

PROTOTIPO ROBÓTICO LIMPIADOR DE CÉSPED SINTÉTICO

LEONARDO STIVENS BALLESTEROS CASTRO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
BOGOTÁ  
2018

# PROTOTIPO ROBÓTICO LIMPIADOR DE CÉSPED SINTÉTICO

LEONARDO STIVENS BALLESTEROS CASTRO

Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero electrónico y telecomunicaciones

Directora

Beatriz Natalia Serrato

MSC. Automatización y robótica

Ingeniera en control electrónico

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

BOGOTÁ

2018



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bogotá 30, Noviembre, 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

A todas las personas que han colaborado desinteresadamente para que este proyecto se pudiera llevar a cabo, ya sea aportando un poco de luz en momentos difíciles o simplemente con su presencia, amenizando momentos de trabajo.

Ing. Bartiz Nathalia Serrato, Directora de tesis por su tiempo, orientación y valiosas sugerencias para culminar con éxito la elaboración de este trabajo.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado de manera especial a mis padres quienes con su esfuerzo y dedicación hicieron esto posible, a mi esposa por su apoyo incondicional y a mi hija por ser fuente de mi superación.

## TABLA DE CONTENIDO

|  | Pág.      |
|--|-----------|
| <b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>              | <b>15</b> |
| <b>2. JUSTIFICACIÓN .....</b>                          | <b>16</b> |
| <b>3. OBJETIVOS .....</b>                              | <b>18</b> |
| <b>3.1. OBJETIVO GENERAL. ....</b>                     | <b>18</b> |
| <b>3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....</b>                 | <b>18</b> |
| <b>4. METODOLOGIA.....</b>                             | <b>19</b> |
| <b>5. ANTECEDENTES .....</b>                           | <b>21</b> |
| <b>6. MARCO CONCEPTUAL .....</b>                       | <b>26</b> |
| <b>6.1. MICROCONTROLADORES.....</b>                    | <b>26</b> |
| <b>6.2. PROGRAMACION MEDIANTE PIC C COMPILER. ....</b> | <b>28</b> |
| <b>6.3. MOTORREDCTORES DC.....</b>                     | <b>28</b> |
| <b>6.4. CONTROLADORES PARA MOTORES. ....</b>           | <b>29</b> |
| <b>7. MARCO TEÓRICO.....</b>                           | <b>31</b> |
| <b>7.1. TECLADO MATRICIAL 4x4.....</b>                 | <b>31</b> |
| <b>7.2. PANTALLA LCD 16X2.....</b>                     | <b>32</b> |
| <b>7.3. MOTORREDUCTORES DC.....</b>                    | <b>33</b> |
| <b>7.3.1. Motorreductor 1:48.....</b>                  | <b>33</b> |
| <b>7.3.2. Motorreductor DC serie T10.....</b>          | <b>34</b> |
| <b>7.4. RUEDAS.....</b>                                | <b>35</b> |
| <b>7.4.1. Ruedas Omnidireccionales.....</b>            | <b>35</b> |
| <b>7.4.2. Ruedas convencionales.....</b>               | <b>36</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| 7.5. MODULO CONTROLADOR DE MOTORES DC. ....         | 36        |
| <b>8. INSTRUMENTACIÓN REQUERIDA.....</b>            | <b>38</b> |
| 8.1. DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA PROGRAMACIÓN. .... | 38        |
| 8.2. SIMULACIÓN EN PROTEUS. ....                    | 38        |
| 8.2.1. Ingreso datos usuario.....                   | 39        |
| <b>9. IMPLEMENTACIÓN.....</b>                       | <b>41</b> |
| 9.1. IMPLEMENTACION DE LA ESTRUCTURA. ....          | 42        |
| 9.1.1. Acople ruedas y motores.....                 | 42        |
| 9.1.2. Acople ruedas omnidireccionales.....         | 43        |
| 9.1.3. Elaboración de chasis. ....                  | 43        |
| 9.1.4. Implementación sistema recolector.....       | 45        |
| 9.1.5. Cubierta plataforma.....                     | 46        |
| 9.2. ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN.....                 | 47        |
| <b>10. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>   | <b>48</b> |
| <b>11. CONCLUSIONES.....</b>                        | <b>49</b> |
| <b>12. TRABAJOS FUTUROS.....</b>                    | <b>50</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                            | <b>51</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                                  | <b>52</b> |
| <b>ANEXO A. ....</b>                                | <b>52</b> |

## LISTA DE ILUSTRACIONES

|  |    |
|--|----|
| <b>Ilustración 1.</b> Puente H.....  | 30 |
| <b>Ilustración 2.</b> Modelo teclado matricial 4x4 .....                     | 31 |
| <b>Ilustración 3.</b> Teclado matricial 4x4.....                             | 32 |
| <b>Ilustración 4.</b> Pantalla LCD 16x2.....                                 | 33 |
| <b>Ilustración 5.</b> Motorreductor.....                                     | 34 |
| <b>Ilustración 6.</b> Motorreductor serie T10.....                           | 35 |
| <b>Ilustración 7.</b> Rueda Omnidireccional.....                             | 35 |
| <b>Ilustración 8.</b> Redas convencionales.....                              | 36 |
| <b>Ilustración 9.</b> Driver L298N.....                                      | 37 |
| <b>Ilustración 10.</b> Simulación Proteus.....                               | 39 |
| <b>Ilustración 11.</b> Ingreso datos usuario.....                            | 40 |
| <b>Ilustración 12.</b> Prototipo robótico limpiador de césped sintético..... | 41 |
| <b>Ilustración 13.</b> Eje acoplado al motor y a la rueda 1.....             | 42 |
| <b>Ilustración 14.</b> Eje acoplado al motor y a la rueda.....               | 43 |
| <b>Ilustración 15.</b> Acople ruedas omnidireccionales.....                  | 43 |
| <b>Ilustración 16.</b> Elaboración chasis (acople ruedas).....               | 44 |
| <b>Ilustración 17.</b> Elaboración chasis.....                               | 44 |
| <b>Ilustración 18.</b> Elaboración chasis (ruedas omnidireccionales).....    | 45 |
| <b>Ilustración 19.</b> Implementación sistema recolector.....                | 45 |
| <b>Ilustración 20.</b> Implementación sistema recolector.....                | 46 |
| <b>Ilustración 21.</b> Cubierta plataforma.....                              | 46 |

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Fases utilizadas para el desarrollo de la metodología. .... | 20 |
|---|----|

## **GLOSARIO**

**MODULO CONTROLADOR:** Amplificador de corriente que toma una pequeña corriente y la convierte en alta corriente para alimentar el motor.

**PIC C COMPILER:** Compilador estándar de lenguaje C, el cual puede generar códigos para diferentes arquitecturas de computadora.

**ROBOTS AUTONOMOS:** Adapta sus comportamientos y acciones en su entorno.

## RESUMEN

El presente trabajo de grado se basa en el desarrollo de un prototipo robótico el cual fue diseñado para realizar la limpieza del césped sintético, este prototipo realiza esta labor por medio de rodillos recolectando la basura que se encuentra en la cancha de césped sintético arrojándola a un compartimiento, el usuario debe ingresar las dimensiones del área a limpiar; este prototipo realiza el barrido de toda el área desde una posición inicial hasta una final, este recorrido es definido previamente mediante programación.

Palabras clave: Robótica. Pic c compiler. Robot limpiador.

## INTRODUCCIÓN

Los grandes avances tecnológicos se han enfocado principalmente en mejorar la calidad de vida de los seres humanos, se han diseñado e implementado robots de todo tipo con el fin de que los seres humanos dejen de realizar algunas labores, las cuales podrían ser peligrosas, repetitivas y tediosas.

“La robótica está experimentando un crecimiento explosivo, propulsado por los avances en computación, sensores, electrónica y software. Los robots están ya en la antesala de revolucionar los procedimientos que se emplean en la agricultura, la minería y el transporte, atrayendo no solo nuestra imaginación sino también nuestros mercados.”<sup>1</sup> “El objetivo es desarrollar robots inteligentes y autónomos, capaces de estar situados en su entorno, adoptar comportamientos, razonar, evolucionar y actuar como seres vivos.”<sup>2</sup>

Desde hace varios años se ha implementado el uso del césped artificial en la construcción y fabricación de canchas de futbol sintéticas, “debido a las grandes oportunidades de negocio las cuales se encuentran asociadas al futbol, ya que este deporte es considerado el más popular del planeta y por lo tanto hay un gran movimiento económico en relación a este deporte.”<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> OLLERO BATURON, Aníbal. Robótica manipuladores y robots móviles. 2001, p 15.

<sup>2</sup> TEMPLOS MALDONADO, Alejandro. La importancia de la robótica. [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/2fUWsRO>

<sup>3</sup> GRAMAS SINTÉTICAS V&P. El césped artificial en el futbol: Ventajas y Desventajas. [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/2RrtzJX>

Teniendo en cuenta que la gente en general o por lo menos la gran mayoría practica algún deporte por hobby y/o conservar un buen estado de salud, y que las zonas verdes en las ciudades se han reducido considerablemente, por la necesidad de potenciar la economía de las mismas, se tiene actualmente el auge de las canchas sintéticas, gracias a los beneficios que estas conllevan para los usuarios como las indicadas a continuación:

1. Superficie pareja.
2. Aislamiento factores climáticos.
3. Mayor rebote y rapidez del balón.
4. Mayor durabilidad y usos múltiples.

Aunque los costos de mantenimiento para este tipo de canchas son mucho menores a las de césped natural es necesario realizar algunas labores con el fin de conservar su alto rendimiento, las cuales se deben realizar de manera periódica.

Por lo tanto, se desarrolló un prototipo robótico el cual se diseñó e implementó para limpiar de forma automática las superficies de las canchas sintéticas, de modo que facilite el mantenimiento de las mismas en forma rápida y eficiente.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta el gran auge de las canchas con césped sintético y la implementación que van de acuerdo a la ubicación geográfica y el dinero invertido en la implementación de las mismas, algunas canchas no poseen estructuras con paredes ni techo, la gran mayoría cuenta con una malla que encierra el área de juego, como protección para evitar la salida del balón; desafortunadamente este diseño no permite evitar que la cancha sintética constantemente se encuentre expuesta a partículas y objetos contaminantes los que pueden reducir la calidad del material de fabricación y asimismo su vida útil y en algunos casos estos objetos pueden ser peligrosos y afecten la integridad de los jugadores.

De acuerdo al planteamiento del problema, la solución es desarrollar un prototipo robótico limpiador, para la eliminación de residuos en el área de juego de la cancha, caracterizado por su diseño, aplicación y beneficio a la comunidad, logrando mantener un área de juego adecuada, disminuyendo el impacto ambiental generado en la misma y logrando reducir los tiempos de mantenimiento de la cancha con césped sintético.

¿Qué alternativa se puede proponer para limpiar el césped artificial?

## 2. JUSTIFICACIÓN

A nivel nacional e internacional el desarrollo tecnológico es vital para satisfacer las necesidades de los seres humanos logrando mejorar la calidad de vida. Gracias a ello, se ha tenido una gran importancia en el aumento de investigaciones en el campo tecnológico.

El fútbol es sin lugar a dudas uno de los deportes más populares del mundo. En Colombia es además una pasión para muchas personas. Pero también es visto como una fuente económica, un negocio que mueve mucho dinero.

“La industria del deporte mundial genera 700.000 millones de dólares (632.000 millones de euros) cada año, lo que supone el uno por ciento del producto interior bruto (PIB) mundial, de acuerdo a lo expresado por Gavin Llewellyn, presidente de la comisión de la propiedad intelectual de la Unión Internacional de Abogados (UIA).”<sup>4</sup>

Al éxito del fútbol se ha contribuido la posibilidad de distribuir el costo del alquiler entre 10 o 12 personas, dispuestas a pagar entre 8.000 y 15.000 pesos por una hora de esparcimiento.

En Bogotá, según la ubicación y las comodidades, el alquiler de una cancha oscila entre 70.000 y 150.000 pesos en el horario de mayor demanda, entre las 7 pm. y 10 pm.

---

<sup>4</sup> Revista Sport. La industria del deporte mundial genera 700.000 millones de dólares, según UIA. Octubre, 2015 [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/2DhEkvB>

Los administradores de estos negocios estiman que como mínimo cada año el fútbol 5 mueve 61.000 millones de pesos en todo el país.<sup>5</sup>

Por lo tanto, surge la necesidad de implementar este prototipo robótico para contribuir al desarrollo tecnológico del sector deportivo, garantizando las condiciones óptimas de operación en la cancha con césped sintético.

---

<sup>5</sup> Revista Portafolio. Fútbol 5, uno de los mejores negocios en el país. Diciembre, 2011 [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/2yOsHlr>

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL.**

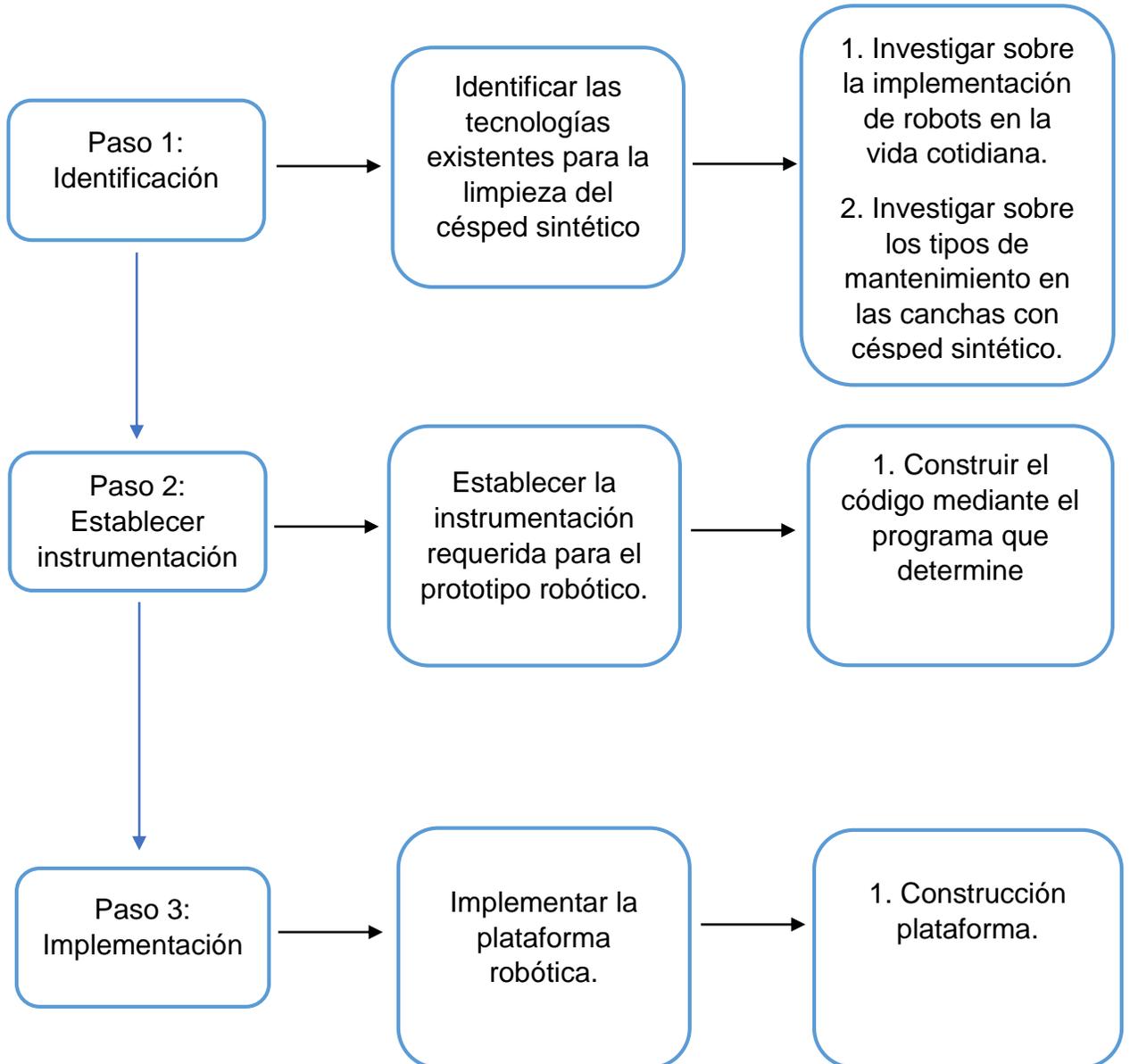
- Desarrollar un prototipo robótico limpiador de césped sintético.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- Identificar las tecnologías existentes para la limpieza del césped sintético.
- Establecer la instrumentación requerida para el prototipo robótico.
- Implementar la plataforma robótica.

## 4. METODOLOGIA

A continuación, se relacionan las fases en las que se realiza este trabajo de grado.



De acuerdo a las fases relacionadas anteriormente, durante el desarrollo del presente trabajo de grado se especifican los detalles en la tabla 1.

**Tabla 1.** Fases utilizadas para el desarrollo de la metodología.

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| 1. Identificación             | Se procederá a identificar las tecnologías existentes sobre los mecanismos de limpieza implementados en robots y los tipos de mantenimientos para las cancha con césped sintético. |
| 2. Establecer instrumentación | Se establecerá la instrumentación a utilizar para implementar la mejor alternativa.  |
| 3. Implementación             | Se realizará la plataforma robótica implementada con el respectivo código de programación elaborado para su funcionamiento.  |

Fuente: El autor.

## 5. ANTECEDENTES

En la vida cotidiana los seres humanos se han acostumbrado a utilizar toda clase de dispositivos electrónicos que fundamentalmente tienen la complicada misión de solucionar y/o simplificar una gran cantidad de dificultades o problemas que existen, convirtiéndose entonces en una herramienta de trabajo más y en muchas ocasiones permite a los seres humanos reducir el tiempo de trabajo o bien incrementar notoriamente la productividad y rendimiento en sus actividades mejorando la calidad de vida de los mismos.

Partiendo de lo anterior, en un estudio realizado por Lorena Cardona Rendón, Paula Andrea Ortiz y Juan Sebastián Botero el cual tiene como título “Sistema de navegación para un robot limpiador de piscinas”, el cual se establece que “En este trabajo se desarrolló un sistema de navegación para estimar la posición, velocidad y orientación de un robot limpiador de piscinas que se quiere automatizar. Para el diseño del sistema de navegación se utilizó la técnica de mínimos cuadrados ponderados, que combina las medidas de un acelerómetro tri-axial y un giróscopo, con la solución de las ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento del robot.

El sistema de navegación se probó sobre un modelo del robot elaborado en Simulink a partir de una reproducción tridimensional realizada en un software CAD (Autodesk Inventor).”<sup>6</sup> Obteniendo como resultados el lograr una estimación del estado del robot en tiempo real y con un grado de error aceptable.

---

<sup>6</sup> Cardona Rendón Lorena, Ortiz Valencia Paula y Botero Valencia Juan “Sistema de navegación para un robot limpiador de piscinas” [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/2SJl0f8>

En el caso de Emmanuel Cortés Saúl Ibaven y Alicia Hernández donde en su informe “Robot limpiador de playas”, se lleva a cabo el desarrollo de un “robot autónomo que realiza la recolección de basura en una playa, el cual está construido en un chasis de aluminio, cuenta con 4 motores, logrando así una tracción 4X4, evitando entonces la posibilidad que se pueda atascar en la arena. De igual manera se diseñó electrónicamente con el propósito de controlar motores de CD basados en un circuito puente H, las cuales estarán ligadas a la tarjeta Raspberry Pi.”<sup>7</sup>

Para el estudio realizado por Gonzalez Jimenez y Ollero Baturone Aniball donde en su informe llamado “Estimación de la posición de un robot móvil”, en este artículo se revisan los métodos existentes para la estimación de la posición de los robots móviles y vehículos autónomos.<sup>8</sup>

Las conclusiones del informe e fundamentan dos aspectos principales para conocer la posición del robot. El primer aspecto es proporcionado en forma explícita la posición y orientación del robot. El segundo aspecto está basado en la percepción del entorno.

En otro trabajo de investigación elaborado por Gómez F, Cuesta F y Ollero A. llamado “Planificación de trayectorias en robots móviles basada en técnicas de control de sistemas no holónomos”, el cual plantea trayectorias canónicas, así como también la comparación entre los métodos de planificación de trayectorias, en el cual se concluyó que “ de acuerdo a los resultados obtenidos en las distintas

---

<sup>7</sup> Ibaven Saul, Solorzano Maria, Cortés Emmanuel, Hernandez Alicia, Perez Joel “Robot limpiador de playas” [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/2CUMDwi>

<sup>8</sup> Gonzalez Javier, Ollero Anibal. “Estimación de la posición de un robot móvil” [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/2Dh4sGD>

técnicas, se pueden integrar logrando un mejor resultado para la planificación de trayectorias en los robots móviles.”<sup>9</sup>

En el caso de Dos Reis J, Pacheco L, León J, y Lezama J. en el cual implementaron un “Robot Autónomo de Recolección de lata en Arena” en el cual desarrollan un “robot autónomo con la capacidad de trabajar en una playa, encargándose de recoger los desechos que los humanos dejan en sus visitas a las playas”, fue diseñado en las siguientes etapas, Movilidad, Brazo y visión. “Su estructura fue realizada en láminas de aluminio, para la movilidad. Se diseñó un puente H para el control de los 4 motores DC y el control del movimiento se desarrolló por medio de un controlador PID”<sup>10</sup>

El proyecto realizado por Calle M, y Pérez M, donde diseñaron y construyeron un robot de limpieza para fachadas verticales en los edificios y construcciones, teniendo en cuenta que la limpieza de las fachadas es ejecutada mediante andamios, lo cual termina siendo una práctica riesgosa para los humanos. Este proyecto implementó un sistema de control mediante un microprocesador PIC, teniendo un sistema de potencia, el cual se conformó por cilindros neumáticos y su sistema de limpieza está basado en la limpieza realizada por los humanos de forma manual en los vidrios. En este proyecto se logró concluir que “implementando el sistema de control mediante microcontrolador se obtuvo un sistema que responde de manera rápida y satisfactoria, teniendo un funcionamiento adecuado del robot.”<sup>11</sup>

---

<sup>9</sup> Gómez F, Cuesta F y Ollero A, “Planificación de trayectorias en robots móviles basada en técnicas de control de sistemas no holónomos” [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/1pxhRPJ>

<sup>10</sup> Dos Reis Jennifer, Pacheco Leonor, León Juliana y Lezama José. “Robot Autónomo de Recolección de Latas en Arena ” [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/2zlbq1A>

<sup>11</sup> Calle Mónica, Pérez Magaly. “Diseño y construcción de un robot de limpieza para fachadas verticales” [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/2AGoJmq>

“Todos los campos deportivos de césped sintético cumplen su ciclo. Este ciclo se ve ampliamente afectado por el tiempo de uso que se le dé anualmente. Un programa de mantenimiento adecuado puede extender el rendimiento de su cancha significativamente.”<sup>12</sup>

En las canchas sintéticas se comprenden dos tipos de mantenimiento:

1. Mantenimiento periódico preventivo: “El mantenimiento de las canchas sintéticas comprende obras programadas con intervalos de tiempo destinadas a mantener las condiciones y especificaciones del nivel de servicio original de la cancha en grama sintética. La actividad de mantenimiento más importante para el césped sintético será el cepillado de la grama, el cual deberá ser lo más constante posible, ya que además de retirar suciedad del campo, redistribuye los cúmulos de arena y caucho que se forman por el uso.”<sup>13</sup>
2. Mantenimiento correctivo: “Para conservar las obras construidas, es importante realizar las actividades de reparación tan pronto ocurra un daño que afecte la prestación del servicio de la cancha. Se considera como correctiva la ejecución de trabajos que permitan superar situaciones fortuitas que no permitan el uso de las instalaciones en condiciones de seguridad física para la práctica, deben realizarse en el menor tiempo posible y llevar a

---

<sup>12</sup> Greenfields “Programas de mantenimiento de su sistema de césped sintético” [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/2PBLdNV>

<sup>13</sup> Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas “Construcción y dotación de una cancha en grama sintética” [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/2zjHRF7>

cabo las actividades que sean del caso para evitar o minimizar el riesgo de reincidencia del daño.”<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas “Construcción y dotación de una cancha en grama sintética” [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/2zjHRF7>

## 6. MARCO CONCEPTUAL

Para realizar el desarrollo de este prototipo debemos tener en cuenta el conocimiento de los siguientes aspectos:

### 6.1. MICROCONTROLADORES.

“El Microcontrolador es un circuito integrado que es el componente principal de una aplicación embebida. Es como una pequeña computadora que incluye sistemas para controlar elementos de entrada/salida. También incluye a un procesador y por supuesto memoria que puede guardar el programa y sus variables (flash y RAM). Funciona como una mini PC. Su función es la de automatizar procesos y procesar información.”<sup>15</sup>

Un microcontrolador básicamente está compuesto por un microprocesador, memoria y unidades de entrada y salida.

“A continuación se relacionan algunas ventajas de los microcontroladores PIC de Microchip:

- Eficiencia del código: permiten una gran compactación de los programas.
- Rapidez de ejecución: a frecuencia de 20MHz->5 millones de instr./seg.
- Seguridad en acceso por la separación de memoria de datos y de programa.
- Juego reducido de instrucciones y de fácil aprendizaje.
- Compatibilidad de pines y código entre dispositivos de la misma familia o sin reducción de las prestaciones internas (muy versátiles).

---

<sup>15</sup> HETPRO. Microcontrolador – qué es y para qué sirve. Noviembre 2017 [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/2PIUk0e>

- Gran variedad de versiones en distintos encapsulados (desde 8 hasta 84 pines) sin reducción de las prestaciones internas (muy versátiles).
- Posibilidad de protección del código muy fiable.
- Herramientas de desarrollo software y hardware abundantes y de bajo coste.”<sup>16</sup>

Un microcontrolador se programa en lenguaje ensamblador. Entonces cada microcontrolador, tiene su propio conjunto de instrucciones. Las instrucciones se dividen de acuerdo de las operaciones que realizan en:

- Aritméticas.
- Lógicas.
- Transferencia de bits.
- Misceláneas.

Para poder programar a un microcontrolador se requieren tres cosas:

- Compilador. Traduce lenguaje como el C y C++ al lenguaje ensamblador.
- IDE. Integrated Development Environment. Entorno de Desarrollo Integrado. Es donde mediante el compilador, se crea y compilan los programas.

---

<sup>16</sup> Microcontroladores. Microcontroladores PIC y sus variedades. [En línea] Disponible en: <https://bit.ly/2BoBKb>

- Programador. Cada fabricante y arquitectura tiene su propio programador. Existen programadores llamados Universales que pueden programar distintas arquitecturas.<sup>17</sup>

## **6.2. PROGRAMACION MEDIANTE PIC C COMPILER.**

“El compilador CCS C permite desarrollar programas en C enfocado a PIC con las ventajas que supone tener un lenguaje desarrollado específicamente para un microcontrolador concreto. Su facilidad de uso, su cuidado entorno de trabajo y la posibilidad de compilar en las tres familias de gamas baja, media y alta le confieren una versatilidad y potencia muy elevadas.”<sup>18</sup>

## **6.3. MOTORREDUCTORES DC.**

Un motor de corriente continua es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en mecánica provocando un movimiento rotatorio y un principio de funcionamiento se basa en la repulsión que ejercen los polos magnéticos de un electroimán que se encuentra montado en un eje.

Un motorreductor es un sistema formado por engranajes los cuales hacen que este aumente la fuerza y trabaje a distintas velocidades, estos son utilizados en gran cantidad de aplicaciones y maquinas industriales ya que son adecuados para realizar cargas de distintos pesos.

“Ventajas al usar motorreductores

- Se logra una serie de ventajas usando reductores de velocidad.

---

<sup>17</sup> HETPRO. Op. Cit.,

<sup>18</sup> GARCÍA BREIJO, Eduardo. Compilador C CCS y simulador proteus para microcontroladores PIC, 2009.

- Se consigue un equilibrio perfecto entre la velocidad y la potencia transmitida.
- Se logra una eficacia en la transmisión de la potencia prestada por el motor eléctrico.
- Aumenta la seguridad en la transmisión, reduciendo tanto gastos como mantenimientos.
- Requiere menos espacio y mejor rigidez para el montaje.
- Se minimiza el tiempo de su instalación.”<sup>19</sup>

#### **6.4. CONTROLADORES PARA MOTORES.**

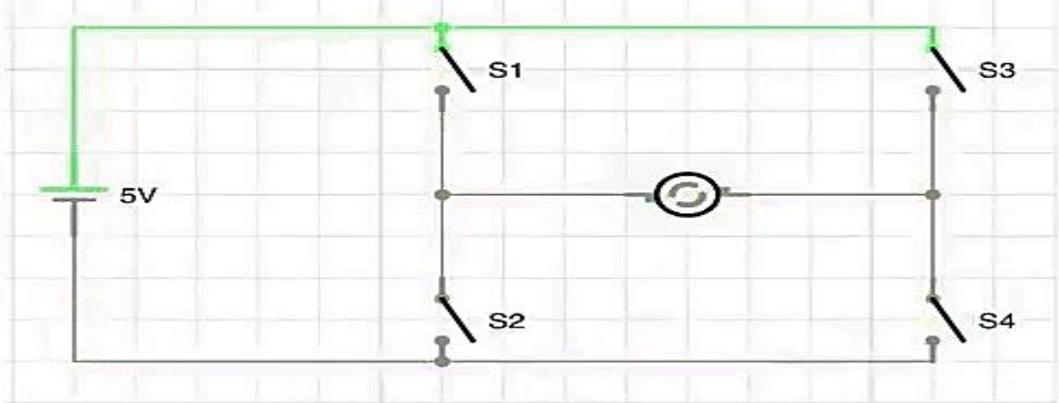
Con el fin de controlar la dirección de giro de los motores de corriente continua, se requiere invertir la polaridad en la conexión eléctrica del motor, este tipo de controlador es llamado comúnmente como “puente H”, estos se pueden implementar mediante algunos componentes electrónicos, adicionalmente también los podemos encontrar desarrollados en algunos circuitos integrados: “Un puente H se construye con 4 interruptores (mecánicos o mediante transistores). Cuando los interruptores S1 y S4 están cerrados (S2 y S3 abiertos) se aplica una tensión haciendo girar el motor en un sentido. Abriendo los interruptores S1 y S4 (cerrando S2 y S3), el voltaje se invierte, permitiendo el giro en sentido inverso del motor.”<sup>20</sup>

---

<sup>19</sup> Tercesa Sertec Transmisiones, “¿Qué es un motorreductor?” [En línea] Disponible en: (<https://bit.ly/2AYrCBu>)

<sup>20</sup> Ingeniería mecafenix, “¿Qué es un puente H?” [En línea] Disponible en: (<https://bit.ly/2qzP8WU>)

**Ilustración 1.** Puente H.



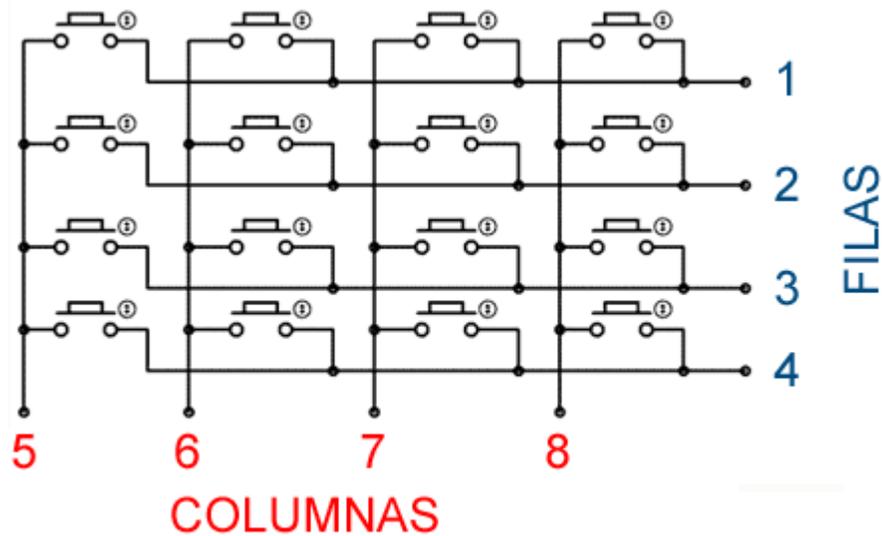
Fuente: Ingeniería mecafenix. Disponible en: <https://bit.ly/2qZP8WU>

## 7. MARCO TEÓRICO

### 7.1. TECLADO MATRICIAL 4x4.

Un Teclado matricial está compuesto por un conjunto de pulsadores distribuidos en fila y columnas donde se forma una matriz, en la ilustración 2 se puede apreciar una matriz de 4x4.

**Ilustración 2.** Modelo teclado matricial 4x4



Fuente: Ingeniería, informática y diseño. Disponible en: <https://bit.ly/2mS1bAW>

Se estableció el uso del teclado matricial ya que es el medio por el cual el usuario ingresa las dimensiones (largo y ancho) de la cancha de césped sintético de acuerdo a sus necesidades, en la ilustración 3 se puede apreciar el teclado utilizado en este prototipo.

**Ilustración 3.** Teclado matricial 4x4.



Fuente: El autor.

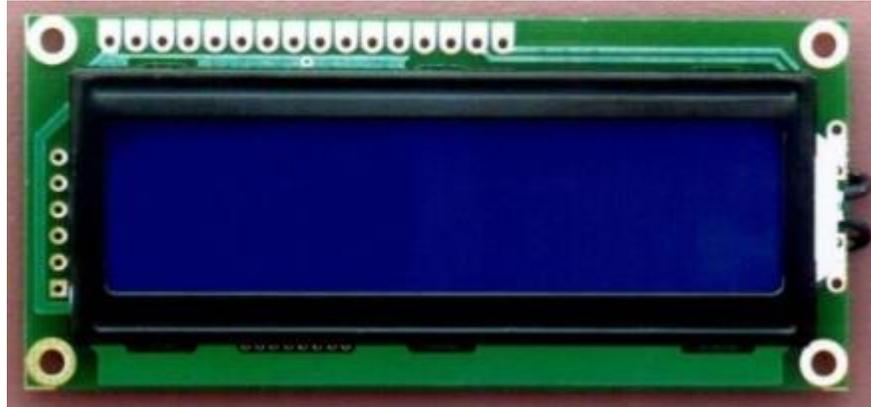
## **7.2. PANTALLA LCD 16X2.**

Una pantalla de cristal líquido se emplea para que se visualice lo contenidos o información en un entorno gráfico, este dispositivo tiene implementado un microcontrolador en cual sincroniza su funcionamiento.

En la ilustración 4, se puede apreciar la pantalla LCD implementada en el prototipo robótico limpiador de césped sintético como interfaz con el usuario, donde se puede

observar el mensaje de bienvenida y la solicitud para digitar las dimensiones (largo y ancho) de la cancha de césped sintético.

**Ilustración 4.** Pantalla LCD 16x2.



Fuente: El autor.

### **7.3. MOTORREDUCTORES DC.**

Se estableció la implementación de dos motorreductores de acuerdo a sus especificaciones técnicas y distintos modos de aplicación, la primera es en la que se acoplan los motores a los rodillos que realizan el proceso de recolección de residuos, la segunda es en la que se acolan los motores a las ruedas convencionales las cuales darán el movimiento de la plataforma robótica.

**7.3.1. Motorreductor 1:48.** Se estableció el uso de este motor debido a sus especificaciones técnicas para implementarlos en el acople de 3 motores con los rodillos que realizan la recolección de los residuos en la cancha de césped sintético, este motor se puede evidenciar en la ilustración 5; a continuación, se relacionan las especificaciones técnicas:

- Torque máximo: 2 kg/cm
- Consumo de Corriente: 80-100 mA
- Caja reductora: 1:48
- Dimensiones: 6.5 x 2.3 x 1.8 cm
- Peso: 35 g
- Voltaje: 3V -12V
- RPM: 80 y 300

**Ilustración 5.** Motorreductor.



Fuente: El autor

**7.3.2. Motorreductor DC serie T10.** Se estableció el uso de este motor debido a sus especificaciones técnicas para implementarlos en el acople de las 2 ruedas convencionales las cuales realizan el desplazamiento por toda el área de la cancha de césped sintético, este motor se puede evidenciar en la ilustración 6.

- Motores DC: serie 380 (24VDC) o serie 555 (12VDC or 24VDC) • Par de salida: desde 0.28Nm hasta 1.9Nm dependiendo de la velocidad y tamaño de motor
- Velocidades disponibles: 80rpm, 140rpm o 160rpm

**Ilustración 6.** Motorreductor serie T10.



Fuente: El autor

## 7.4. RUEDAS.

**7.4.1. Ruedas Omnidireccionales.** Se estableció la implementación de las ruedas omnidireccionales en la parte delantera del prototipo robótico limpiador de césped sintético, logrando reducir costos ya que con la implementación de estas ruedas se logra un desplazamiento en todas direcciones, esto se debe a que este tipo de rueda tiene rodillos incorporados los cuales están orientados de manera perpendicular a la dirección normal del avance y a través de esta construcción, al aplicarle una fuerza lateral, los rodillos giran sobre sí mismos y permiten tener velocidad en la dirección del eje de giro, en la ilustración 7 se aprecia las ruedas omnidireccionales utilizadas.

**Ilustración 7.** Rueda Omnidireccional.



Fuente: El autor

**7.4.2. Ruedas convencionales.** El prototipo robótico limpiador de césped sintético tiene 2 ruedas convencionales en la parte trasera las cuales estarán acopladas cada una a un motorreductor DC serie T10 y de esta forma se logra tener el desplazamiento de la plataforma, a continuación, se relaciona la rueda convencional en la ilustración 8.

**Ilustración 8.** Redas convencionales.



Fuente: El autor

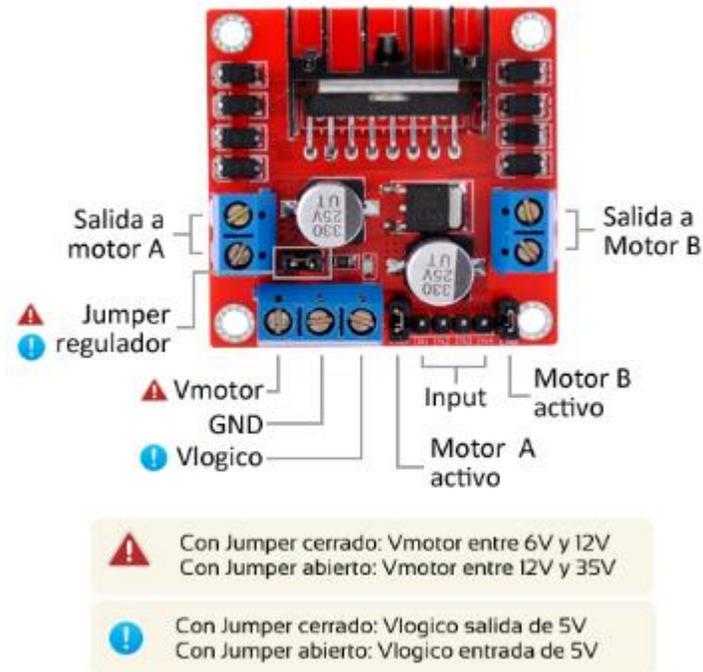
## **7.5. MODULO CONTROLADOR DE MOTORES DC.**

De acuerdo a las características relacionadas a continuación se seleccionó el driver L298N, el cual se puede apreciar en la ilustración 9.

Este módulo está basado en el chip L298N que permite controlar dos motores de corriente continua o un motor paso a paso bipolar de hasta 2 amperios, este módulo cuenta con dos componentes necesarios para funcionar sin necesidad de elementos adicionales, entre ellos diodos de protección y un regulador LM7805 que suministra 5V a la parte lógica del integrado L298N. Cuenta con jumpers de selección para habilitar cada una de las salidas del módulo (A y B). La salida A está conformada por

OUT1 y OUT2 y la salida B por OUT3 y OUT4. Los pines de habilitación son ENA y ENB respectivamente.<sup>21</sup>

**Ilustración 9.** Driver L298N.



Fuente: El autor

Para el prototipo robótico se determinó el uso de 3 de estos drivers, los cuales 2 están conectados a los motores que están acoplados a los rodillos y el restante está conectado a los motores que están acoplados con las ruedas convencionales.

---

<sup>21</sup> Electronilab. Tutorial: Uso de Driver L298N para motores DC y paso a paso con Arduino. [En línea] Disponible en: (Electronilab, s.f.)

## 8. INSTRUMENTACIÓN REQUERIDA

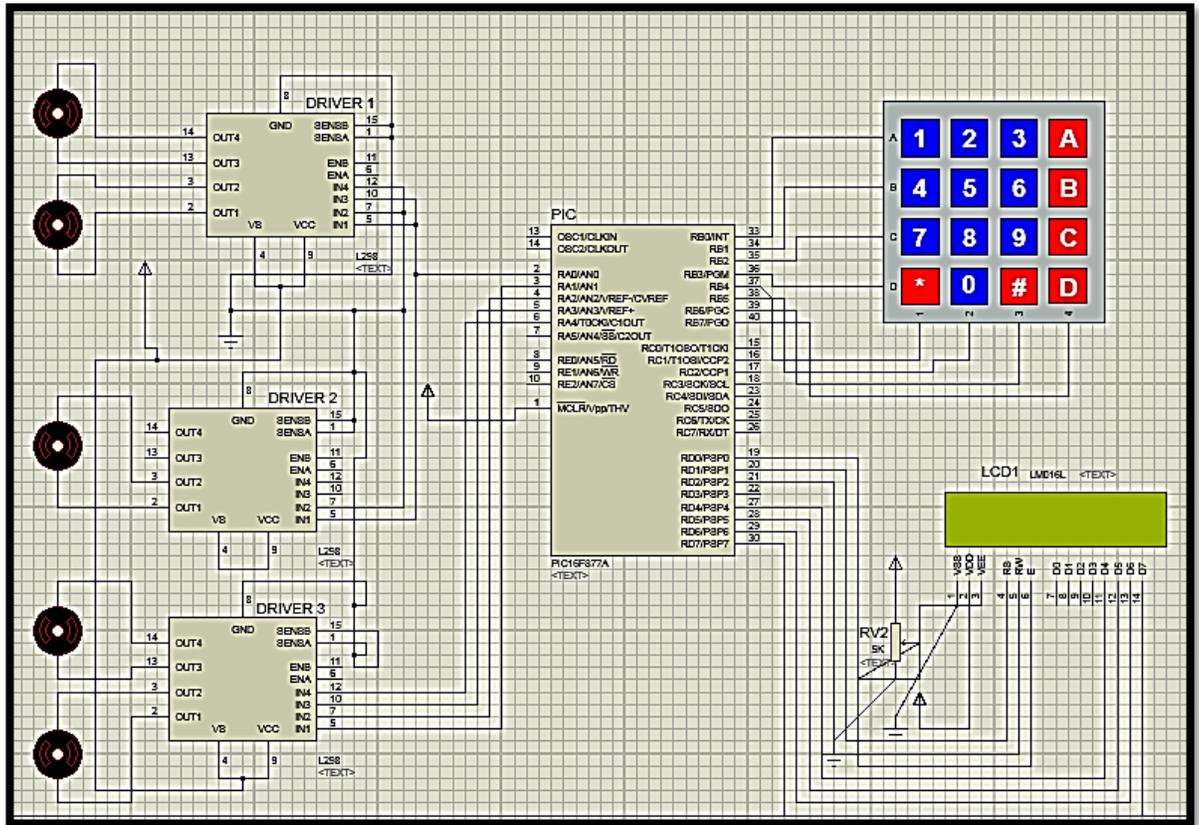
### 8.1. DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA PROGRAMACIÓN.



### 8.2. SIMULACIÓN EN PROTEUS.

Una vez desarrollado el algoritmo de programación el cual se encuentra en el Anexo A de este trabajo de grado y con la instrumentación seleccionada se establece la simulación del circuito en el programa Proteus 11 teniendo como resultado el siguiente diseño (ver ilustración 10):

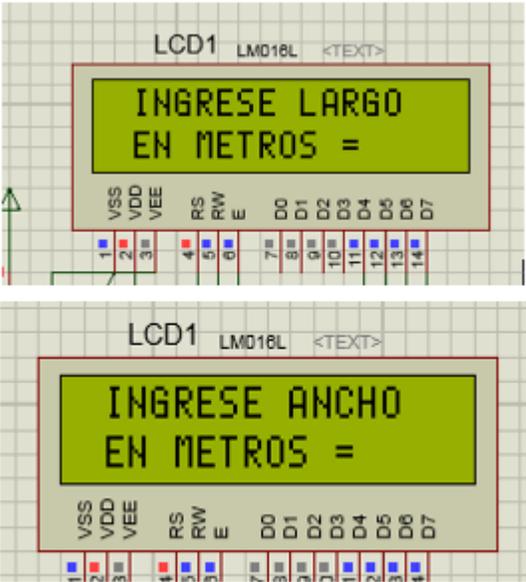
Ilustración 10. Simulación Proteus.



Fuente: El autor

**8.2.1. Ingreso datos usuario.** Inicialmente el programa solicita al usuario ingresar las medidas del largo y ancho en metros de la cancha de césped sintético en la cual el prototipo robótico realizará el proceso de limpieza, esto se puede evidenciar a continuación en la ilustración 11.

**Ilustración 11.** Ingreso datos usuario.



Fuente: El autor

## 9. IMPLEMENTACIÓN

En la ilustración 12, se puede apreciar el resultado final de la implementación, la cual se detalla en el desarrollo de este capítulo.

**Ilustración 12.** Prototipo robótico limpiador de césped sintético.



Fuente: El autor

## 9.1. IMPLEMENTACION DE LA ESTRUCTURA.

**9.1.1. Acople ruedas y motores.** Inicialmente se procedió a realizar el acople de las ruedas traseras a los motores los cuales darán el movimiento a la estructura, cada rueda se acopló por medio de un eje que se puede apreciar en la ilustración 4 y 5, cada motor se acopla a una rueda respectivamente por medio de tornillos fijando los elementos como se evidencia en la ilustración 13.

**Ilustración 13.** Eje acoplado al motor y a la rueda 1.



Fuente: El autor

En la ilustración 14, se evidencia el acople realizado del eje del motor a la rueda el cual se encuentra fijado por 2 tornillos de cada lado para asegurar un movimiento único en todo el sistema.

**Ilustración 14.** Eje acoplado al motor y a la rueda.



Fuente: El autor

**9.1.2. Acople ruedas omnidireccionales.** Se realizó el acople de las ruedas omnidireccionales a un mismo eje como se aprecia en la ilustración 15, por medio de unas arandelas soldadas al eje, este acople se instaló en la parte delantera del prototipo robótico.

**Ilustración 15.** Acople ruedas omnidireccionales.



Fuente: El autor

**9.1.3. Elaboración de chasis.** Se realizó la implementación del chasis el cual consta del compartimiento que recolectará la basura recogida integrado con los acoples de ruedas con motor y ruedas omnidireccionales manifestadas anteriormente, esto se puede evidenciar en la ilustración 16.

**Ilustración 16.** Elaboración chasis (acople ruedas).



Vista lateral



Vista inferior

Fuente: El autor

En la ilustración 17, se puede observar la instalación de los 2 acoples en la parte trasera de la estructura los cuales son ubicados de forma paralela con el fin de lograr tener mayor estabilidad en el prototipo robótico.

**Ilustración 17.** Elaboración chasis.



Fuente: El autor

Posteriormente se procedió con la implementación del acople de las ruedas omnidireccionales con el chasis, como se evidencia en la ilustración 18.

**Ilustración 18.** Elaboración chasis (ruedas omnidireccionales)



Fuente: El autor

**9.1.4. Implementación sistema recolector.** Esta implementación se realizó mediante un sistema de 3 rodillos con cerdas los cuales tienen como función juntar y almacenar la basura en el compartimiento trasero del prototipo, como se aprecia en las siguientes ilustraciones 19 y 20.

**Ilustración 19.** Implementación sistema recolector.



Vista superior



Vista lateral

Fuente: El autor

**Ilustración 20.** Implementación sistema recolector.



Vista frontal

Vista lateral

Fuente: El autor

**9.1.5. Cubierta plataforma.** Se realizó una cubierta para la plataforma robótica con el fin garantizar la seguridad del usuario y de mejorar la calidad estética del prototipo, a continuación, se puede apreciar en la ilustración 21.

**Ilustración 21.** Cubierta plataforma.



Fuente: El autor

## **9.2. ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN.**

Teniendo en cuenta la funcionalidad por la cual fue diseñado el prototipo robótico, se estableció un algoritmo de programación mediante el programa Pic C compiler, este se puede detallar en el anexo A, este programa consiste en que el usuario debe digitar los datos de largo y ancho de la cancha de césped sintético, con esta información el programa determina la cantidad de recorridos que debe realizar para recorrer toda el área de la cancha para realizar el proceso de recolección de residuos.

## 10. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante las pruebas realizadas se identificó que el prototipo robótico realiza el recorrido definido mediante el código de programación, con los parámetros previamente ingresados por el usuario.

Se evidencio que durante el recorrido el prototipo robótico logra realizar la recolección de residuos que se encuentran en la cancha de césped sintético y cabe resaltar que por el diseño e implementación no se logra recolectar residuos de un tamaño superior de 4 centímetros, ya que el acople realizado entre el eje y las redas omnidireccionales obstaculiza el paso de estos residuos.

En estas pruebas se logró apreciar que, al no tener un sistema más robusto para el acople de las llantas con los motores, durante el recorrido el prototipo presenta una desviación durante el recorrido.

## 11. CONCLUSIONES

Por medio de las tecnologías existentes se puede implementar la solución a cualquier problemática que sea planteada, encontrar la mejor solución para solucionar estos problemas se debe tener en cuenta distintos puntos de vista y a su vez distintos conocimientos para abarcar la problemática de forma correcta, al establecer una solución para la alternativa de limpieza de las canchas de césped sintético mediante el desarrollo de este proyecto, se logra un resultado positivo donde también se pueden realizar mejoras en distintos aspectos.

Para el proceso de limpieza por medio del prototipo robótico que se diseñó en este trabajo de grado, se logró concluir teniendo en cuenta los resultados obtenidos que se puede mejorar la recolección de residuos si el acople entre el eje y las ruedas omnidireccionales se realiza de forma independiente dejando despejado el campo y recoger los residuos adecuadamente.

Adicionalmente se logra concluir que la alternativa de solución realizada de acuerdo a los resultados obtenidos fue determinante el proceso de recolección con los elementos con los que se fabricó el prototipo robótico.

## **12. TRABAJOS FUTUROS**

Posterior a este trabajo de grado se puede continuar con la implementación de un diseño el cual logre mejorar el método de recolección de basura en canchas de césped sintético teniendo en cuenta los resultados obtenidos.

Otra sugerencia de trabajo a futuro es diseñar un compartimiento donde se almacena la basura en el prototipo, el cual contemple una forma de sacar esta basura y arrojarla a una bolsa lista para que el usuario la arroje a los desechos y no tenga que realizar este proceso manualmente.

También se puede realizar un diseño el cual abarque más área por cada recorrido y de esta manera optimizar los recursos utilizados y tiempo total del recorrido.

## BIBLIOGRAFÍA

- CALLE, M., & PÉREZ, M. (s.f.). *Diseño y construcción de un robot de limpieza para fachadas verticales*.  
Obtenido de <https://bit.ly/2AGoJmq>
- CARDONA RENDÓN, L., ORTIZ VALENCIA, P., & BOTERO VALENCIA, J. (s.f.). *Sistema de navegación para un robot limpiador de piscinas*. Obtenido de <https://bit.ly/2SJl0f8>
- DOS REIS, J., PACHECO, L., LEÓN, J., & LEZAMA, J. (s.f.). *Robot autónomo de recolección de latas en arena*. Obtenido de <https://bit.ly/2zlbq1A>
- Electronilab. (s.f.). *Tutorial: Uso de Driver L298N para motores DC y paso a paso con Arduino*.  
Obtenido de <https://bit.ly/2yZfhnN>
- GARCÍA BREIJO, E. (2009). *Compilador C CCS y simulador proteus para microcontroladores PIC*.  
Alfaomega.
- GOMEZ, F., CUESTA, F., & OLLERO, A. (s.f.). *Planificación de trayectorias en robots móviles basada en técnicas de control de sistemas no holónomos*. Obtenido de <https://bit.ly/1pxhRPJ>
- GONZALEZ, J., & OLLERO, A. (s.f.). *Estimación de la posición de un robot móvil*. Obtenido de <https://bit.ly/2Dh4sGD>
- GREENFIELDS. (s.f.). *Programas de mantenimiento de su sistema de césped sintético*. Obtenido de <https://bit.ly/2PBLdNV>
- IBAVEN, S., SOLORSANO, M., CORTÉS, E., HERNANDEZ, A., & PEREZ, J. (s.f.). *Robot limpiador de playas*. Obtenido de <https://bit.ly/2CUMDwi>
- mecafenix, I. (s.f.). *¿Que es un puente H?* Obtenido de <https://bit.ly/2qZP8WU>
- OLLERO BATURON, A. (2001). *Robótica manipuladores y robots móviles*.
- PORTAFOLIO, R. (2011). *Futbol 5, uno de los mejores negocios en el país*.
- PÚBLICAS, D. N. (s.f.). *Construcción y dotación de una cancha en grama sintética*. Obtenido de <https://bit.ly/2zjHRF7>
- SPORT, R. (2015). *La industria del deporte mundial genera 700.000 millones de dólares, según UIA*.  
Obtenido de <https://bit.ly/2DhEkvB>
- TEMPLOS MALDONADO, A. (s.f.). *La importancia de la robótica*. Obtenido de <https://bit.ly/2fUWsR0>
- Transmisiones, T. S. (s.f.). *¿Que es un motorreductor?* Obtenido de <https://tercesa.com/noticias/que-es-un-motorreductor/>.
- V&P, G. S. (s.f.). *El césped artificial en el futbol: Ventajas y desventajas*. Obtenido de <https://bit.ly/2RrtzJX>

## ANEXOS

### ANEXO A. ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN:

```
#include <16f877a.h>
#device adc=10
#FUSES HS,NOPROTECT,NOWDT,NOBROWNOUT,NOPUT,NOLVP
#use delay (Clock=20M)
#DEFINE USE_PORTB_KBD
#define LCD_ENABLE_PIN PIN_D0
#define LCD_RS_PIN PIN_D1
#define LCD_RW_PIN PIN_D2
#define LCD_DATA4 PIN_D4
#define LCD_DATA5 PIN_D5
#define LCD_DATA6 PIN_D6
#define LCD_DATA7 PIN_D7
#include <lcd.c>
#include <KBD4x4b.C>
#use standard_io(b)
#define KEYHIT_DELAY 200

INT DIR,J,LARGO,ANCHO,TRAYECTO,I,L,W;
//Funcion encargada de esperar a que se presione una tecla
char tecla(void)
{
char c;
do{ //espera hasta que se presione una tecla
c=kbd_getc(); //Captura valor del teclado
}
while(c=='\0');
return(c);
}

VOID MAIN()
{
CHAR K;
port_b_pullups (0xFF); //Utiliza las resistencias PULL UP internas del puerto B
SET_TRIS_B(0);
LCD_INIT(); //Inicializar el driver del lcd
KBD_INIT(); //Inicializar el driver del teclado
output_low(pin_a0);
output_low(pin_a5);
output_low(pin_e0);
```

```

LCD_PUTC("\f"); //Limpia el LCD
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc," BIENVENIDO");
delay_ms(1500);

for(;;)
{

WHILE(1)
{
DIR=13;
J=0;
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc," INGRESE LARGO");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc," EN METROS = ");
while(DIR<14){
if(k!="\0"){
LCD_GOTOXY(DIR,2);
if((k!='B')&&(k!='C')&&(k!='D')&&(k!='*')&&(k!='#')&&(k!='A')&&(k!='0')){
lcd_putc(k);
LARGO=k;
L=(LARGO-48);
k="\0";
DIR++;
}
else{
delay_ms(100);
LCD_PUTC("\f");
printf(lcd_putc," INGRESE LARGO");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc," EN METROS = ");
DIR=13;
}
}
k=tecla(); //Lee el valor del teclado y espera hasta que alguna tecla se pulse
if (k=='A'){
delay_ms(100);
LCD_PUTC("\f");
DIR=13;
J=0;
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc," INGRESE ANCHO");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc," EN METROS = ");
while(DIR<14){

```

```

if(k!='\0'){
LCD_GOTOXY(DIR,2);
  if((k!='B')&&(k!='C')&&(k!='D')&&(k!='*')&&(k!='#')&&(k!='A')&&(k!='0')){
    lcd_putc(k);
    ANCHO=k;
    W=(ANCHO-48);
    k='\0';
    DIR++;
  }
else{
delay_ms(100);
LCD_PUTC("\f");
printf(lcd_putc," INGRESE ANCHO");
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc," EN METROS = ");
DIR=13;
}
}
k=tecla(); //Lee el valor del teclado y espera hasta que alguna tecla se pulse
if (k=='A'){
DELAY_MS(500);
LCD_PUTC("\f");
printf(lcd_putc," LARGO: %u", L);
lcd_gotoxy(1,2);
printf(lcd_putc," ANCHO: %u", W);
output_high(pin_a0);
output_high(pin_a5);
output_high(pin_e0);
output_high(pin_a1);
output_low(pin_a2);
output_high(pin_a3);
output_low(pin_a4);
  for(l=1;l<=L;l++)
  {
    delay_ms(1000);
  }
output_low(pin_a3);
DELAY_MS(2000);
output_high(pin_a3);
  for(l=1;l<=L;l++)
  {
    delay_ms(1000);
  }
TRAYECTO=1;
while(TRAYECTO<w){
output_low(pin_a1);

```

