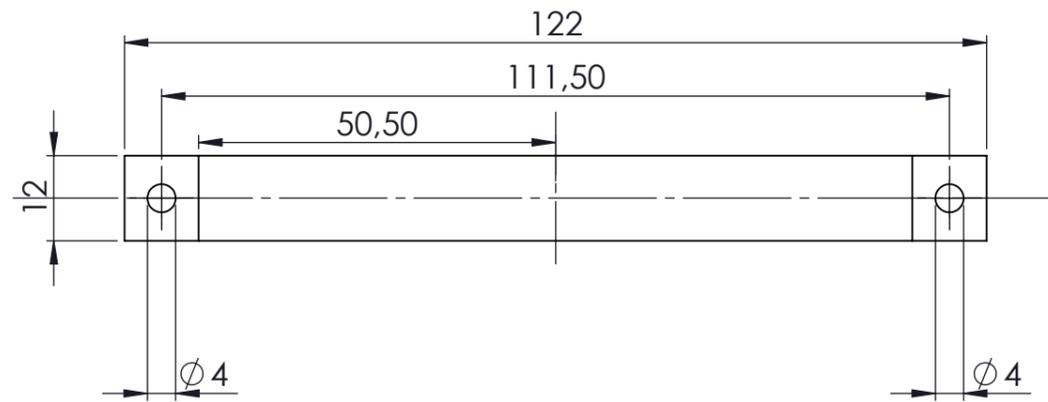
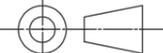


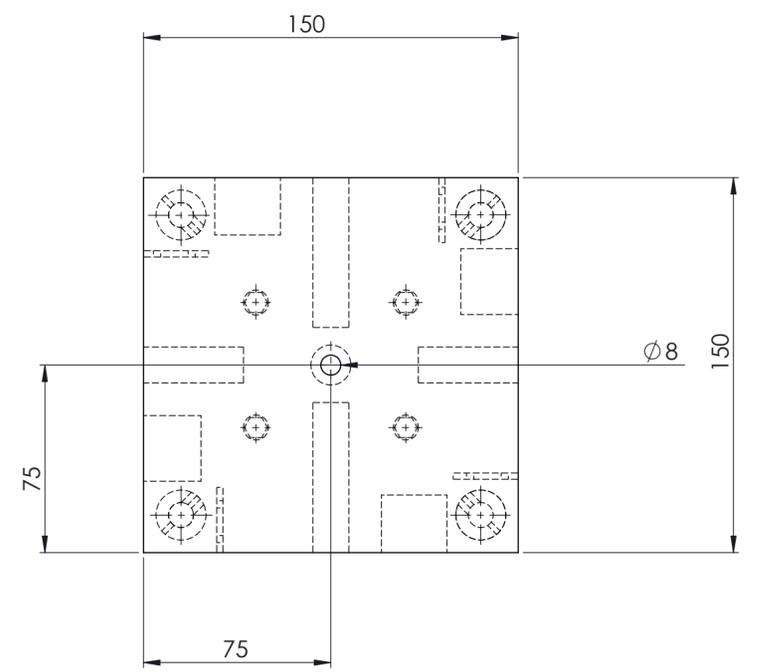
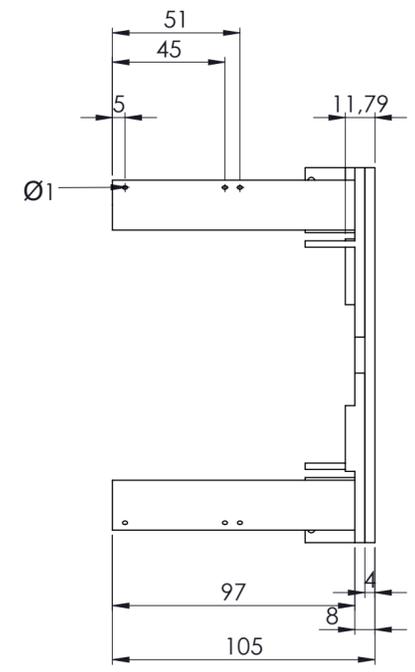
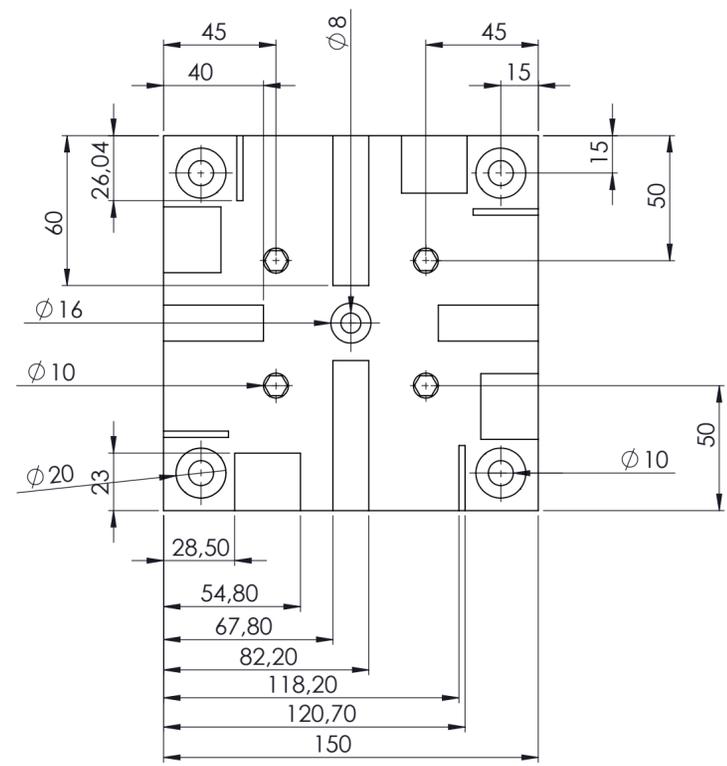
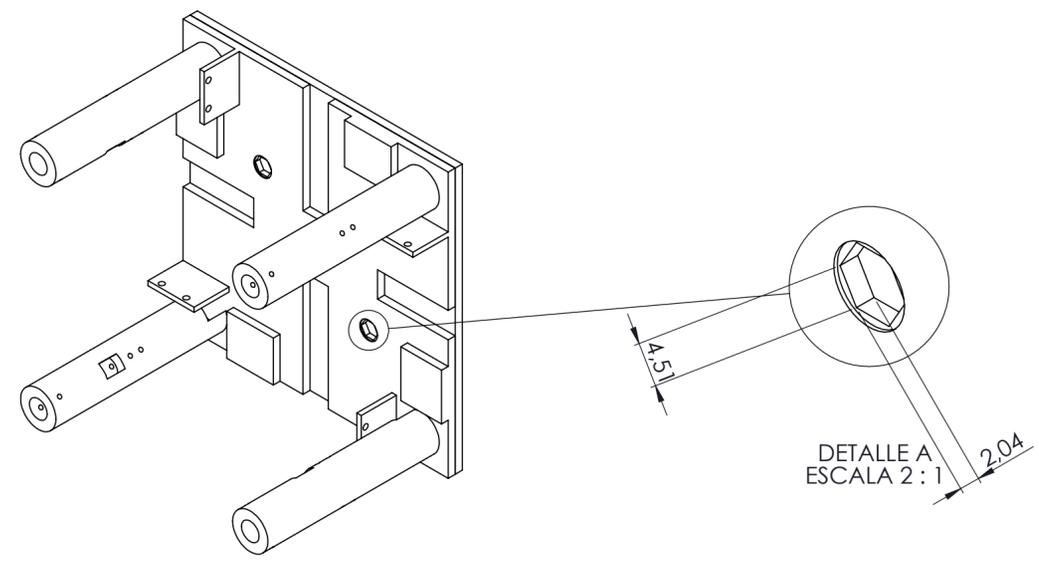
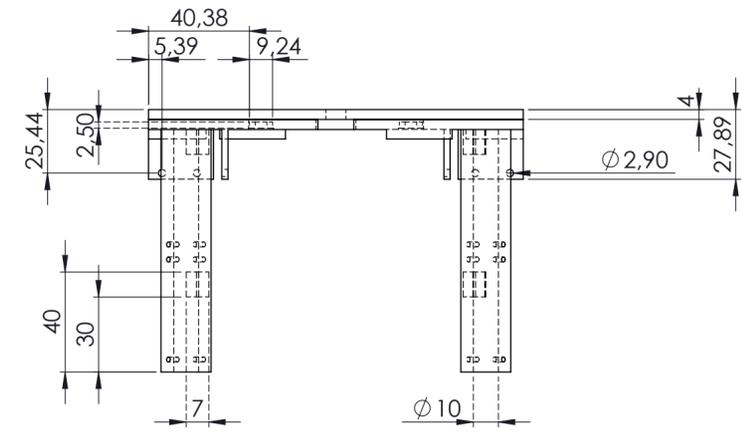
Tabla de Lista de Materiales

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD
1	CB-STR005-BASE-TANQUE	PLA	1
2	tanque	PEAD Natural	1
3	Sensor_nivel_Agua		2
4	CB-STR009-ABRAZADERA	ALUMINIO	2
5	pan cross head_am	ACERO	4

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		INFORMACIÓN CONFIDENCIAL: LA INFORMACIÓN INCLUIDA EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE A DAVID FERNANDO GOMEZ JUAN SEBASTIAN RAMIREZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS. QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVILO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE DAVID FERNANDO GOMEZ, JUAN SEBASTIAN RAMIREZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS.		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TOLERANCIAS: LINEAL: ± 1				Universidad Piloto de Colombia	
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: CleanBot "Robot limpiador de superficies verticales"		
DIBUJ. David Fernando Gomez Rodriguez		01/09/2017			
DIBUJ. Juan Sebastian Jimenez Ramirez		01/09/2017			
DIBUJ. Sahir Sierra Dueñas		01/09/2017			
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		18/10/2017			
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		04/12/2017	N.º DE DIBUJO: CB-ASM003-TANQUE		
APROB. Carlos Hector Gonzalez			MATERIAL: PESO: 294,5 gr		
MATERIAL:		MATERIAL:		ESCALA: 1:1	
METODO DE PROYECCIÓN:		MATERIAL:		HOJA 4 DE 13	

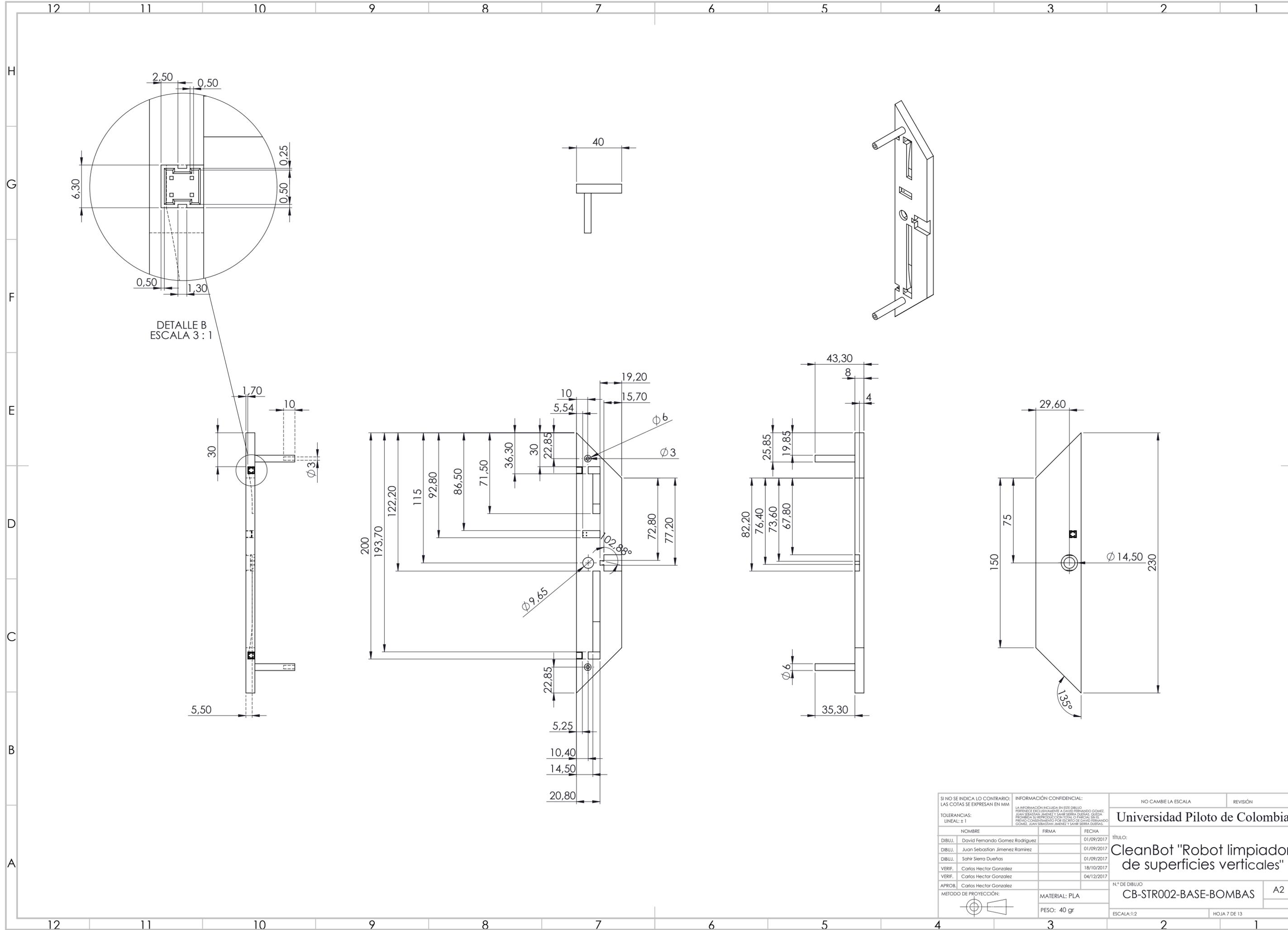


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM.		INFORMACIÓN CONFIDENCIAL: LA INFORMACIÓN INCLUIDA EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE A DAVID FERNANDO GÓMEZ, JUAN SEBASTIÁN JIMÉNEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS. QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE DAVID FERNANDO GÓMEZ, JUAN SEBASTIÁN JIMÉNEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS.		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TOLERANCIAS: LINEAL: ± 1				Universidad Piloto de Colombia	
				TÍTULO: CleanBot "Robot limpiador de superficies verticales"	
				N.º DE DIBUJO CB-STRO09-ABRAZADERA	
				A3	
MATERIAL: Aluminio		PESO: 9 gr		ESCALA: 1:1	
METODO DE PROYECCIÓN: 				HOJA 5 DE 13	

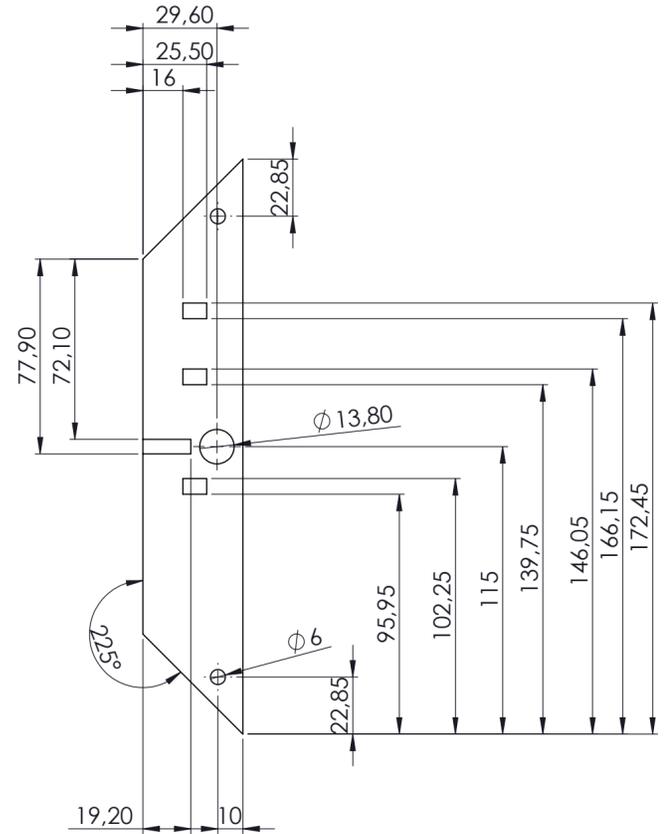
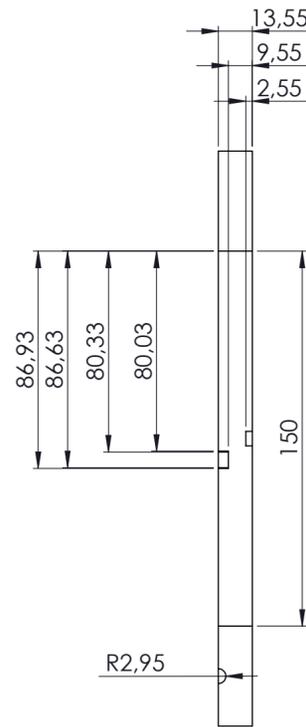
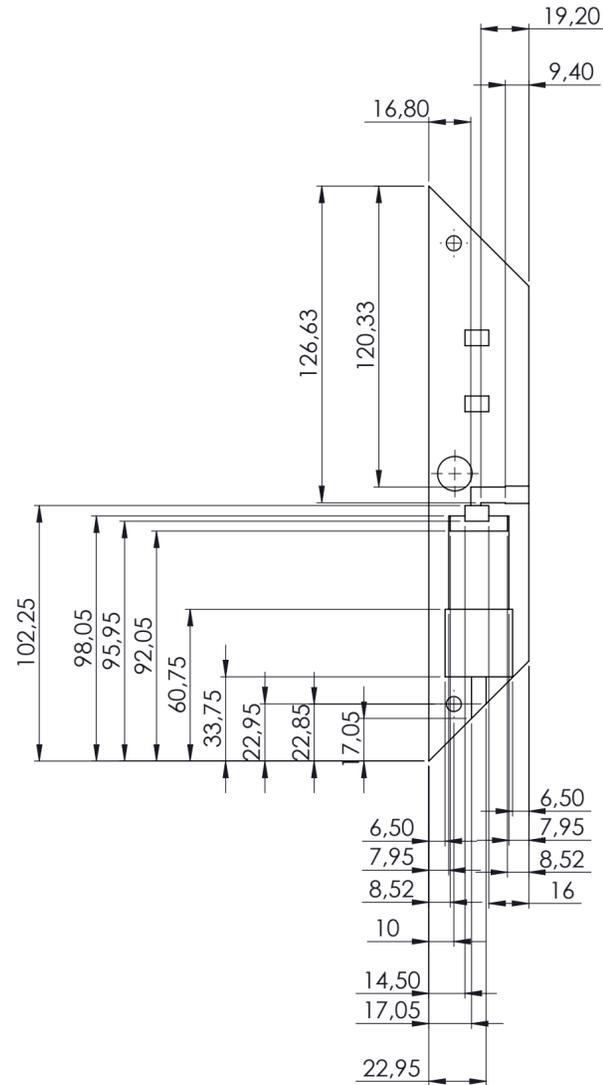
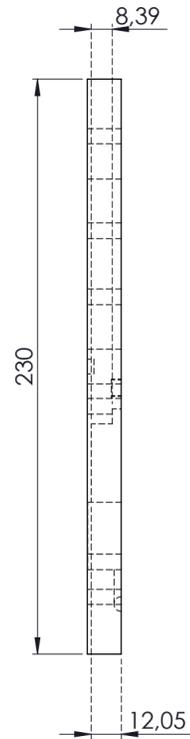
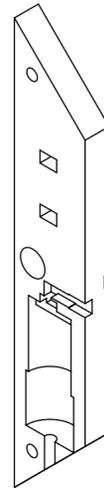
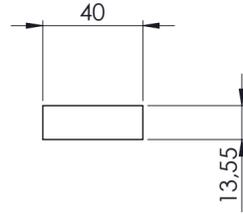
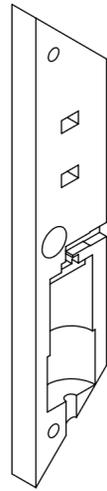


Las medidas que aparecen en la parte inferior de la vista frontal, son iguales para cada uno de los lados en sentido anti-horario

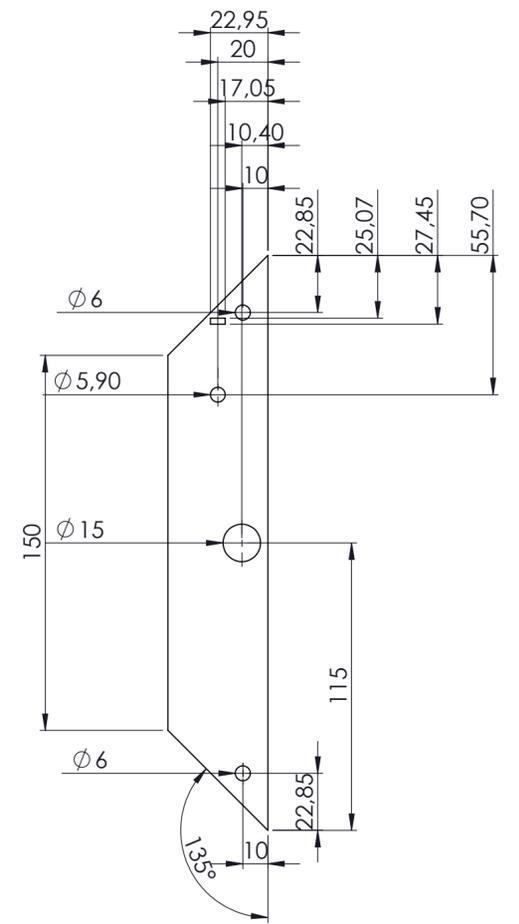
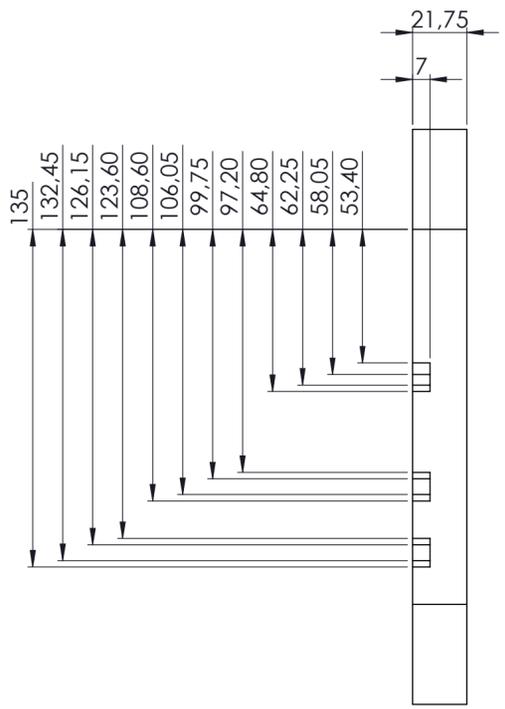
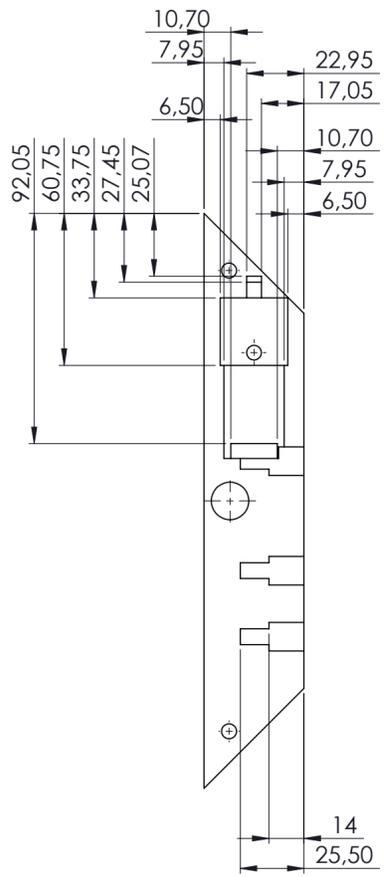
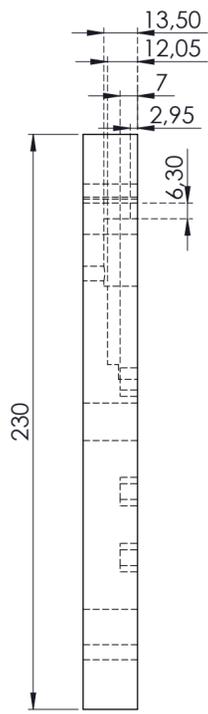
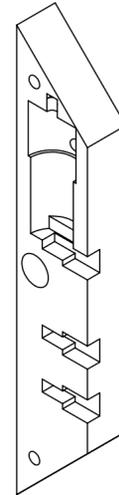
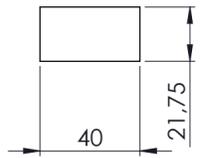
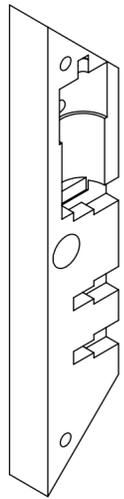
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		INFORMACIÓN CONFIDENCIAL: LA INFORMACIÓN INCLUIDA EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE A DAVID FERNANDO GOMEZ JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIE SIERRA DUEÑAS. Queda PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVILO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE DAVID FERNANDO GOMEZ, JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIE SIERRA DUEÑAS.		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TOLERANCIAS: LINEAL: ± 1				Universidad Piloto de Colombia	
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ. David Fernando Gomez Rodriguez		01/09/2017	CleanBot "Robot limpiador de superficies verticales"		
DIBUJ. Juan Sebastian Jimenez Ramirez		01/09/2017	N° DE DIBUJO		
DIBUJ. Sahie Sierra Dueñas		01/09/2017	CB-STR001-BASE		
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		18/10/2017	MATERIAL: PLA		
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		04/12/2017	PESO: 219 gr		
APROB. Carlos Hector Gonzalez			ESCALA: 1:2		
MATERIAL: PLA		PESO: 219 gr		HOJA 6 DE 13	



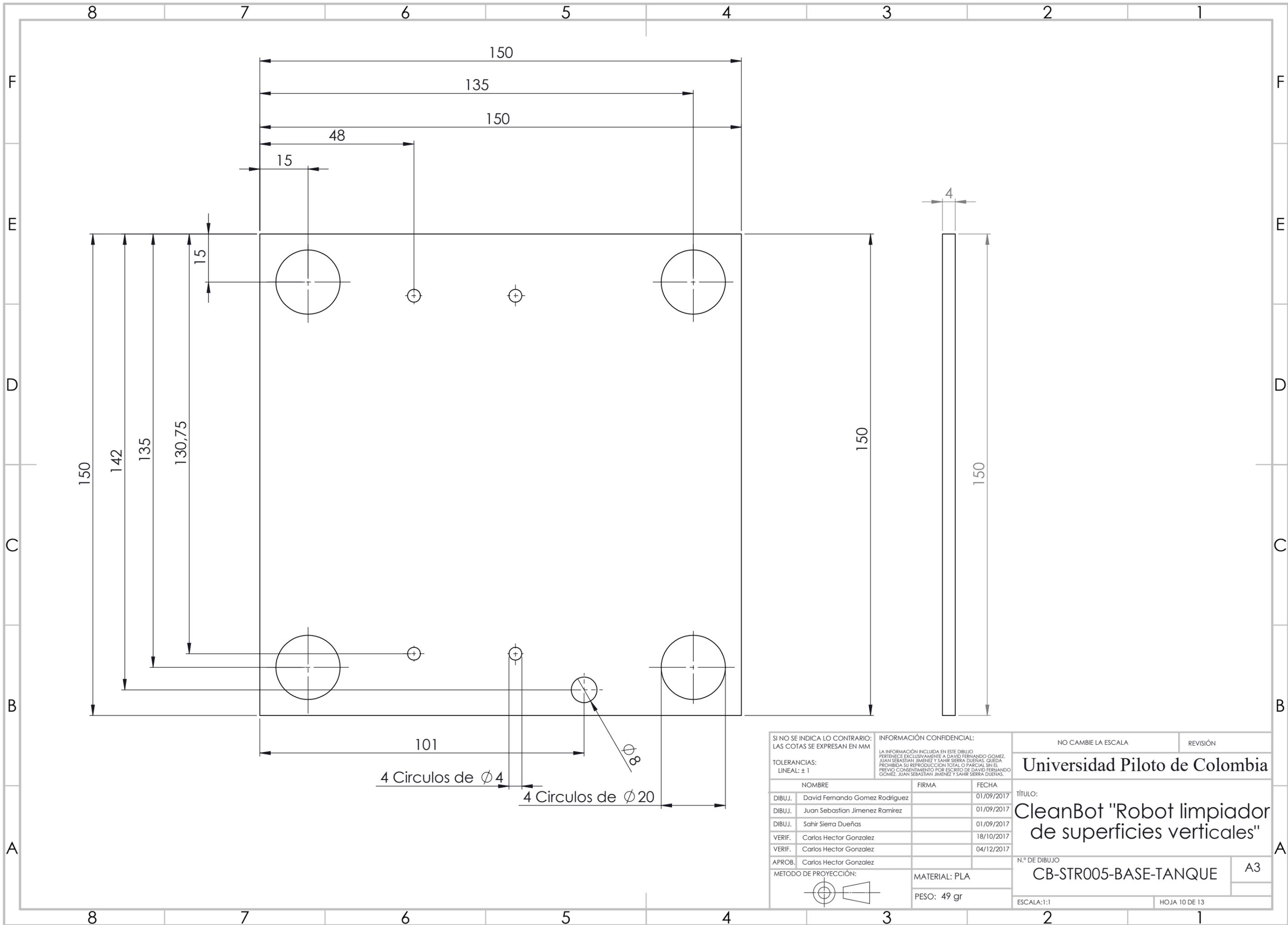
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		INFORMACIÓN CONFIDENCIAL: LA INFORMACIÓN INCLUIDA EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE A DAVID FERNANDO GOMEZ, JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS. QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVILO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE DAVID FERNANDO GOMEZ, JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS.		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TOLERANCIAS: LINEAL: ± 1				Universidad Piloto de Colombia	
NOMBRE	FIRMA	FECHA	título:		
DIBUJ. David Fernando Gomez Rodriguez		01/09/2017	CleanBot "Robot limpiador de superficies verticales"		
DIBUJ. Juan Sebastian Jimenez Ramirez		01/09/2017	N.º DE DIBUJO		
DIBUJ. Sahir Sierra Dueñas		01/09/2017	CB-STR002-BASE-BOMBAS		
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		18/10/2017	ESCALA: 1:2		
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		04/12/2017	HOJA 7 DE 13		
APROB. Carlos Hector Gonzalez			A2		
MATERIAL: PLA					
PESO: 40 gr					



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			INFORMACIÓN CONFIDENCIAL: LA INFORMACIÓN INCLUIDA EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE A DAVID FERNANDO GOMEZ JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS. QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVILO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE DAVID FERNANDO GOMEZ, JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS.			NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN
TOLERANCIAS: LINEAL: ± 1						Universidad Piloto de Colombia		
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO: CleanBot "Robot limpiador de superficies verticales"					
DIBUJ. David Fernando Gomez Rodriguez		01/09/2017	N.º DE DIBUJO CB-STR003-BASE-BOMBAS					
DIBUJ. Juan Sebastian Jimenez Ramirez		01/09/2017	ESCALA: 1:2					
DIBUJ. Sahir Sierra Dueñas		01/09/2017	HOJA 8 DE 13					
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		18/10/2017	A2					
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		04/12/2017						
APROB. Carlos Hector Gonzalez								
MATERIAL: PLA								
PESO: 53 gr								



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		INFORMACIÓN CONFIDENCIAL: LA INFORMACIÓN INCLUIDA EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE A DAVID FERNANDO GOMEZ JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS. Queda PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVILO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE DAVID FERNANDO GOMEZ, JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS.		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TOLERANCIAS: LINEAL: ± 1				Universidad Piloto de Colombia	
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ. David Fernando Gomez Rodriguez		01/09/2017	CleanBot "Robot limpiador de superficies verticales"		
DIBUJ. Juan Sebastian Jimenez Ramirez		01/09/2017	N.º DE DIBUJO		
DIBUJ. Sahir Sierra Dueñas		01/09/2017	CB-STR004-BASE-BOMBAS		
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		18/10/2017	A2		
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		04/12/2017	ESCALA: 1:2		
APROB. Carlos Hector Gonzalez			HOJA 9 DE 13		
MATERIAL: PLA		PESO: 88,2 gr			
MATERIAL: PLA		PESO: 88,2 gr			



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

TOLERANCIAS:
LINEAL: ± 1

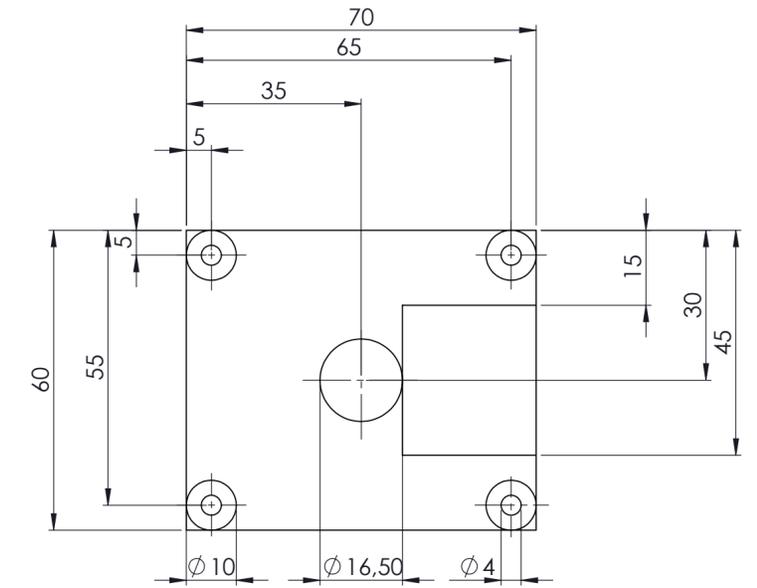
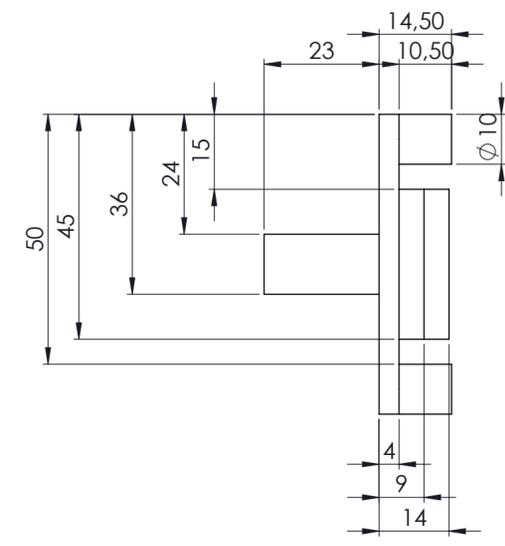
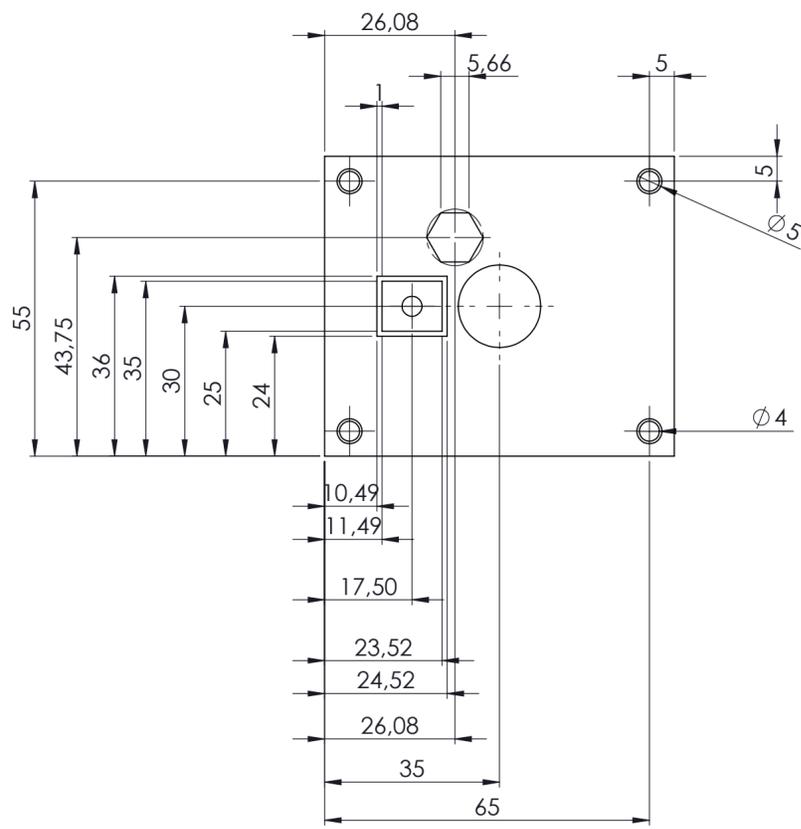
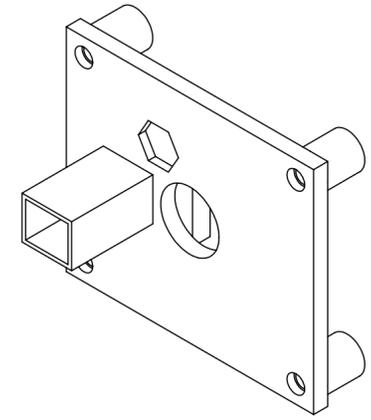
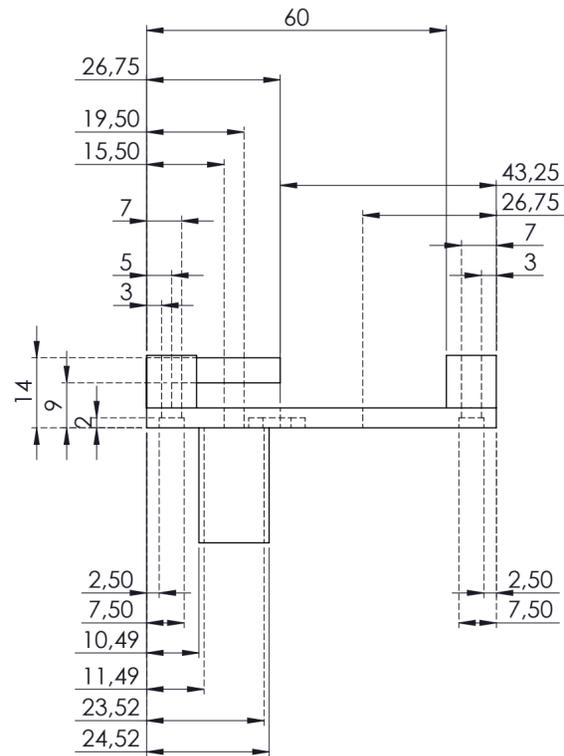
METODO DE PROYECCIÓN:

INFORMACIÓN CONFIDENCIAL:
LA INFORMACIÓN INCLUIDA EN ESTE DIBUJO
PERTENECE EXCLUSIVAMENTE A DAVID FERNANDO GOMEZ,
JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS. QUEDA
PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN EL
PREVIO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE DAVID FERNANDO
GOMEZ, JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS.

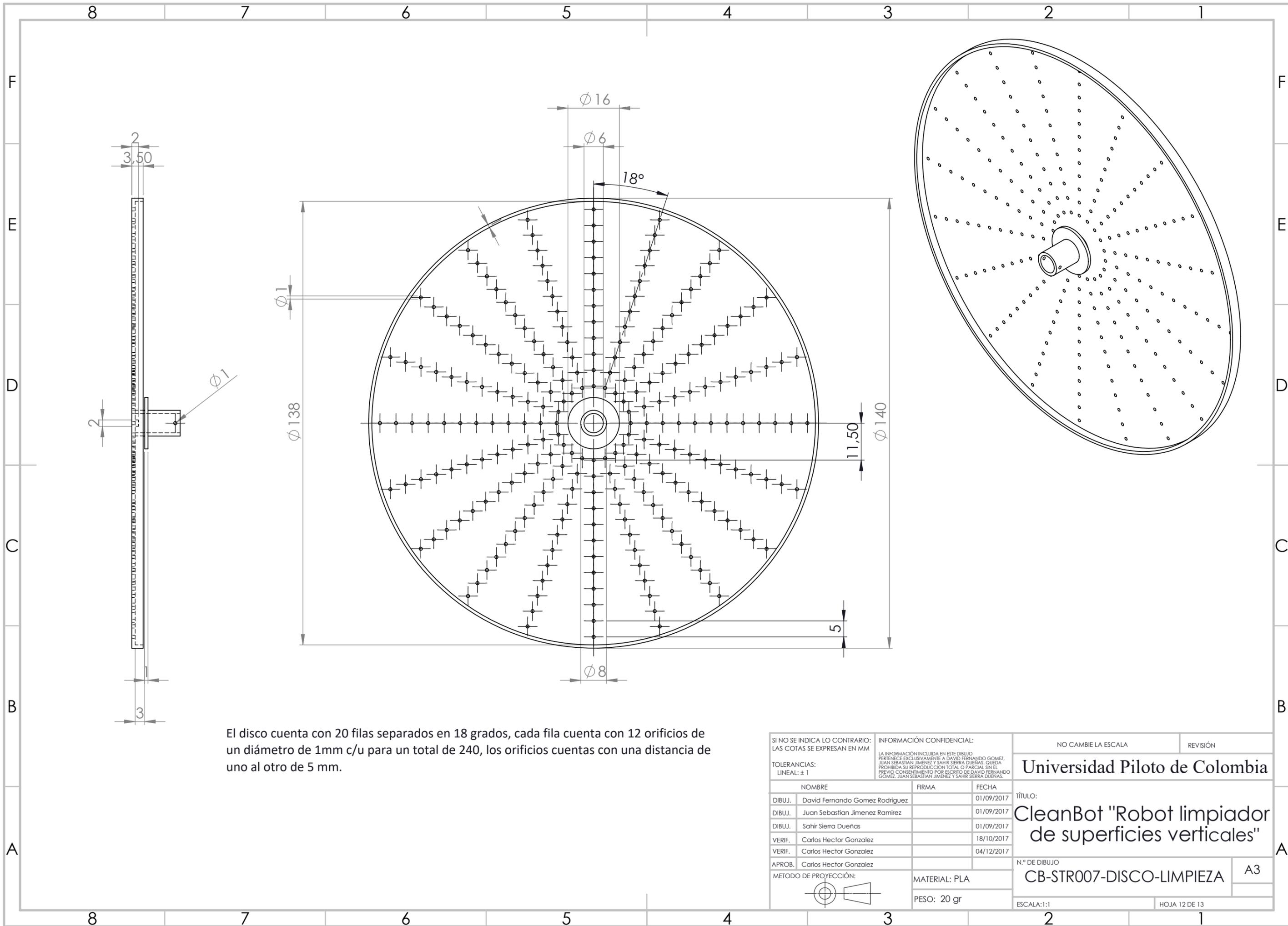
NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ. David Fernando Gomez Rodriguez		01/09/2017
DIBUJ. Juan Sebastian Jimenez Ramirez		01/09/2017
DIBUJ. Sahir Sierra Dueñas		01/09/2017
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		18/10/2017
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		04/12/2017
APROB. Carlos Hector Gonzalez		

MATERIAL: PLA
PESO: 49 gr

NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
Universidad Piloto de Colombia	
TÍTULO: CleanBot "Robot limpiador de superficies verticales"	
N.º DE DIBUJO CB-STRO05-BASE-TANQUE	A3
ESCALA: 1:1	HOJA 10 DE 13

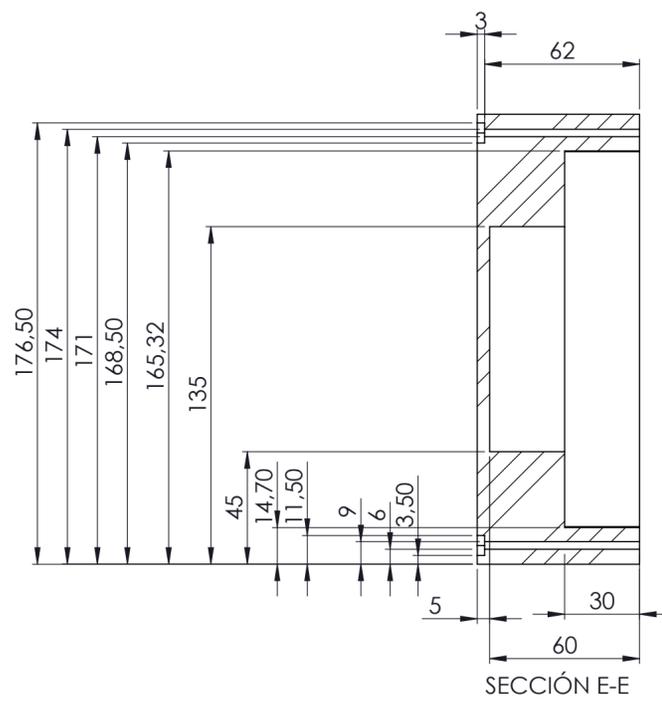
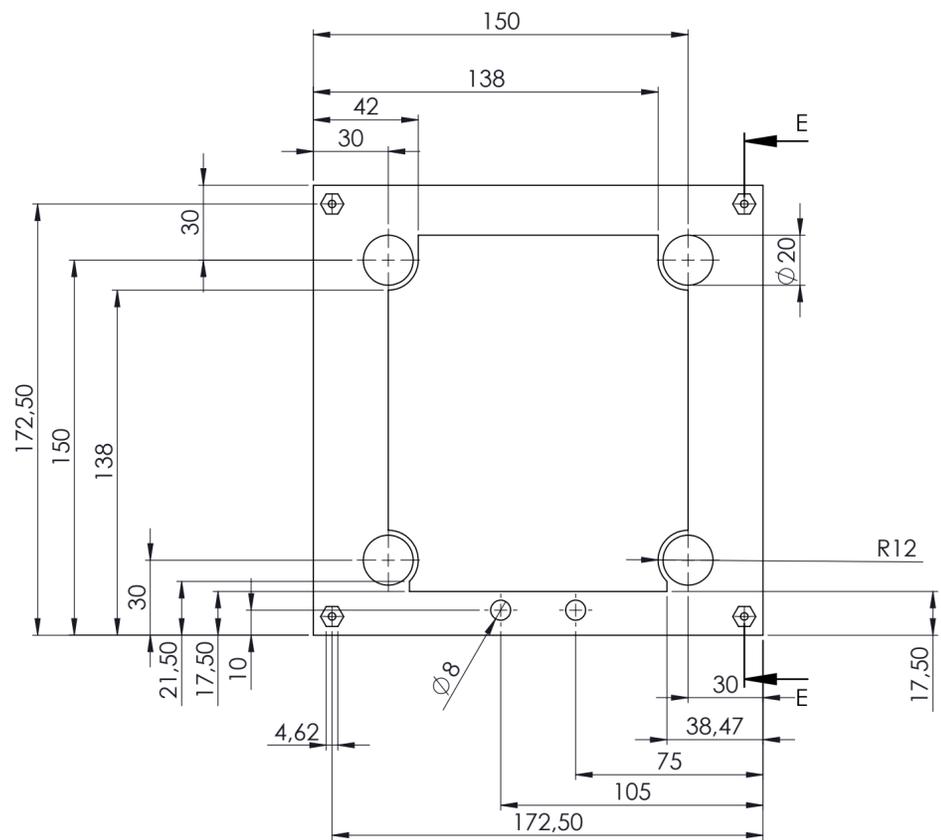
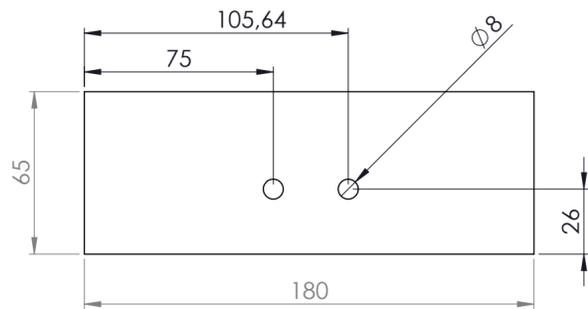
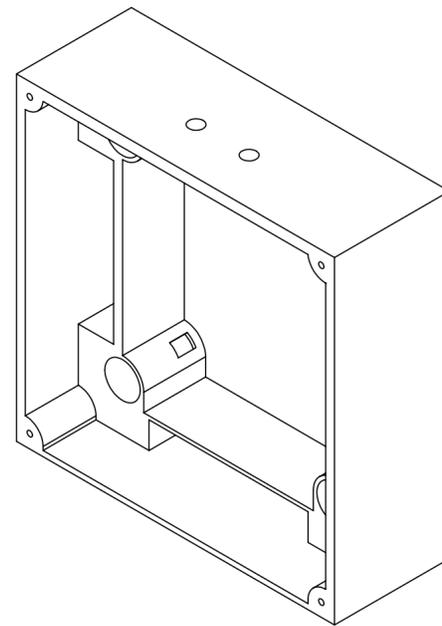
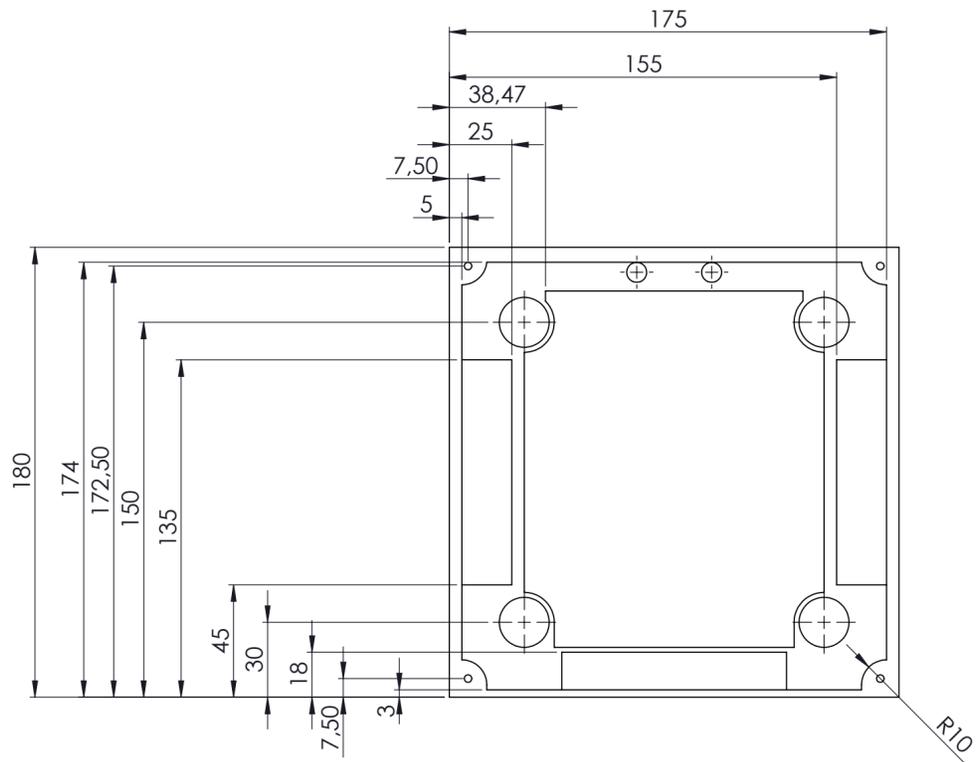


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		INFORMACIÓN CONFIDENCIAL: LA INFORMACIÓN INCLUIDA EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE A DAVID FERNANDO GOMEZ, JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS. QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE DAVID FERNANDO GOMEZ, JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS.		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TOLERANCIAS: LINEAL: ± 1				Universidad Piloto de Colombia	
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ. David Fernando Gomez Rodriguez		01/09/2017	CleanBot "Robot limpiador de superficies verticales"		
DIBUJ. Juan Sebastian Jimenez Ramirez		01/09/2017	N.º DE DIBUJO		
DIBUJ. Sahir Sierra Dueñas		01/09/2017	CB-STR006-BASE-DISCO		
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		18/10/2017	ESCALA: 1:1		
VERIF. Carlos Hector Gonzalez		04/12/2017	HOJA 11 DE 13		
APROB. Carlos Hector Gonzalez			A2		
MATERIAL: PLA					
PESO: 20 gr					



El disco cuenta con 20 filas separados en 18 grados, cada fila cuenta con 12 orificios de un diámetro de 1mm c/u para un total de 240, los orificios cuentan con una distancia de uno al otro de 5 mm.

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		INFORMACIÓN CONFIDENCIAL: LA INFORMACIÓN INCLUIDA EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE A DAVID FERNANDO GÓMEZ, JUAN SEBASTIÁN JIMÉNEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS. QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVIO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE DAVID FERNANDO GÓMEZ, JUAN SEBASTIÁN JIMÉNEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS.		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TOLERANCIAS: LINEAL: ± 1				Universidad Piloto de Colombia	
				TÍTULO: CleanBot "Robot limpiador de superficies verticales"	
APROB. Carlos Hector Gonzalez				N.º DE DIBUJO CB-STR007-DISCO-LIMPIEZA	
MATERIAL: PLA				A3	
PESO: 20 gr				ESCALA: 1:1	
				HOJA 12 DE 13	



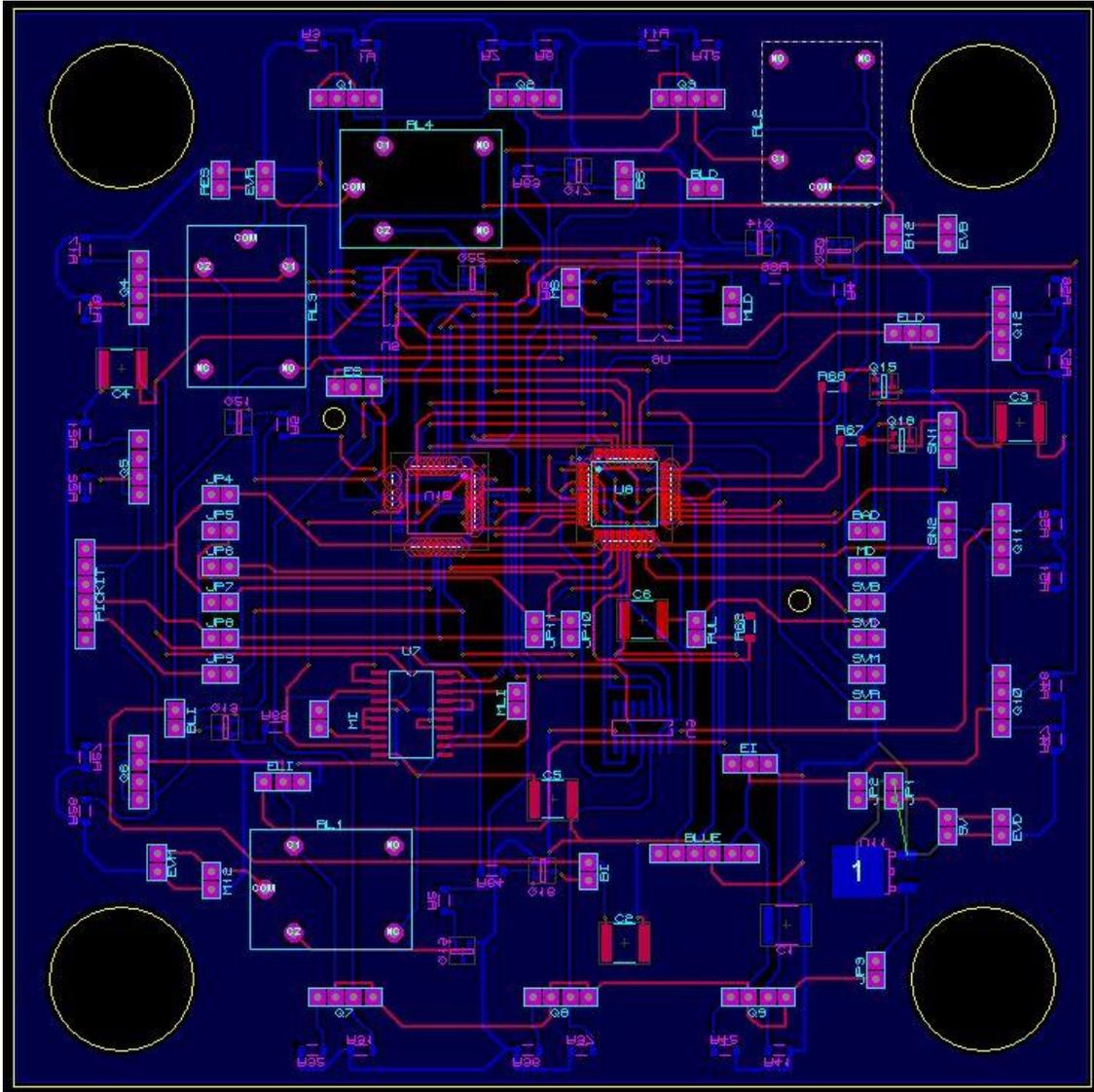
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		INFORMACIÓN CONFIDENCIAL: LA INFORMACIÓN INCLUIDA EN ESTE DIBUJO PERTENECE EXCLUSIVAMENTE A DAVID FERNANDO GOMEZ, JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS. QUEDA PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PREVILO CONSENTIMIENTO POR ESCRITO DE DAVID FERNANDO GOMEZ, JUAN SEBASTIAN JIMENEZ Y SAHIR SIERRA DUEÑAS.		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
TOLERANCIAS: LINEAL: ± 1				Universidad Piloto de Colombia	
				TÍTULO: CleanBot "Robot limpiador de superficies verticales"	
				N.º DE DIBUJO CB-STRO08-BASE-BATERIAS	
				A2	
		MATERIAL: PLA		ESCALA: 1:2	
		PESO: 347 gr		HOJA 13 DE 13	

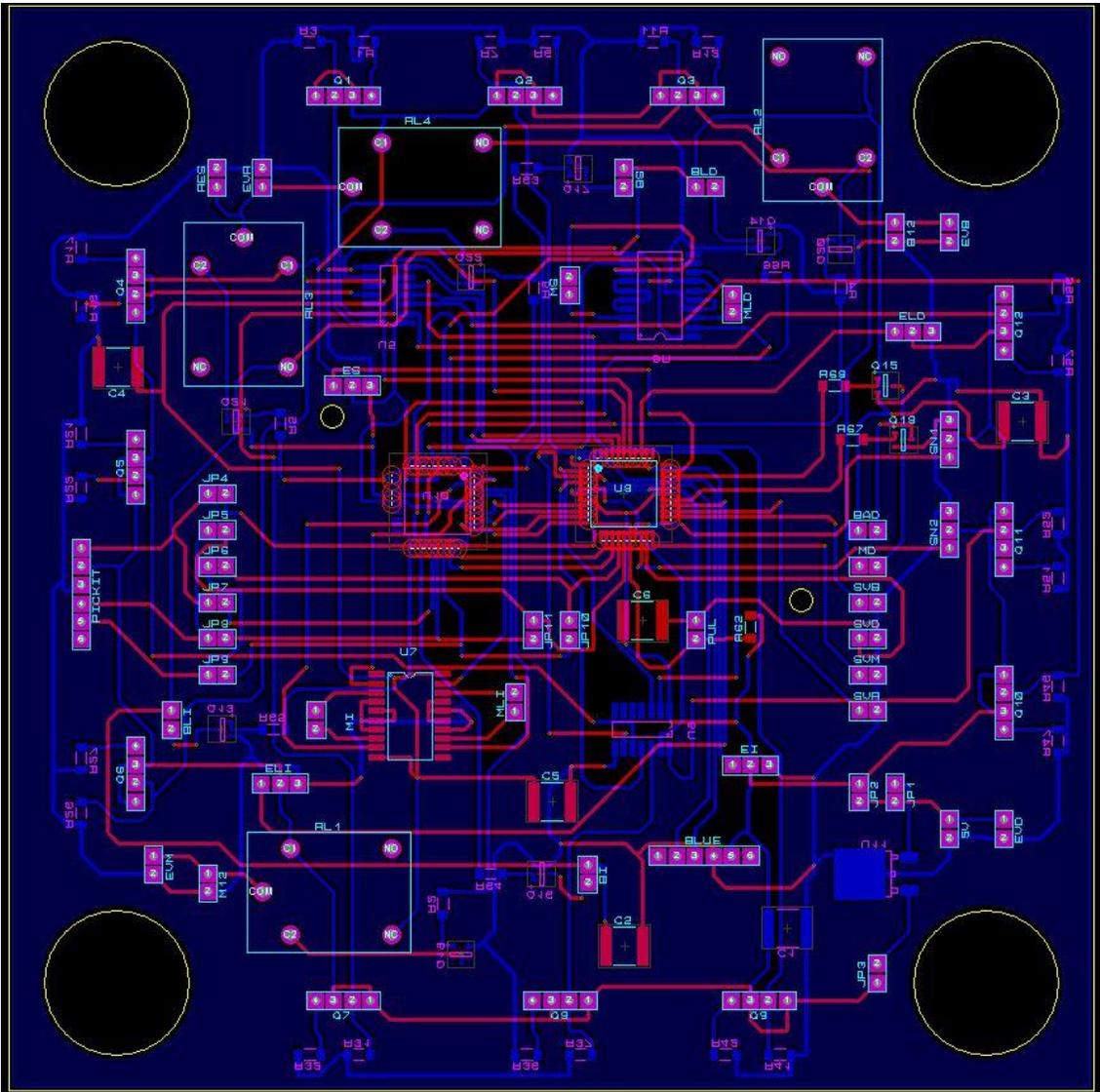
ANEXO C.
PLANOS ELECTRONICOS

PROYECTO PG 15-2-38
CLEANBOT “ROBOT LIMPIADOR DE
SUPERFICIES VERTICALES”

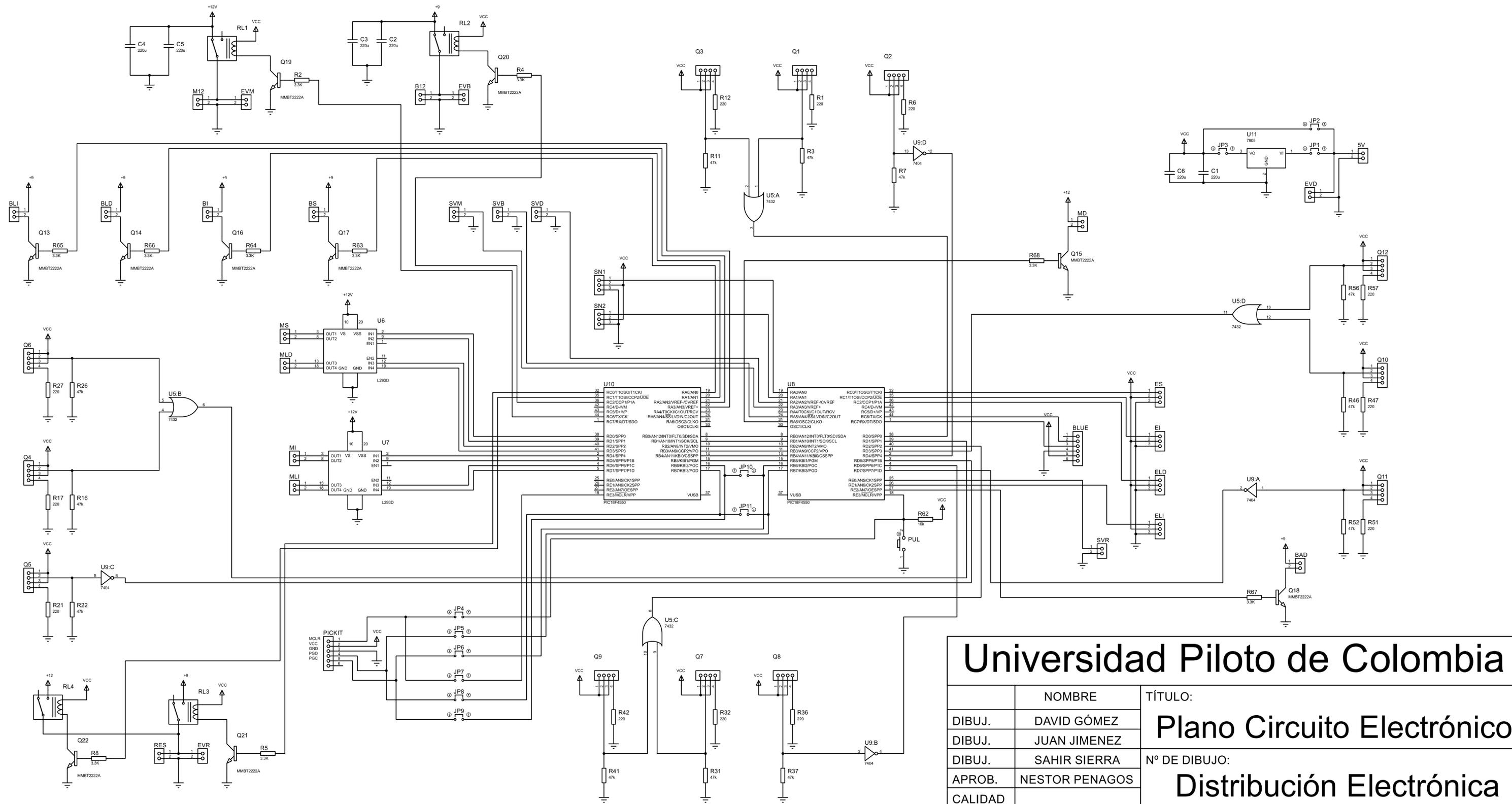
ANEXO C. PLANOS ELECTRONICOS

El Contenido del siguiente anexo está bajo las Normas Técnicas Colombianas (NTC) 1687.





DISTRIBUCIÓN ELECTRÓNICA



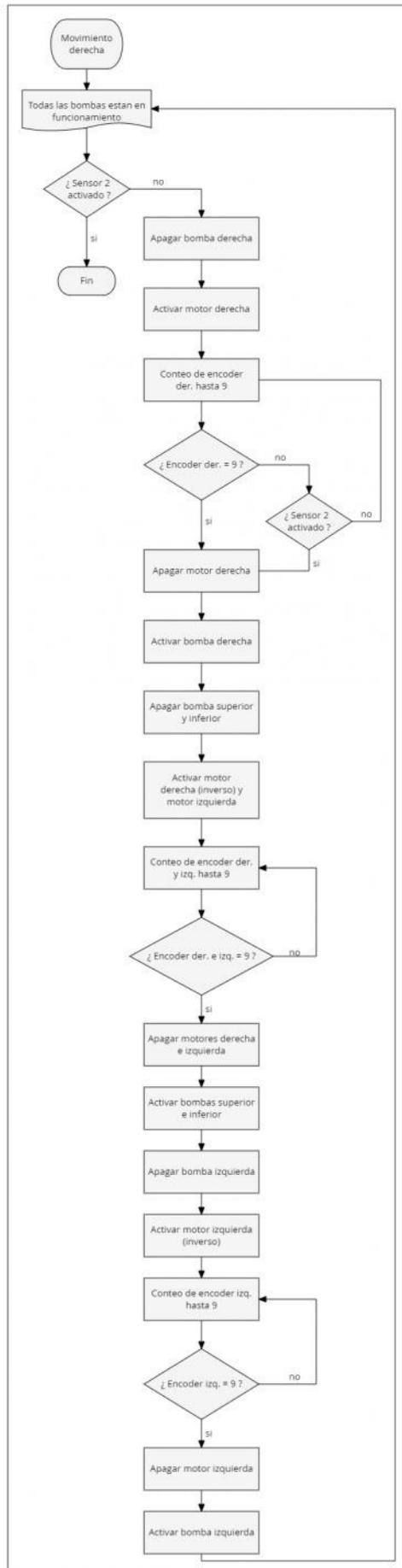
Universidad Piloto de Colombia		
	NOMBRE	TÍTULO:
DIBUJ.	DAVID GÓMEZ	Plano Circuito Electrónico
DIBUJ.	JUAN JIMENEZ	
DIBUJ.	SAHIR SIERRA	Nº DE DIBUJO:
APROB.	NESTOR PENAGOS	Distribución Electrónica
CALIDAD		
NOTAS:		
	ESCALA: 1:1	HOJA: 1

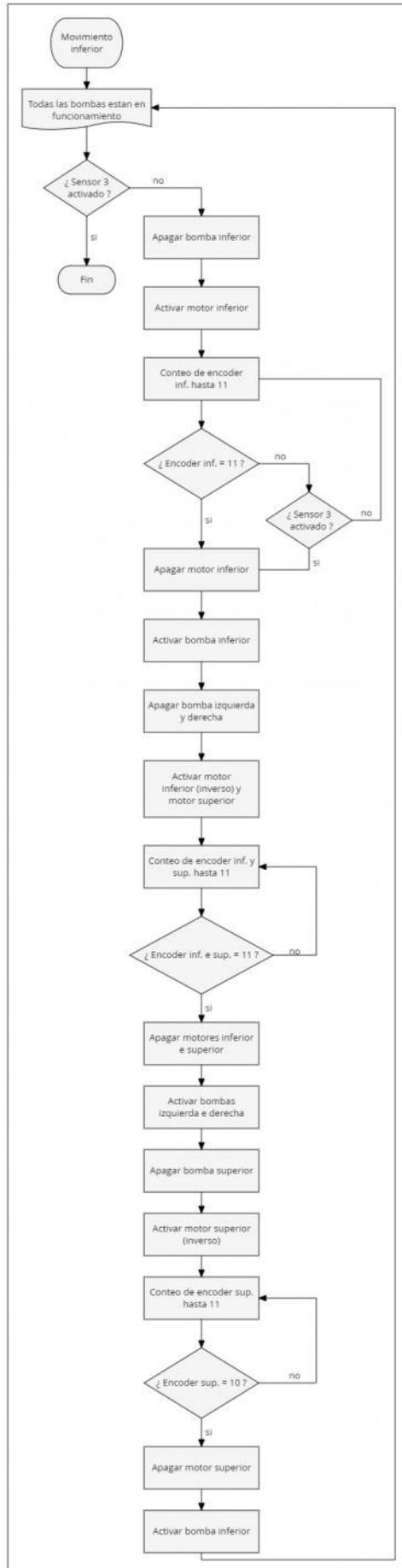
ANEXO D.
DIAGRAMAS DE FLUJO

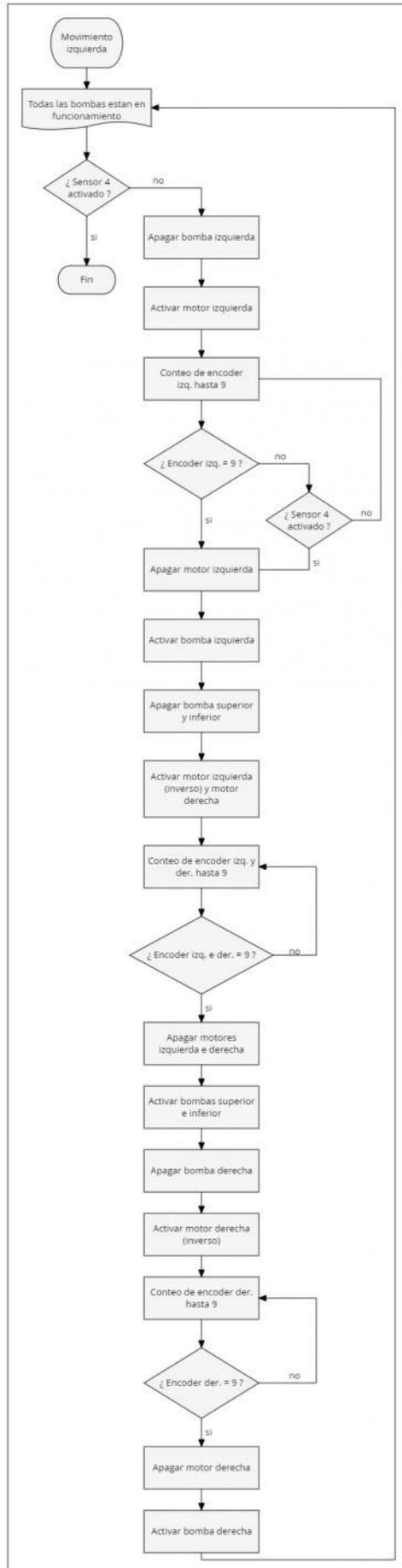
PROYECTO PG 15-2-38
CLEANBOT “ROBOT LIMPIADOR DE
SUPERFICIES VERTICALES”

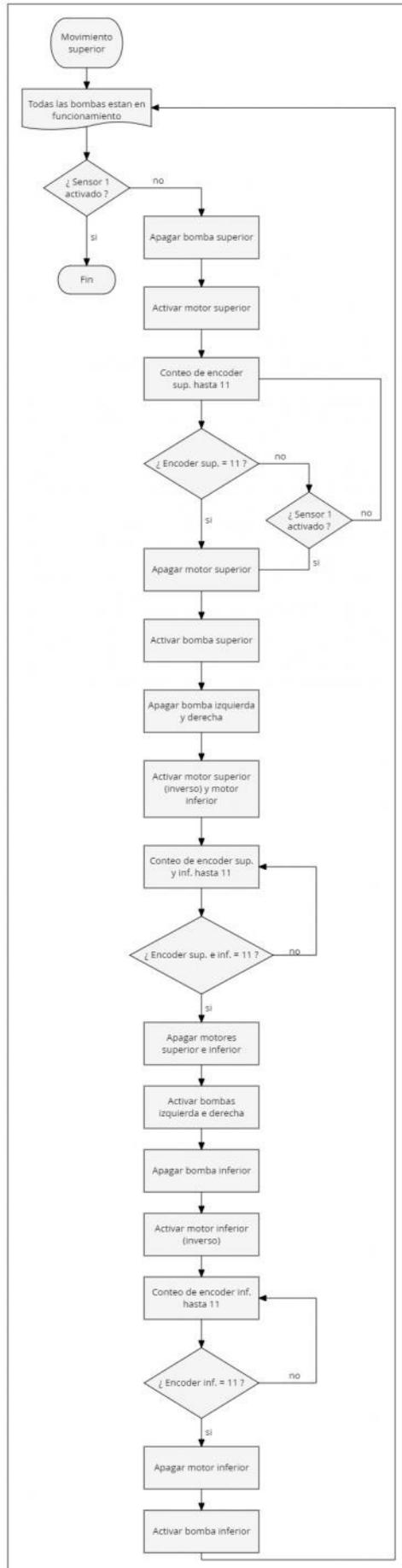
ANEXO D. DIAGRAMAS DE FLUJO

El Contenido del siguiente anexo está bajo las Normas Técnicas Colombianas (NTC) 1687.









ANEXO E. COSTOS

**PROYECTO PG 15-2-38
CLEANBOT “ROBOT LIMPIADOR DE
SUPERFICIES VERTICALES”**

ANEXO E. COSTOS

El Contenido del siguiente anexo está bajo las Normas Técnicas Colombianas (NTC) 1687.

COSTOS			
CONCEPTO	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Mecanismo ventosa	4	\$50.500	\$202.000
Mini-bomba de vacío	4	\$46.000	\$184.000
Ventosa de nitrilo de 3,5 cm	4	\$10.000	\$40.000
Sensor encoder rotativo KY-040	4	\$8.000	\$32.000
Conector JST hembra-macho	4	\$2.500	\$10.000
Sensor de nivel	2	\$5.000	\$10.000
Sensor de voltaje 0-25V	4	\$3.000	\$12.000
Base principal	1	\$216.000	\$216.000
Cable	1	\$4.000	\$4.000
Disco limpiador	1	\$30.000	\$30.000
Bomba de agua	1	\$25.000	\$25.000
Motorreductores de 4kg	4	\$30.000	\$120.000
Rodamientos	2	\$4.000	\$8.000
Sensor CNY70	12	\$1.700	\$20.400
Conector GP 4-pines	12	\$400	\$4.800
Regleta de pines	2	\$2.400	\$4.800
Regleta de pines hembra	1	\$1.440	\$1.440
Tanque de almacenamiento	1	\$600	\$600
Condensadores	6	\$670	\$4.020
PIC18F4550	2	\$20.000	\$40.000
Componentes de superficie	1	\$46.410	\$46.410
Tarjeta	1	\$235.000	\$235.000
Ensamble	1	\$50.000	\$50.000
Baterías 12V	3	\$35.000	\$105.000
Batería 7V	1	\$30.000	\$30.000
Marcadores de cable	1	\$18.650	\$18.650
Soportes cremalleras	4	\$2.500	\$10.000
Piñón y cremallera metálicos	4	\$80.000	\$320.000
Base baterías	1	\$230.000	\$230.000
Piezas de estabilización	2	\$17.500	\$35.000
Bases secundarias y otros	4	\$150.000	\$600.000
COSTO TOTAL			\$2.649.120

ANEXO F.
MANUAL DE USUARIO

PROYECTO PG 15-2-38
CLEANBOT “ROBOT LIMPIADOR DE
SUPERFICIES VERTICALES”

ANEXO F. MANUAL DE USUARIO

El Contenido del siguiente anexo está bajo las Normas Técnicas Colombianas (NTC) 1687.

Manual No. **O&A-001**
Versión: **DIC 21 2017**

Sistema Cleanbot V.1.0

Manual Del Usuario



CLEANBOT
Proyectos.

AVISO

CLEANBOT no brinda garantías de ningún tipo con respecto a esta publicación, pero no limitado a las garantías implícitas de comerciabilidad y adecuación para un propósito particular. CLEANBOT no se responsabiliza de los errores contenidos en este documento ni de los daños incidentales o consecuentes relacionados con el suministro, rendimiento o uso de esta publicación. CLEANBOT se reserva el derecho de cambiar las opciones del sistema o funciones, o la información contenida en esta publicación. Esta publicación contiene información de propiedad que está protegida por derechos de autor. Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser fotocopiada, reproducida o traducida a otro idioma sin el consentimiento previo escrito de CLEANBOT.

RECLAMOS POR DAÑOS

El equipo técnico examinará en detalle todos los componentes y unidades, en cuanto se reciban. Si alguna etiqueta está dañada o no existe una descripción completa con detalles de los diferentes daños, o no tiene la factura de compra; CLEANBOT verificará cada punto y de no cumplir con los requisitos no se autorizará el envío.

PROCEDIMIENTO DE GARANTÍAS

1. Póngase en contacto con el CAC 01-8000-000000 CLEANBOT con los números de pieza específicos y las cantidades necesarias.

2. Firma de autorización y embarque

3. CLEANBOT presentará la reclamación con el transportista y reemplazará el producto dañado o faltante. El Centro de atención al cliente trabajará con la planta de producción para que el producto de reemplazo sea enviado tan pronto la autorización sea confirmada

*todos los cambios por garantías deben cumplir los requerimientos que indica RECLAMOS POR DAÑOS

DATOS DEL PRODUCTO

Para cualquiera de los procedimientos sugerimos tener el número de modelo, número de serie y fecha de compra, para facilitar el trámite.

MODELO # _____

SERIE # _____

FECHA DE COMPRA ____/____/____

Tabla de Contenidos

<i>Capítulo 1. Introducción</i>	4
Título 1. Advertencias de seguridad	4
Título 2. Señales de seguridad	5
Título 3. Precaución general	5
<i>Capítulo 2. Paquete de contenido y especificaciones técnicas</i>	6
Título 4. Contenido	6
Título 5. Especificaciones	6
Título 6. Diagrama del producto	7
<i>Capítulo 3. Condiciones e instalación de elementos</i>	8
Título 7. Condiciones del entorno.....	8
Título 8. Instalación de la línea de vida	9
Título 9. Carga y conexión de las baterías	10
Título 10. Instalación del set de paños de limpieza	11
Título 11. Cantidad de líquido limpiador.....	12
<i>Capítulo 4. Operaciones del CLEANBOT</i>	13
<i>Capítulo 5. Mantenimiento</i>	16
Limpieza de los paños.....	16
Limpieza de las ventosas	16
Limpieza de los sensores	16
Limpieza del tanque	16
Revisión de las baterías.....	16
<i>Capítulo 6. Posibles Errores y Soluciones</i>	17

Capítulo 1. Introducción

El sistema CLEANBOT V1.0 es un robot diseñado para operaciones de limpieza en superficies verticales vidriosas, su arquitectura permite una completa autonomía en el trabajo a realizar, permitiendo mantener una fachada agradable a la vista y haciendo más grato el entorno de los trabajadores.

Título 1. Advertencias de seguridad

Para proteger a sí mismo y a su equipo, observe las siguientes advertencias e información importante:

	 ADVERTENCIA
	Este producto es para ser utilizado en edificios que cuenta con una fachada vidriosa.
	NO CUMPLIR CON LAS SIGUIENTES ADVERTENCIAS Y PRECAUCIONES DE SEGURIDAD PODRÍA CAUSAR DAÑO A LA PROPIEDAD, AL USUARIO, CAUSANDO LESIONES GRAVES O LA MUERTE.
	1. Lea y siga todas las instrucciones en este manual, incluyendo todas las advertencias de seguridad para protegerse a sí mismo y a otros de lesiones graves.
	2. Cumplir con todos los códigos aplicables, incluyendo: el Código Eléctrico Nacional; códigos locales; y otros códigos de seguridad aplicables.
	3. Para protegerse a sí mismo y a los demás de ser golpeado por el robot, debe bloquear el área de trabajo durante servicio.
	4. No alterar o modificar ningún componente o sustitutos en este kit. La sustitución de componentes puede perjudicar la seguridad intrínseca.
	5. El cableado no debe ser manipulado, ni intercambiado de posición, de esta manera evitar fallos en la operación de robot, evitando lesiones y/o accidentes graves.
	6. Para evitar daños en el robot, al usuario y a la propiedad, verificar previamente, que las baterías estén en buen estado (Cargadas, NO Sopladas).
	7. Durante el proceso de limpieza evitar la extracción del robot en estado de encendido, asegúrese que el robot se encuentre apagado y no ejerciendo fricción con el vidrio.

Título 2. Señales de seguridad

Los siguientes símbolos de seguridad se pueden utilizar en todo el manual para alertar de los peligros y precauciones de seguridad.

	<p>BARRERAS DE SEGURIDAD Las personas no autorizadas o vehículos en el área de trabajo son peligrosas. Siempre use conos de seguridad o barricadas, cinta de seguridad, y su vehículo para bloquear el área de trabajo.</p>		<p>OBJETOS QUE CAEN Ser golpeado por incluso pequeños objetos que caen de las estructuras altas puede provocar lesiones graves o la muerte. Use su casco en todo momento cuando se trabaja junto con las estructuras de altura.</p>
	<p>ARNÉS DE SEGURIDAD Lesiones o muerte como resultado de caídas durante las intervenciones sobre estructuras elevadas se puede prevenir con el uso de un arnés que se ata firmemente por una eslinga amortiguadora de impacto a la estructura.</p>		<p>ADVERTENCIA Prestar atención a las instrucciones adyacentes para evitar daños en el equipo, la propiedad, el medio ambiente o lesiones personales.</p>
	<p>LEER LOS TODOS MANUALES El conocimiento de todos los procedimientos relacionados. Antes de comenzar el trabajo es importante. Lea y comprenda todos los manuales a fondo. Si no entiende un procedimiento, pregunte a alguien que conozca del tema.</p>		

Título 3. Precaución general

- Verificar que las ventosas no estén mojadas en el momento de iniciar la limpieza.
- Verificar que el tanque contenga el contenido mínimo de detergente.
- Tener las baterías cargadas antes de ponerlo a funcionar.
- Colocar el robot en el vidrio y encender el prototipo.

Capítulo 2. Paquete de contenido y especificaciones técnicas

Al adquirir el robot CLEANBOT V1.0 este contiene los siguientes elementos y especificaciones para su mejor entendimiento.

Título 4. Contenido



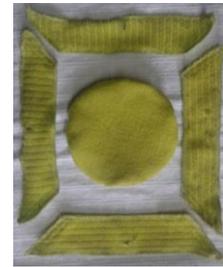
Robot Cleanbot



Adaptadores de poder



Manual de instrucciones

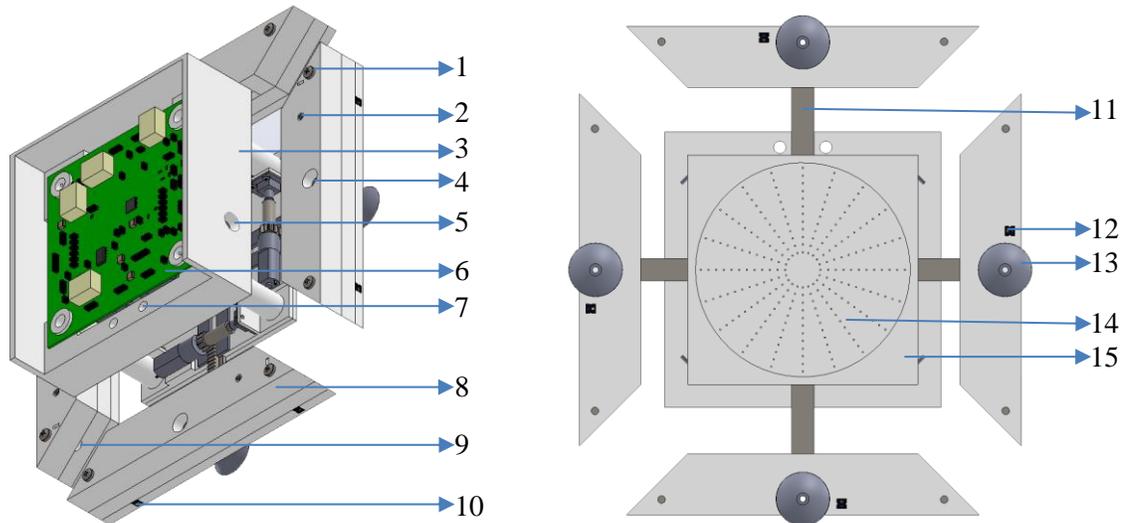


Sets de paños de limpieza

Título 5. Especificaciones

Modelo	Versión 1.0		
Trabajo Zona Digital			
Voltaje de Trabajo (V)	DC 5V	Corriente de Trabajo (mA)	280mA
Trabajo Zona de Potencia			
Voltaje de Trabajo (V)	DC 12V	Corriente de Trabajo (mA)	2000mA
Adaptadores de Poder			
Input	100-240v ~ 0.2A 60/60Hz	Output	DC 9V 500mA
Input	100-240v ~ 0.3A 60/60Hz	Output	DC 12V 1A

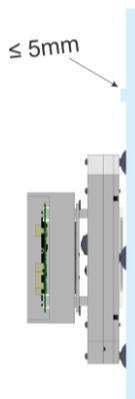
Título 6. Diagrama del producto



1. Tornillos de extremidad	6. Tarjeta controladora	11. Mecanismo de movimiento
2. Salida bomba de vacío	7. Espacio para línea de vida	12. Sensores de proximidad inferiores
3. Carcasa externa	8. Extremidades	13. Ventosas
4. Entrada de bomba de vacío a la ventosa	9. Entrada de aire para bomba de vacío	14. Disco limpiador
5. Entrada de líquido limpiador	10. Sensores de proximidad laterales	15. Base principal

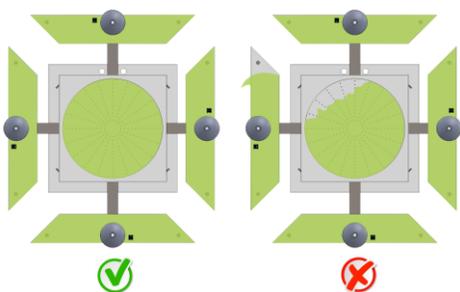
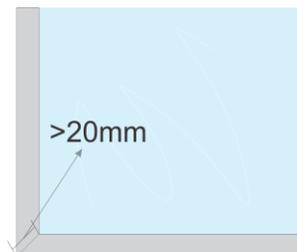
Capítulo 3. Condiciones e instalación de elementos

Título 7. Condiciones del entorno



No usar el CLEANBOT en ventanas que contengan obstáculos mayores a 5mm.

Usar el CLEANBOT en ventanas cuyo marco sea de 20mm o mayor, o llegado el caso no tener marco.



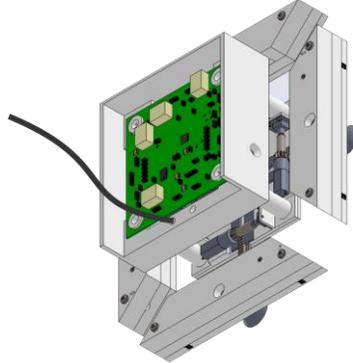
Revisar el estado del set de paños de limpieza y que estén debidamente colocados.

NO usar el CLEANBOT en un ambiente lluvioso.

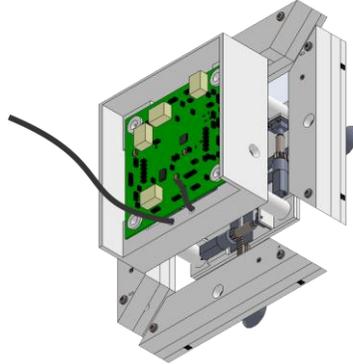


Título 8. Instalación de la línea de vida

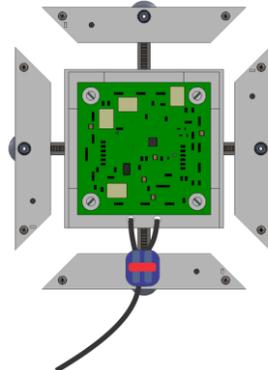
1. Pasar la línea de vida por el orificio superior.



2. Devolver la línea de vida por el segundo orificio de la parte inferior.



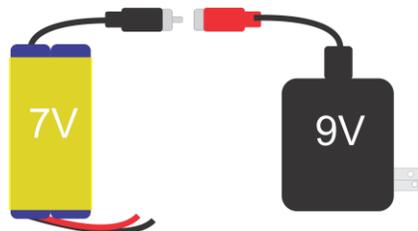
3. Unir el extremo y la línea de vida, con una hebilla de seguridad.



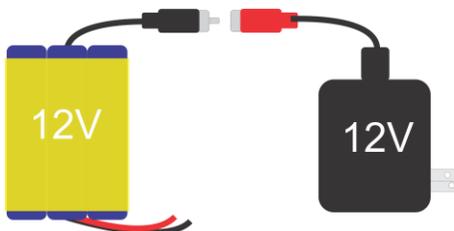
4. Asegurar la línea de vida, a la parte superior del edificio.

Título 9. Carga y conexión de las baterías

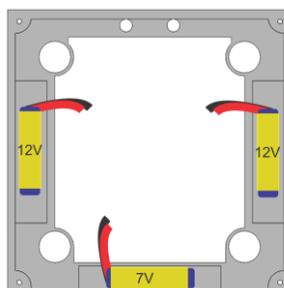
1. Cargar la batería de 7V con el cargador de 9V durante 4 horas.



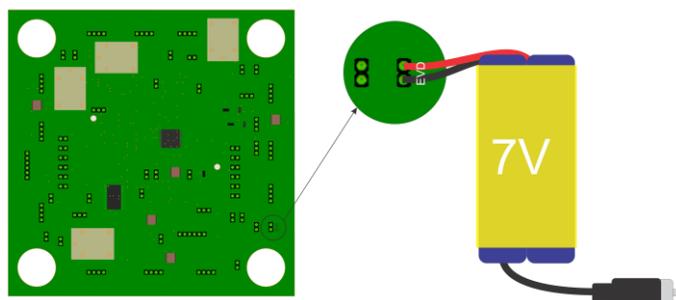
2. Cargar las baterías de 12V con el cargador de 12V durante 4 horas y 30 minutos.



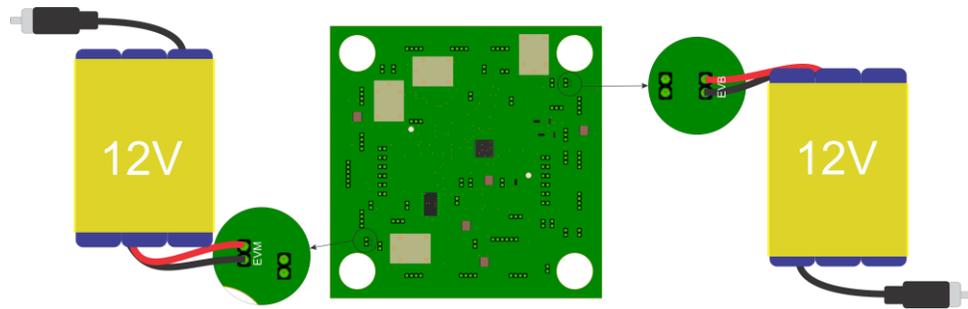
3. Una vez cargadas, colocarlas en las herraduras de la carcasa externa.



4. Conectar la batería de 7V en el puerto "EVD"

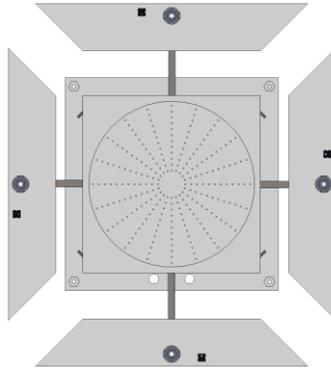


5. Conectar las baterías de 12v en los puertos “EVM” y “EVB”.

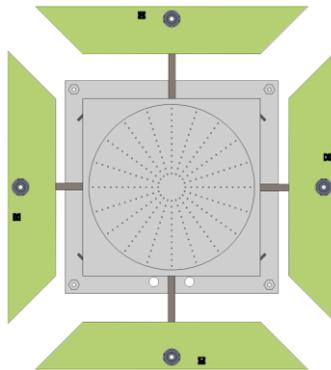


Título 10. Instalación del set de paños de limpieza

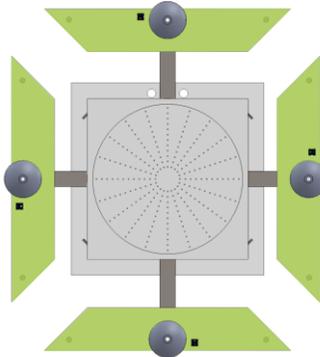
1. Quitar las ventosas.



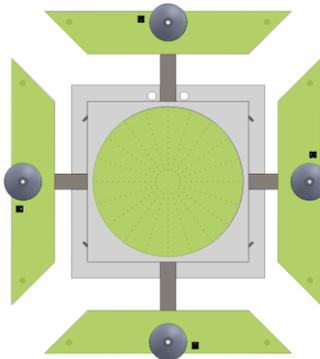
2. Colocar el paño sobre el velcro, haciendo que el paño quede completamente estirado.



3. Colocar las ventosas.

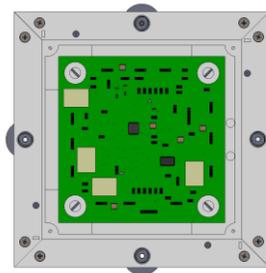


4. Colocar el paño central en el disco con cuidado sin desprender la pieza.



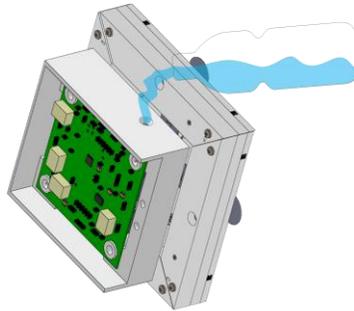
Título 11. Cantidad de líquido limpiador.

1. Colocar el CLEANBOT en vertical, apuntando la tapa de llenado de tanque hacia arriba.



2. Abrir la tapa de llenado del tanque.

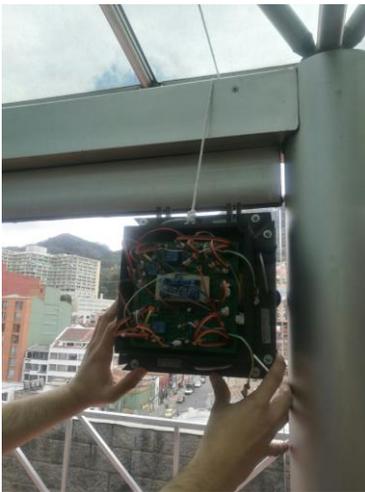
3. Verter 250ml de liquido limpiador en el tanque.



4. Cerrar debidamente la tapa de llenado de tanque.

Capítulo 4. Operaciones del CLEANBOT

Se mostrará como el CLEANBOT V1.0 ya teniendo todo preparado para el funcionamiento (revisar capítulo 3 condiciones e instalación de elementos), va a trabajar.



Ubicar el CLEANBOT en una esquina del entorno que va a limpiar, para una mayor cobertura de limpieza.

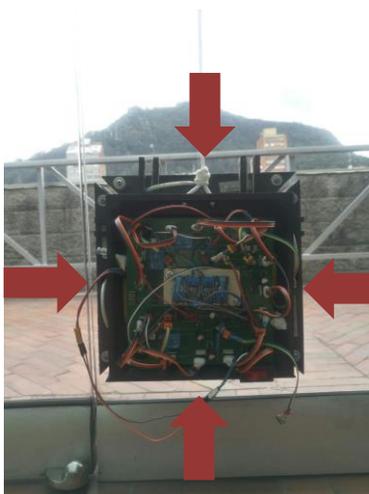
Colocar el CLEANBOT en el vidrio y pulsar el botón de encendido.





Verificar que el robot esté debidamente agarrado al vidrio.

Esperar a que el CLEANBOT termine la limpieza.



Verificar que todas las extremidades estén recogidas en el momento de finalizar.

Sostener y apagar el CLEANBOT.



Retirar el CLEANBOT de la ventana y guardarlo.

Capítulo 5. Mantenimiento

Para una mayor duración en la vida del CLEANBOT V1.0 se recomienda hacer los siguientes mantenimientos, por lo menos cada 3 usos.

Limpieza de los paños.

- Retirar los paños del CLEANBOT.
- Lavarlos con agua caliente.
- Dejar secar al sol.
- Verificar antes de su uso que no se encuentren húmedos.

Limpieza de las ventosas

- Retirar las ventosas del CLEANBOT.
- Con un paño húmedo limpiarlas en la parte inferior (Contacto con el vidrio)
- Pasarle un paño seco para verificar que no queden húmedas.
- Colocarlas nuevamente en el CLEANBOT.

Limpieza de los sensores

- Con un paño seco limpiar los sensores, quitando la suciedad.
- Verificar que no estén mojados los sensores.

Limpieza del tanque

- Abrir la tapa de llenado de tanque.
- Colocar la abertura boca abajo para sacar todo el líquido.
- Verter agua y cerrar la tapa.
- Agitar el CLEANBOT en todas las direcciones para limpiar (suavemente).
- Abrir nuevamente la tapa y dejar escurrir el agua.

Revisión de las baterías

- Desconectar las baterías
- Verificar que ninguna de las baterías esté inflada o con algún cable roto.

Capítulo 6. Posibles Errores y Soluciones

Si el CLEANBOT V1.0 presenta algunas de estas fallas, se indica como podría solucionarlas, de lo contrario o si la falla persiste comunicarse con soporte técnico para darle una solución.

Problemas	Soluciones
<i>La bomba no succiona.</i>	<i>~Verificar que el tubo esta entrada a la ventosa y salida de la bomba estén bien conectados.</i>
<i>Sensor no detecta el borde.</i>	<i>~Verificar que el sensor no esté tapado por mugre. ~Verificar que los cables de la extremidad estén debidamente conectados.</i>
<i>El robot enciende, pero no se mueve bien o no se pega bien al vidrio.</i>	<i>~Verificar que el estado de las baterías de 12V (Esten cargadas).</i>
<i>El robot no enciende.</i>	<i>~verificar que el estado de la batería de 7V (Este cargada).</i>