

**DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO ROBOTICO ENCARGADO DE LA  
LIMPIEZA DE PANELES SOLARES PARA LA REALIZACION DE  
MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS**

**ALVAREZ HERNANDEZ MELISSA PAOLA  
ALVAREZ ROYERO MATEO DAVID  
ARREDONDO VALERA KARIN GIORGINA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BARRANQUILLA - COLOMBIA**

**2021**

**DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO ROBOTICO ENCARGADO DE LA  
LIMPIEZA DE PANELES SOLARES PARA LA REALIZACION DE  
MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS**

**ALVAREZ HERNANDEZ MELISSA PAOLA  
ALVAREZ ROYERO MATEO DAVID  
ARREDONDO VALERA KARIN GIORGINA**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de  
Ingeniero Mecatrónico**

**ASESORES DISCIPLINARES:  
ING. Carlos Díaz Sáenz, MSc.  
ING. Kelvin Beleño Sáenz, MSc.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BARRANQUILLA - COLOMBIA**

**2021**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado 1

---

Firma del jurado 2

## DEDICATORIA

*Deseamos dedicar este proyecto de grado a Dios por permitirnos estar vivos y cumplir una de nuestras metas, a nuestros padres por ser nuestra fortaleza y apoyo, fundamentales para no desfallecer nunca.*

*A nuestros profesores por enseñarnos con amor y paciencia.*

*A todos gracias por ser parte de este proceso y ayudarnos a culminar esta etapa importante de nuestra vida.*

*Karin, Melissa & Mateo.*

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE ECUACIONES.....	10
GLOSARIO .....	11
RESUMEN .....	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN.....	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
1.1. ANTECEDENTES .....	19
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	23
1.2. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE.....	23
2. OBJETIVOS .....	25
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	25
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
3. MARCO DE REFERENCIA.....	26
3.1. ESTADO DEL ARTE .....	26
3.2. MARCO TEÓRICO.....	30
3.2.1 Fuentes no convencionales de energía.....	30
3.2.2 Sistema fotovoltaico (SFV) .....	30
3.2.3 Características de los paneles .....	32
3.2.4 Como se implementa la limpieza automatizada .....	32
3.2.5 Sistema de tracción oruga.....	33
3.2.6 Caudal.....	33
3.2.7 Arduino.....	34
4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO .....	37
4.1. METODLOGÍA .....	37
4.2. TIPO DE ESTUDIO.....	37
4.3. CRONOGRAMA – PLAN DE TRABAJO.....	37
5. PRESUPUESTO .....	41
5.1. PRESUPUESTO GENERAL .....	41
5.2. PERSONAL CIENTÍFICO Y DE APOYO .....	42
5.3. CONSULTORIA ESPECIALIZADA.....	43
5.4. MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS .....	43

6.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	46
6.1.	DISEÑO DEL PROTOTIPO .....	46
6.2.	DISEÑO DISPOSITIVO FINAL .....	47
6.2.1.	SISTEMA DE TRACCIÓN .....	50
6.2.2.	SISTEMA DE LIMPIEZA Y CONTROL.....	51
6.2.3.	SISTEMA DE CARGA Y POTENCIA.....	53
6.3.	MATERIALES .....	56
6.3.1.	Raspberry .....	57
6.3.2.	Pi Camera .....	57
6.3.3.	Arduino.....	58
6.3.4.	Modulo Bluetooth HC-05 .....	58
6.3.5.	Rodillo de limpieza .....	59
6.3.6.	Motores.....	59
6.3.7.	Sensores .....	60
6.3.8.	Electroválvula .....	60
6.3.9.	Batería .....	61
6.3.10.	Drivers .....	61
6.3.11.	PCB .....	62
6.3.12.	Panel solar de recarga .....	62
6.4.	RECOLECCIÓN DE DATOS .....	63
6.4.1.	MUESTRA POBLACIONAL.....	63
6.5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	63
6.5.1.	ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL PROTOTIPO .....	64
6.5.2.	ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL DISPOSITIVO FINAL .....	66
6.6.	MANUAL DE USUARIO.....	69
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	80
	ANEXOS .....	86

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Antes y después de la limpieza en los paneles solares.....	19
Figura 2. HyCleaner en acción con operarios sosteniendo la manguera de suministro de agua.....	28
Figura 3. Sistema fotovoltaico .....	31
Figura 4. Arduino UNO .....	34
Figura 5. Motor eléctrico.....	36
Figura 6. Vista lateral del prototipo (propia autoría).....	46
Figura 7.vista superior del prototipo (propia autoría).....	46
Figura 8. Prototipo final (propia autoría). .....	47
Figura 9. Vista trasera del dispositivo final en SolidWorks (propia autoría).....	47
Figura 10. Dispositivo final Solidworks, vista lateral .....	48
Figura 11. Dispositivo final vista lateral (propia autoría) .....	48
Figura 12. Dispositivo final vista trasera (propia autoría).....	49
Figura 13. Dispositivo final, vista superior (propia autoría).....	49
Figura 14. Prototipo sistema oruga (propia autoría). .....	50
Figura 15. Prototipo intermedio sistema oruga (propia autoría). .....	50
Figura 16. Diseño y ensamble de los motores en SolidWorks.....	53
Figura 17. Tren de engranes .....	54
Figura 18. Estación de carga.....	55
Figura 19. Raspberry 2B (propia autoría) .....	57
Figura 20.PiCamera (propia autoría).....	57
Figura 21. Arduino UNO (propia autoría).....	58
Figura 22. Modulo Bluetooth (propia autoría) .....	58
Figura 23. Rodillo de limpieza (propia autoría).....	59
Figura 24. Motores (Propia autoría) .....	59
Figura 25. Sensor HC-SR05 (propia autoría).....	60
Figura 26. Electroválvula.....	60
Figura 27. Batería 30A-12V (propia autoría).....	61
Figura 28. Driver de Motor 30a Monster Vnh2sp30 (propia autoría).....	61
Figura 29. PCB (propia autoría) .....	62
Figura 30. Panel solar de recarga (propia autoría) .....	62
Figura 31. Prueba del prototipo en las instalaciones.....	65
Figura 32. a) Panel sucio, antes de la limpieza, b) panel limpio, después de la limpieza con el dispositivo .....	67
Figura 33. Mid clamp encargado de la unión de los paneles (propia autoría).....	68
Figura 34. Prueba de esfuerzo tapa superior .....	86
Figura 35. Prueba de esfuerzo lateral.....	87
Figura 36. Prueba de esfuerzo.....	87
Figura 37. Tapa superior .....	88
Figura 38. Carcasa rodillo .....	88
Figura 39. Plano acotado dispositivo final vista isométrica trasera.....	89
Figura 40. Plano acotado dispositivo final vista inferior .....	89

Figura 41. Plano acotado dispositivo final vista lateral izquierda ..... 90  
Figura 42. Plano acotado dispositivo final, centrado en uniones de la carcasa rodillo ..... 90

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Presupuesto general. ....	41
Tabla 2. Costo personal científico. ....	42
Tabla 3. Costo personal de apoyo.....	42
Tabla 4. Costo consultoría especializada.....	43
Tabla 5. Costos materiales e insumos.....	44
Tabla 6. Costo trabajo de campo.....	45
Tabla 7. Costo equipos usados.....	45
Tabla 8. Dimensiones del sistema oruga. ....	51
Tabla 9. Dimensiones tapa superior.....	54
Tabla 10. Tabla comparativa entre Arduino y Raspberry (propia autoría) .....	56

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Calculo velocidad angular .....	55
Ecuación 2. Calculo velocidad angular aumentada .....	55

## GLOSARIO

**Automatización:** La automatización es la facultad que poseen algunos procesos físicos para desarrollar las actividades de operación y funcionamiento en forma autónoma, es decir, por cuenta propia. [1]

**Energía Fotovoltaica:** es el proceso de convertir directamente la energía proveniente del Sol en electricidad mediante el uso de las celdas solares. La energía fotovoltaica, comparada con el resto de las fuentes renovables de energía, tiene ventajas como la conversión instantánea, puede generar desde valores de potencia menores del watt hasta decenas de MW, permite generar empleos y un desarrollo industrial sustentable es altamente confiable al ser el Sol una fuente de energía limpia, inagotable y de acceso libre. [2]

**Ensuciamiento:** Acción y efecto de ensuciar una superficie. En el caso de los paneles solares fotovoltaicos (PV), corresponde a la capa de material particulado y residuos que se depositan sobre la superficie de las celdas solares y reducen la cantidad de radiación que puede ser transformada en energía eléctrica.

**Celdas fotovoltaicas:** Son sistemas fotovoltaicos que convierten directamente parte de la luz solar en electricidad. Algunos materiales presentan una propiedad conocida como efecto fotoeléctrico en su forma más simple, estos materiales se componen de un ánodo y un cátodo recubierto de un material fotosensible.

La luz que incide sobre el cátodo libera electrones que son atraídos hacia el ánodo, de carga positiva, originando un flujo de corriente proporcional a la intensidad de la radiación, que hace que absorban fotones de luz y emitan electrones. [3]

**Inclinación:** Es el ángulo que forma un panel solar con respecto a la horizontal. La inclinación puede tomar valores entre 0° y 180°, valores de inclinación mayores a 90° indican que el panel está orientado hacia la tierra

**Mantenimiento preventivo:** Revisión de los aparatos para su buen funcionamiento, y evita los fallos del equipo previniendo las incidencias antes de que ocurran. [4]

**Red neuronal:** es un modelo matemático inspirado en el comportamiento biológico de las neuronas y en la estructura del cerebro, utilizada para resolver un amplio rango de problemas. Debido a su flexibilidad, una única red neuronal es capaz de realizar diversas tareas. [5]

## RESUMEN

El presente documento obedece al cumplimiento de los requisitos para optar al título de ingeniero mecatrónico, adjudicado por la Universidad Autónoma del Caribe, este tiene como objetivo el desarrollo de un dispositivo robótico encargado de la limpieza de paneles solares para la realización de mantenimientos preventivos.

En consecuencia del efecto soiling los paneles solares reducen hasta en un 40% su efectividad, no solo el polvo es el causante de esto, también diferentes partículas de sucio que se encuentran en el ambiente de trabajo de estos.

Se diseñó y monto un dispositivo capaz de retirar la suciedad encontrada en las placas solares, evitando que los operarios tengan un mayor contacto con estas.

El dispositivo posee una red neuronal capaz de determinar la limpieza requerida, así como un sistema de tracción que permite el movimiento a través de las celdas, también se puede determinar como un dispositivo nuevo y casi sin estudios en el país.

**Palabras claves:** Dispositivo automático, limpieza, placas solares fotovoltaicas, red neuronal, soiling

## **ABSTRACT**

This document complies with the requirements to qualify for the title of mechatronic engineer, awarded by the Autonomous University of the Caribbean, which aims to develop a robotic device in charge of cleaning solar panels to carry out preventive maintenance.

Thanks to the soiling effect, solar panels reduce their effectiveness by up to 40%, not only dust is the cause of this, but also different dirt particles found in their work environment.

It is about designing and assembling a device capable of removing dirt found on solar panels, preventing operators from having greater contact with them.

The device has a neural network capable of determining the required cleaning, as well as a traction system that allows movement through the cells, it can also be determined as a new device with almost no studies in the country.

**Keyword:** Automatic device, cleaning, photovoltaic solar panels, neural network, soiling

## INTRODUCCIÓN

Actualmente en Colombia el uso de paneles solares para la incursión en energías limpias ha crecido, y se prevé que este comportamiento siga en aumento por los beneficios que representa para las personas naturales o empresas que lo adquieren, estos poseen una vida útil de entre 25 a 30 años con un adecuado mantenimiento.

El desempeño de estos depende de factores ambientales como la radiación solar, velocidad y dirección del viento, así como dependiendo su ubicación se ven expuestos a condiciones medioambientales con las cuales su superficie puede verse afectada al recubrirse de polvo, partículas de contaminación, hojas, arena y polución, lo que causa que el rendimiento baje en casi un 10%, para evitar esto, se deben limpiar los paneles de manera constante si se desea gozar de su máximo rendimiento.

Al centrar la investigación en Colombia, específicamente en la región caribe se detecta el problema de las fuertes brisas, añadiéndole la característica de zona seca, el levantamiento de polvo diario, el cual se adhiere a los paneles de manera constante, esto se resume a un concepto llamado efecto soiling, el cual se presenta y crece en zonas donde las lluvias son poco frecuentes, es esto uno de los principales factores que fortalece la investigación, diseño y construcción de este dispositivo.

El presente proyecto de grado denominado: “**DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO ROBOTICO ENCARGADO DE LA LIMPIEZA DE PANELES SOLARES PARA LA REALIZACION DE MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS**”, se centra en el mantenimiento de paneles solares, el cual se realiza por medio de limpiezas, con el fin, de erradicar el efecto soiling de las placas solares, al realizar esta acción con frecuencia se mantendría la eficiencia del funcionamiento.

La investigación de esta problemática se realizó por el interés de conocer de qué manera se podría aumentar la eficiencia de los paneles, y aumentar su vida útil en

la costa caribe, una zona en la que apenas se va a empezar a expandir de gran manera el tipo de energía que trae consigo estas herramientas.

En el ámbito académico, el interés versó de conocer las capacidades de cada uno a la hora de la construcción de un dispositivo mecatrónico, que fuera capaz de integrar los sistemas con los que se cuentan, trabajar con múltiples tarjetas programables, añadir visión artificial y trabajar con redes neuronales para la toma de decisiones.

La metodología utilizada para cumplir a cabalidad con lo que se deseaba, fue principalmente la comparación, con la cual se realizó un estudio de los dispositivos similares ya existentes alrededor del mundo. Las intervenciones de los investigadores fueron experimentales, ya que se le realizaron pruebas a cada parte del prototipo, como los sensores, actuadores, tarjetas programables, motores, etc., con el fin de entender y validar su funcionamiento.

Desde la década de 1990 se han presentado estudios, en los cuales se enuncia al efecto soiling como uno de los principales factores de descenso en el desempeño de los paneles solares fotovoltaico, siendo este factor uno de los muchos que se puede evitar con un correcto mantenimiento.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia ha empezado a incursionar cada vez más en el campo de la energía solar, este ha registrado un crecimiento desde el año 2017 y se estima que para el 2030 cerca del 10% del consumo energético del país va a provenir de proyectos fotovoltaicos o paneles solares. Pasando a la ciudad de Barranquilla la empresa Tecnoglass ha sido el pionero en incursionar en este tipo de energía instalando primeramente 3000 paneles solares, actualmente cuenta con 8400 que generan 3MWt de luz solar la cual se utiliza en el consumo de la compañía [6].

El polvo es uno de los agentes contaminantes más comunes en el planeta tierra, puede estar compuesto de tierra seca, o de cualquier otra sustancia que se levanta con facilidad con ayuda del viento. La presencia de suciedad en los paneles fotovoltaicos es la tercera causa de mayor impacto en el rendimiento de centrales fotovoltaicas, y es un problema que causa una reducción en la producción de este tipo de centrales, llegando a alcanzarse valores superiores al 30 % de pérdidas [7].

La efectividad de un panel solar reside en el correcto mantenimiento y limpieza que a estos se le hagan. En Colombia no existe un dispositivo capaz de realizar estas tareas, lo que conlleva a las empresas a contratar personal para que realicen el lavado y limpieza de los paneles, el cual resulta ser peligroso puesto que deben realizar el mantenimiento o el lavado directamente a la altura donde se encuentran estos ubicados.

Estudios de acumulación de polvo realizados en plantas fotovoltaicas por siete meses en Chile arrojan que; la tecnología de material policristalino bajó su rendimiento a un 58% y los de capa fina en un 85%. Posterior al procedimiento de limpieza, el rendimiento de los módulos subió a un 83% en policristalino y 113% en capa fina. [8].

Michael Bergin de la universidad de Duke, realizó un estudio donde se enuncia que la composición de la capa de suciedad de los paneles se compone de un 92% de polvo, mientras que el resto eran iones y carbono contaminantes de la actividad

humana, al analizarlos estos revelaron que en las zonas más áridas del mundo, como India o China, la contaminación reduce la producción de la energía solar entre un 17 y un 25% [9].

La empresa DDSOLAR en Dubái realizó un estudio de enero a octubre del 2016 indicando que, el ensuciamiento es el mayor problema para las plantas FV en la región Middle East and North África. Durante los meses de marzo a abril, hubo eventos de lluvia lo cual mantuvieron bajo el 10% de pérdida de soiling. Se observó que, desde los meses de junio a agosto del 2016, la pérdida por ensuciamiento fue de 2% a 56% [10].

Lamentablemente no todo ha sido lo que se espera, Pravar Josh el director de la promotora solar india Insolergy, anuncia que ha visto casos extremos en los que las granjas solares han sufrido una caída del 50 % en el rendimiento, debido a la falta de limpieza de los módulos, a menudo durante varios meses [11].

Normalmente un panel solar sucio, con restos de polvo, salinidad, entre otros, tiende a reducir su rendimiento entre 10% y 15%, esto conlleva a pérdidas significativas a lo largo de un año, si se multiplica por el número de paneles solares instalados y se acumulan la cantidad de kW que dejan de suministrar. En época de invierno está pérdida es aún más notable, por lo que la radiación solar es menor.

El no intervenir o darle solución a dicho problema conlleva a una serie de consecuencias, puesto que hay grandes empresas en Colombia que han hecho exuberantes inversiones en proyectos fotovoltaicos o paneles solares, y estas se verían afectadas de manera significativa, ya que el fin de estos proyectos es disminuir el consumo energético que poseen las empresas.

Así mismo el tiempo de limpieza aplicado en el país y en la región tarda mucho tiempo en comparación a la limpieza en Japón y Argentina, esto deriva del problema de recursos, más el personal al cual se les debe realizar un pago para una tarea extremadamente extensa, se encuentran también los errores humanos, donde por

desconocimiento de la fragilidad de los paneles, estos pueden fisurarlos, rasgarlos o rayarlos teniendo como consecuencia una mayor pérdida de eficiencia.

## 1.1. ANTECEDENTES

Los antecedentes aquí planteados conectan con el tema de investigación y aseguran el flujo lógico de las ideas, estos explican la problemática abarcada en un contexto global, municipal y local, los dispositivos existentes al rededor del mundo que realizan tareas parecidas y la ventaja que presentan las centrales que los poseen.

En primer lugar, se consultó un estudio del efecto soiling [12] como tesis de pregrado con el fin de obtener el título de ingeniero civil industrial. La investigación se centra en el efecto que tiene la suciedad en el rendimiento de los paneles solares fotovoltaicos, siendo este un punto importante para el mantenimiento de los módulos solares, incluye una revisión bibliográfica de diferentes partes del mundo el cual dará pautas principales para el estudio de un sitio fotovoltaico residencial.

Este muestra por medio de una curva I-V el análisis del soiling con diferentes parámetros, el estudio en Chile se realizó durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre, enuncia estudios de rendimiento de paneles solares con y sin soiling, uno de estos, situado en Brasil durante los años 1993-97 arrojando esta la siguiente curva I-V.

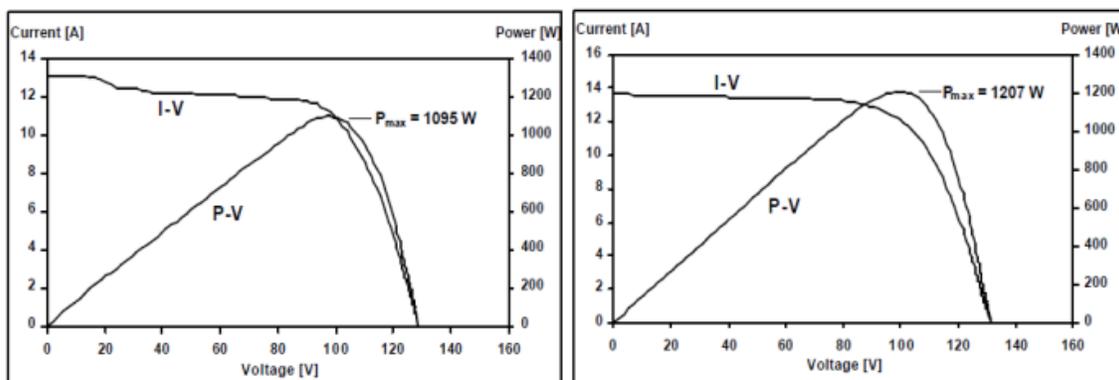


Figura 1. Antes y después de la limpieza en los paneles solares.

Obtenida de: Estudio del efecto soiling en el rendimiento de paneles solares fotovoltaicos en una zona residencial.

Este enuncia como resultado de un FV sucio la pérdida de reducción de corriente y la pérdida de desequilibrio, además de una reducción de la potencia MPP, gracias al sombreado por la contaminación, esta varía según la ubicación de los módulos, su Angulo de incidencia y la estación en la que se encuentren.

Las semejanzas encontradas en todos los casos estudiados comprenden que en épocas de verano el soiling es mayor, ya que estos meses favorecen la acumulación de partículas en la superficie gracias a los vientos que traen consigo, la disminución de corriente de cortocircuito es atribuida a la reducción de la transmitancia, esta disminuye proporcional a la cantidad de polvo acumulado, es decir, mientras más g/m<sup>2</sup> hallan, menos corriente de cortocircuito habrá y esto degradará la eficiencia.

Todo esto varía según el lugar en donde se encuentre ubicada la instalación fotovoltaica por lo que no se puede generalizar un estudio para varios lugares, factores como el tráfico, la emisión de gases contaminante, excremento de pájaro y vientos fuertes aportan más cantidad de soiling.

Estos resultados ayudan a la comprensión del problema tratado, haciendo visible la particularidad de cada uno de los lugares donde se planea implementar el dispositivo, así mismo mostrándo la rentabilidad y el beneficio que se tendría al realizar la limpieza de las celdas fotovoltaicas, permitiendo pensar en el futuro comportamiento del soiling cuando sea masivo el uso del automóvil eléctrico, lleguen las largas olas de calor y sea más rentable utilizar panes solares, y así mismo instalar los dispositivos encargados de su limpieza.

En el año 2018 [9] en el Department of Electrical Engineering, Institute of Infrastructure, Technology, se presentó una revisión detallada de los métodos de limpieza y prevención de suciedad para contribuir al aumento de energía de los paneles solares.

Se pasó desde la limpieza automática por lluvia, la cual no es muy confiable y no evita la formación de lodo, la limpieza manual que posee riesgo de abrasión y es

costosa, la limpieza mecanizada la cual es útil para utilizar con agua, la instalación de pantallas electrodinámicas la cual es altamente eficiente para condiciones secas, pero no es eficaz para partículas de pequeño tamaño, luego de analizar todas las opciones se tomó la decisión de crear un dispositivo capaz de limpiar los paneles solares de manera óptima, rápida, segura y sin agua, ya que en la india se gasta alrededor de 7000 a 20000 L por MW lavado si se hace semanalmente.

Es por esto que se realizó la combinación de varios mecanismos para proporcionar un sistema de limpieza sostenible con un costo mínimo de infraestructura y mantenimiento con cepillos acumuladores de polvo que realizan la limpieza de manera lateral e ininterrumpida, este sistema es efectivo para locaciones secas y paneles inclinados, este mostro un aumento significativo en el rendimiento energético cuando se realizó la limpieza de los paneles, cercano al 9,05% y el costo de mantenimiento es insignificante en comparación con los múltiples beneficios que traerá.

La revisión de este articulo muestra la importancia de las condiciones de ubicación del panel, así como la comparación de utilizar agua o no con respecto a la cantidad de energía generada, así mismo demostró que se puede realizar un dispositivo de bajo costo, sostenible y automáticamente funcional.

En Arabia Saudita [13], se estudió la implicación de políticas energéticas y su impacto en la economía gracias a la intensificación de los efectos del cambio climático. Se cree que la reducción del CO<sub>2</sub> a través de la utilización de energías limpias es una póliza de seguro contra los impactos del cambio climático, esta, atrasada gracias a los altos costos de su producción, sin embargo, en el 2017 esta alcanzo la paridad de precios con las fuentes convencionales, la utilización de paneles solares como productores de energía conlleva a su limpieza y mantenimiento.

Es por esto que Parrot et. al estudian la eficiencia de un cepillo de espuma de caucho de silicona para la limpieza en seco de los paneles, dando como resultado

beneficios de mitigación de polvo, ahorro monetario, efectividad de una solución a bajo costo y la apertura de posibles temas de investigación.

Parrot et al, dan una apertura al material del cepillo que tiene contacto directo con el panel con el fin de evitar ralladuras, sin utilizar aditivos como agua o jabones especiales y contribuyendo con el ahorro monetario.

En el volumen 29 de la revista científica robótica avanzada [14] se presentó un análisis descriptivo del problema del polvo y los desarrollos recientes realizados en el sistema de limpieza automatizado, con el fin de identificar lagunas de investigación en estos sistemas, pasa por la revisión de los robots HECTOR, Gekko, Greenbotics y Heliotex estudiando sus características, diseño y funcionamiento, discutiendo que las soluciones enunciadas necesitaban agua y no son rentables con respecto al ahorro monetario en lugares áridos.

Por lo cual sería necesario técnicas electrostáticas para su limpieza, se concluye que no existe una solución universal para la limpieza del polvo ya que su funcionamiento e idoneidad dependen de varios factores, así mismo recomendaciones para implementar en las pequeñas empresas, limpiezas electromecánicas, mientras que para empresas grandes se recomienda el sistema híbrido de revestimiento más electromecánico.

Barranquilla al ser una ciudad costera con influencia del río Magdalena y el mar Caribe requiere una solución que utilice agua al tener la presencia de brisas y partículas de polvo, el artículo de la revista robótica avanzada permite reiterar la necesidad de un estudio para dar con la solución más rentable dependiendo el lugar de pruebas.

En [15], se enuncian las condiciones que reducen la eficiencia de la energía recolectada por medio de un panel solar, como lo son el sombreado de los paneles, el efecto de sombra y la acumulación de polvo, se tomó como estudio los módulos solares instalados al aire libre de Dhahran en Arabia Saudita, arrojando como resultado una disminución hasta del 50% si no se limpian los módulos, es por esto

que se diseña un sistema de limpieza de paneles rentable, mediante la placa Arduino, permitiendo el movimiento del dispositivo en horizontal y en vertical, pudiendo pasar de un panel a otro sin inconveniente y el cepillo de limpieza corriendo en el eje vertical.

Este dispositivo reduce el efecto de la formación de polvo en la potencia de salida de los paneles fotovoltaicos, se realizarán más pruebas para garantizar la fiabilidad y a futuro se espera reducir el tiempo de limpieza cambiando el cepillo y la inclusión de un circuito de detección de luz al sistema para la detección diurna y nocturna.

### **1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Para determinar la problemática real centrada en el lugar específico de estudio Barranquilla/Atlántico, se deben analizar los factores ambientales que causan dicha problemática, como lo es que Barranquilla es una ciudad que cuenta con la fluencia del río Magdalena y cercanía al mar, lo que conlleva a corrientes de brisas que se producen en el río las cuales transportan arena, salinidad y otros factores externos, viéndose así afectado el rendimiento en el funcionamiento de los paneles solares, consecuente a esto, se generó la siguiente pregunta, ¿De qué manera evitar el bajo rendimiento de los paneles solares en Colombia debido al efecto soiling?

### **1.2. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE**

A lo largo del tiempo se han ido observando los cambios que ha tenido la humanidad, todo esto gracias a los avances tecnológicos que cada vez hacen la vida y estancia humana más fácil, la energía renovable no se ha quedado atrás, como se denota en el país, cada vez se está incursionando más con estos nuevos métodos gracias al ahorro económico que este conlleva.

La importancia de este proyecto, radica en los beneficios que acarrea para las empresas y personas naturales a garantizar la vida útil de los paneles solares, debido al mantenimiento preventivo que se les realiza sin ningún tipo de daño en el proceso, brindándoles así el aprovechamiento del cien por ciento.

Este proyecto tiene como objetivo, impactar significativamente en las facturas de electricidad gracias al aprovechamiento de la energía utilizada por un panel solar limpio, así mismo abrir el campo para estudios y avances sobre limpieza automatizada en cualquier ámbito, con respecto al alcance ambiental se espera que al utilizar mayor corriente de los paneles solares disminuyan los gases de efecto invernadero, ya que se estima que solamente basta con que una familia utilice correctamente los paneles solares para evitar hasta 20.000 toneladas de gases.

En consecuencia a la problemática planteada se decidió realizar el diseño, montaje e implementación de un dispositivo mecatrónico encargado de la limpieza de paneles solares fotovoltaicos, con el fin de realizar mantenimientos preventivos y cuidar la integridad de los paneles solares, evitando así un desgaste prematuro, esto con ayuda de visión artificial y recarga.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un dispositivo mecatrónico utilizando visión artificial para la realización de limpieza de paneles solares fotovoltaicos que permita el mejoramiento del rendimiento energético y permita el mantenimiento preventivo

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los tipos de factores que afectan el rendimiento de los paneles solares para el establecimiento de requerimientos.
- Diseñar un prototipo capaz de adaptarse a las necesidades encontradas en la zona de ubicación de los paneles que permita la integración de los sistemas.
- Construir un software para la separación y análisis de las partículas encontradas en los paneles solares para la decisión de limpieza.
- Implementar las técnicas de visión artificial y carga automática en el prototipo para automatizarlo.
- Evaluar el correcto funcionamiento del dispositivo mecatrónico con base en los requerimientos establecidos.

### 3. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1. ESTADO DEL ARTE

Para la decisión, elaboración y montaje de este proyecto se investigó en fuentes proporcionadas por la Universidad Autónoma del caribe, así como en plataformas educativas tales como ResearchGate y revistas científicas, el objetivo principal de la investigación fue la tecnología utilizada alrededor del mundo para limpieza de paneles solares, como afecta el entorno en el nivel de suciedad y el nivel de inmersión que tiene Colombia en este tipo de energía, así mismo las maneras más comunes de limpieza para celdas fotovoltaicas, se llegó a un total de 75 investigaciones, a continuación se presentan las más relevantes.

- **Diseño de equipo automatizado para limpieza de paneles solares fotovoltaicos:** En junio de 2018 fue presentado en la Facultad de ingeniería de la Universidad pública de Navarra ETS de ingeniería industrial, informática y de telecomunicación [16] el trabajo de grado como requisito para optar al título de ingeniero en diseño mecánico.

El proyecto se centra en el diseño de un dispositivo enfocado en la limpieza de paneles solares con especificaciones inexistentes en el mercado, centrado primeramente en el estudio de los factores que afectan el rendimiento de los paneles solares fotovoltaicos, basándose en investigaciones empíricas ligadas entre sí a partir del año 1940, ilustrando progresivamente el efecto que tiene cada uno de los factores, tomando como variables; la ubicación, la temperatura, características del lugar y del vidrio, esto permitiendo el manejo de los requisitos para el diseño de la máquina, se realizó un estudio de soluciones alternativas para analizar las debilidades, amenazas fortalezas y oportunidades del dispositivo, estudiando los métodos de tracción, movimiento, adherencia y limpieza, obteniendo como requisitos las velocidades mínimas y máximas, el peso del robot, la confiabilidad, seguridad y la usabilidad, el análisis de los resultado brinda un diseño con el

sistema de tracción oruga, haciendo referencia a aspectos del robot Scoba 450 en el ámbito de la limpieza dividiéndola en dos grandes etapas incluyendo un rodillo para barrido en seco y la inclusión de boquillas que rociarán agua para desprender la suciedad más difícil del panel, se alimenta de una batería de 24v y se controlará a través de una placa de Arduino, todo esto garantizando la eficiencia en el proceso de limpieza por un precio de 4.344,59 euros.

Este proyecto ayudó en la comprensión de los problemas reales a la hora del diseño de la máquina, permitiendo ampliar la visibilidad de métodos utilizados para la automatización del dispositivo en cuestión, permitió encontrar los problemas claves a los cuales tocara enfrentarse y que se deben tener en cuenta a la hora de tomar decisiones en base a la estabilidad y la integración de sensores para limpieza de suciedades adheridas y el retroceso a la hora de la terminación de la tarea.

- **Robotic device for cleaning photovoltaic panel arrays:** En el año 2009 [17] se presentó un dispositivo robótico para la limpieza de arrajes de paneles fotovoltaicos, con el fin de conservar energía, inspeccionar los paneles, ahorrar agua y personal humano, se presenta el Robot PVCleaner V1.0 el cual se compone de un cabezal de limpieza, un motor de 12V para los carros inferiores, un motor de elevación de 90V, 4 sensores de proximidad, entre otros, estos combinados y montados en el dispositivo reducen significativamente el número de trabajadores necesarios para limpiar matrices utilizando el límite de recursos educativos y menos tiempo, se proyecta la unión de cámaras térmicas que permitan la inspección del panel y reconocer puntos calientes que indican que celda está dañada para su posterior reparación.

El dispositivo robótico enunciado anteriormente presenta las ventajas de reducir el número de trabajadores que se necesitan para la limpieza de paneles solares utilizando limpieza de arrajes e instalando cámaras para la inspección del panel con el fin de tener control sobre los mismos, abriéndole

campo a la idea del constante monitoreo ya sea por medio físico o inalámbrico.

- **HyCleaner:** De los diseños más interesantes es el que proviene de la empresa hyCleaner. Empresa alemana que comenzó en el mundo profesional incluyendo sistemas automáticos de limpieza de cristales, crearon hyCleaner black solar.

Sistema que se desarrolló para la limpieza de placas solares. Esta emplea agua para la limpieza, lo que mejora la limpieza del panel. Es grande y pesado, aunque garantizan un poder ascensional de hasta 35° según el estado de la superficie.

Como contrapunto, el empleo de agua se realiza a través de una toma externa, por lo que haría necesaria una toma de agua cercana. También, como inconveniente, se tiene un sistema automático de limpieza, pero teledirigido por un operario, lo que no exime del empleo de personal y la necesidad de formación de este. Es un sistema que garantiza una limpieza óptima con el empleo de gran cantidad de agua y, disminuyen el consumo evitando el empleo de dos rodillos giratorios; únicamente disponen de uno, el cual no garantiza la eliminación de toda la suciedad [17].



Figura 2. HyCleaner en acción con operarios sosteniendo la manguera de suministro de agua

Obtenido de: <https://hycleaner.eu/es/produkte/hycleaner-black-solar/?cn-reloaded=1>

La máquina de este prototipo posee las siguientes características, primeramente, las medidas sin el cepillo incorporado: longitud: 1200mm, anchura: 900mm, altura: 500, peso 60kg. Una capacidad de ascenso de 25°

máximo, 4 velocidades de traslación ajustables con un promedio de 1.5km/h, las medidas del cepillo son: la anchura: 1100mm, diámetro: 300mm, anchura de su sistema: 1300mm, y peso del sistema del cepillo: 23kg. Para suministrarle energía se necesita una batería de iones-litio de máximo 42 Voltios.

La observación detallada de este dispositivo permitió realizar una lluvia de ideas sobre la parte física del prototipo, sus posibles medidas y peso, así como añadir la limpieza de paneles solares que posean cierta inclinación, también nos permitió replantearnos la utilidad del personal junto con la máquina [17].

- **Diseño y construcción de un sistema automático para la limpieza de paneles solares:** En la escuela politécnica nacional se presentó un proyecto previo a la obtención de título de ingeniero de electrónica y control [18] en la estación Laharica Bilbao la cual está ubicada a 500mts de la población de Bilbao en el flanco oeste del volcán de Tungurahua en la provincia de Chimborazo, esta al estar cerca necesita limpiar con regularidad los paneles solares, para su diseño se considera el consumo de energía, para alterar en lo mínimo posible el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, este implementa un software amigable para el operador en visual Basic, un microcontrolador Atmega324P que monitorea el estado del panel solar, estado de la batería, transmisión y recepción de datos por FM o TCP/IP y envía la orden de limpieza a los actuadores, apenas es sucio el panel este micro controlador la envía para iniciar el proceso de limpieza.

Con este se puede visualizar un poco más de cerca la función del microcontrolador, así como las partes que se han utilizado en otros dispositivos, nos dio una apertura a las ideas de la configuración del dispositivo, los sistemas de limpieza tanto mecánico como con agua, la separación de las subrutinas.

## **3.2. MARCO TEÓRICO**

En este apartado se realizará un análisis de los temas importantes y las teorías que dan sustento al proyecto, argumentando el por qué tienen relación con el mismo y dando porte a las decisiones tomadas con el fin de un mejor entendimiento en base a los conceptos.

### **3.2.1 Fuentes no convencionales de energía**

Las FNCE o fuentes de energía renovables son aquellas que no provienen de fósiles e incluyen el viento, el sol, la energía almacenada como energía interna en el aire (Aero térmica), debajo de la superficie de la tierra (geotérmica) y en el agua (hidrotérmica), la energía de los océanos, la hidráulica, la biomasa, los gases producidos en rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de aguas residuales, y los biogases dentro de ellas. [19]

De acuerdo con Hernández Mendible (2013), el principal beneficio que producen las energías renovables frente a las tradicionales es que disminuyen la dependencia de estas, las van sustituyendo de forma progresiva y contribuyen a mantener la calidad de vida de las personas actuales, garantizando un ambiente ecológicamente más equilibrado, lo que permite preservar el ambiente sano de las generaciones futuras y contribuir a la disminución del calentamiento global. [20]

### **3.2.2 Sistema fotovoltaico (SFV)**

Este fue descubierto en 1839 por el físico francés A. E. Becquerel en sus estudios sobre celdas electrolíticas. Varios años después, en 1873, W. Smith descubrió la fotoconductividad en el selenio. Tres años más tarde, en 1876, el efecto fotovoltaico fue observado por G. W. Adams y R. E. Day en una estructura semiconductor de selenio. La primera celda fotovoltaica de selenio fue descrita en 1883 por D. C. Fritts. En 1884 Hallwach observó la fotosensitividad de estructuras de cobre/óxido de cobre (Cu/Cu<sub>2</sub>O), luego E. H. Kennard y E. O. Diterich ligaron el efecto fotovoltaico con la existencia de una barrera [21]

Los dispositivos que poseen este sistema son capaces de absorber energía de los fotones presentes en la luz, que incide sobre ellas y la convierten en energía eléctrica. El efecto fotovoltaico ocurre en dispositivos en los cuales: a) en los materiales que los componen se generan portadores móviles de carga eléctrica mediante la adsorción de la energía de los fotones presentes en la luz y, b) existe, además, una barrera de potencial que permite separar a los portadores de carga de la región en que se generan [22].

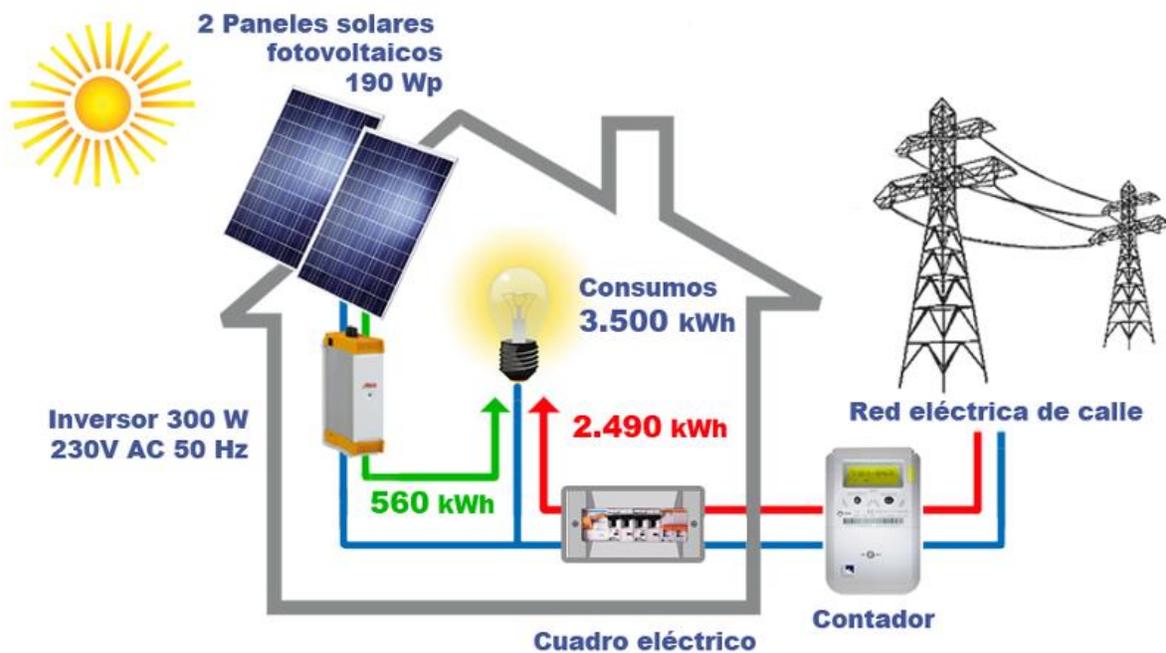


Figura 3. Sistema fotovoltaico

Obtenido de: <https://www.sanea.org/curso/5424/GENERACION-DE-ENERGIA-ELECTRICA-CON-SISTEMAS-FOTOVOLTAICOS-CONECTADOS-A-RED/>

### **3.2.3 Características de los paneles**

Las celdas de los paneles fotovoltaicos se construyen con dos tipos de materiales normalmente; arseniuro de galio o silicio, y funcionan cuando están en contacto directo con la luz solar, que al chocar con este y los demás objetos en su camino emanan energía. Es la única energía conocida hasta el día de hoy que no contamina al planeta con gases y permite disminuir el efecto invernadero.

- El panel típicamente desarrollará alrededor de 15 voltios o más cuando esté bajo carga (por ejemplo, mientras se carga una batería de 12 voltios).
- El voltaje del circuito abierto podría ser mayor, quizás 20 voltios o más.
- Si los módulos solares están conectados (eléctricamente) en serie, es posible obtener voltajes de salida muy altos. De hecho, se pueden conectar varios paneles para formar una cadena fotovoltaica.
- Potencia pico: Potencia suministrada por el módulo en condiciones normalizadas de prueba).
- Radiación solar: 1000 W/m<sup>2</sup>.
- Temperatura: 25 °C.
- Corriente nominal: Corriente máxima suministrada por el módulo.
- Voltaje nominal: Voltaje máximo suministrado por el módulo.

### **3.2.4 Como se implementa la limpieza automatizada**

Mediante la automatización de los procesos de limpieza se consigue disminuir los consumos de agua, energía y productos ya que estos están más controlados en los distintos procesos y se puede ajustar al máximo sus consumos según las necesidades de limpieza, estandarizando las concentraciones y consiguiendo mayor control sobre ellos. Esta automatización, facilita a las industrias que la validación de los procesos de limpieza sea más fácil ya que los procesos siempre se harán de igual forma, resultando la limpieza y la desinfección uniforme y permitiendo así un mayor control de los resultados finales, además las empresas se aseguran de que serán más eficaces con el tiempo empleado [23].

Las razones para automatizar un proceso de limpieza son claras [24]:

- La tecnología permite que el personal de limpieza se aboque a las tareas más especializadas
- Los consumos de agua y energía son controlados, y minimizados.
- El gasto de productos químicos de limpieza es siempre el mismo y su concentración es estandarizada.
- La validación de estos métodos es fácil de conseguir y las empresas se aseguran de que sea eficaz a lo largo del tiempo.

### **3.2.5 Sistema de tracción oruga**

El sistema de tracción con orugas de goma es la herramienta más eficiente para lograr un alto poder de tracción con alta flotabilidad sobre el suelo.

Las orugas permiten aumentar la eficiencia en el uso de la relación peso-potencia aprovechando más eficientemente el peso de la máquina para traducirla en tracción. Si se comparan los sistemas de tracción por ruedas versus las orugas es destacable mencionar que, el sistema de tracción por ruedas puede lograr como máximo un 80% de eficiencia tractiva en su configuración ideal, mientras que las orugas de goma rondan el 98% de eficiencia de tracción.

Las orugas proporcionan, por la mayor flotabilidad, un menor esfuerzo de rodadura (potencia necesaria para desplazarse - mayor cuanto más se hunde el equipo), lo que se traduce en una disminución en el consumo de combustible [25].

### **3.2.6 Caudal**

Es el volumen de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo. Normalmente se calcula a partir del flujo, volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

El cálculo del caudal de agua que recorre un conjunto de tuberías, que forman una red o un circuito, es importante para determinar las necesidades de energía que

harán que el agua circule por ellas en las condiciones determinadas por el proyecto que se trate

### 3.2.7 Arduino

Es un hardware de código abierto, programable a través de una plataforma de software propio, donde los contenidos creados por los usuarios se pueden compartir en una comunidad global. Está pensado pues, para que cualquier persona pueda realizar todo tipo de proyectos interactivos.

Arduino Uno es una placa basada en el microcontrolador ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digitales, de los cuales 6 pueden utilizarse como salidas PWM, que permiten simular una salida analógica y emplean como “truco” el activar una salida digital durante un tiempo y mantenerla apagada durante el resto; el promedio de la tensión de salida, a lo largo del tiempo, será igual al valor analógico deseado, cuenta además con 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP (In Circuit Serial Programming) que sirve para programar el BootLoader del Microcontrolador ATmega y así poder cargar los programas que creamos en el IDE directamente en el microcontrolador y un botón de reset. [26]

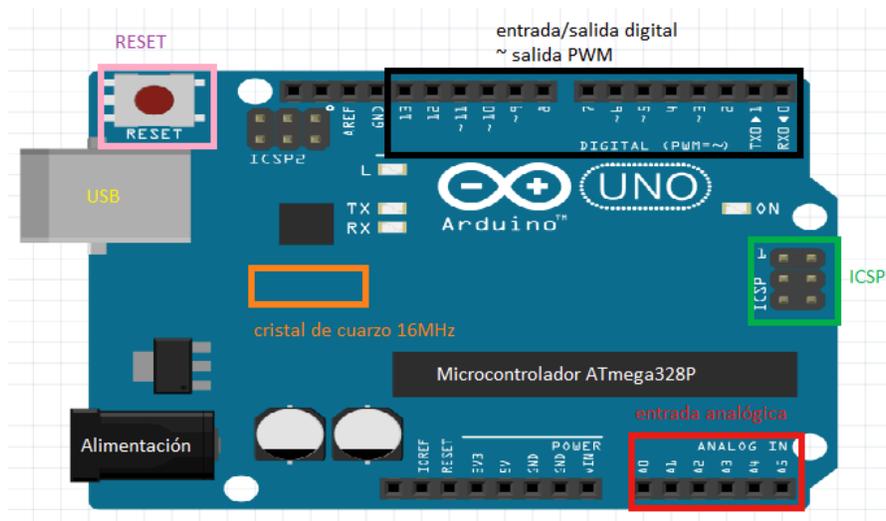


Figura 4. Arduino UNO

Obtenida de:

[http://revistas.educa.jcyl.es/revista\\_digital/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3879&catid=84&Itemid=87#:~:text=Arduino%20es%20un%20hardware%20de,todo%20tipo%20de%20proyectos%20interactivos.](http://revistas.educa.jcyl.es/revista_digital/index.php?option=com_content&view=article&id=3879&catid=84&Itemid=87#:~:text=Arduino%20es%20un%20hardware%20de,todo%20tipo%20de%20proyectos%20interactivos.)

### **3.2.8 Raspberry**

Es una placa de ordenador del tamaño de una tarjeta de crédito que se conecta a un monitor y utiliza un teclado y un ratón para funcionar. Es capaz de hacer todo lo que esperaríamos que hiciera un PC de escritorio, desde navegar por Internet y reproducir videos de alta definición, hasta hacer hojas de cálculo, procesar textos y jugar.

Este permite construir proyectos de hardware, hacer automatización de hogar e incluso utilizarlo en aplicaciones industriales su sistema operativo es Raspberry Pi OS, este está basado en Raspbian que opera el ecosistema de código abierto. [27]

### **3.2.9 Batería**

Una batería recargable o, acumulador electroquímico es un dispositivo capaz de almacenar y suministrar energía eléctrica de forma autónoma mediante reacciones electroquímicas de oxidación/reducción. Las baterías son generadores secundarios que necesitan de un suministro de electricidad durante la etapa de carga, obteniendo energía eléctrica durante el proceso de descarga. Durante la etapa de descarga, la energía almacenada en forma química en los materiales activos de los electrodos se transforma, directa y espontáneamente, en energía eléctrica, estas han hecho posible la utilización de múltiples dispositivos de forma inalámbrica. [28]

### **3.2.10 Motores**

Un motor eléctrico es un dispositivo que utiliza la energía eléctrica para crear campos magnéticos que se opongan entre sí, para convertir la energía en mecánica y así mover el rotor, el eje con las espiras que es la parte giratoria que transmite el movimiento al dispositivo que se le conecta los motores, tiene como ventaja la economía, limpieza, comodidad y funcionamiento seguro y en este caso programable. [29]



*Figura 5. Motor eléctrico*

Obtenido de: <https://www.transelec.com.ar/soporte/18450/que-es-un-motor-electrico-y-como-funciona/>

### **3.2.11 Sensores de proximidad**

Un sensor es un instrumento para detectar el estado de un proceso o posición, el cual convierte una variable física en eléctrica, un sensor de proximidad permite detectar objetos a una determinada distancia, sin contacto físico.

Los ultrasónicos detectan cualquier objeto que sea capaz de reflejar el sonido y de esa manera con el tiempo de regresión de la señal se determina la distancia del objeto. [30]

## **4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

### **4.1. METODLOGÍA**

La creación e investigación de este proyecto se basó en la metodología cuantitativa, ya que se basa en modelos matemáticos y construcción de acciones, donde prevalece la estandarización técnica que permite consumir lo científico, se utilizó también el método comparativo para realizar estudios de los dispositivos existentes que realizaran funciones similares, con procesos diferentes para extraer los beneficios de estos.

### **4.2. TIPO DE ESTUDIO**

Se define como aplicada, ya que se tiene como objetivo la resolución de un determinado problema, el cual es la disminución del efecto soiling en los paneles solares fotovoltaicos, enfocándose en la búsqueda de conocimientos para la construcción de un prototipo

### **4.3. CRONOGRAMA – PLAN DE TRABAJO**

En este apartado se incluyen las fechas y los tiempos estimados en los cuales se realizó el proyecto, incluyendo la cantidad de días, esto organizado por objetivos, cada uno con sus correspondientes tareas y a su vez estas divididas en actividades con un plazo estipulado, este cronograma constituye el plan de trabajo desde el día cero, hasta la finalización del prototipo.

Componentes	Descripción	Fecha Inicio	Fecha Final	Duración (Días)
Planeación del Proyecto	Se realizaran las fases del proyecto junto a una investigación pertinente para establecer los objetivos y los requerimientos del proyecto, con el fin de construir el dispositivo limpiador de paneles solares	20/08/2020	02/04/2021	222
Ingresar las fases de Opción de grado I		6/8/20	13/11/20	
Actividad1	Lineamientos del curso y explicación del proyecto	06/08/20	19/08/20	12
Actividad1	Planteamiento del problema, y registro de formatos	20/08/20	28/08/20	6
Actividad3	Planteamiento de los objetivos, justificación y beneficios	28/08/20	04/09/20	6
Actividad4	Marcos de referencia, indagaciones e investigaciones	07/09/20	23/10/20	18
Actividad5	Diseño metodológico: paradigma, tipo y método de investigación, población y muestra	23/10/20	30/10/20	6
Actividad6	Plan de tabulación y análisis de la información	31/10/20	6/11/20	6
Actividad7	Cronograma de actividades, presupuestos de colciencias	07/11/20	13/11/20	6
<b>OBJETIVO 1</b>	<b>Identificar los tipos de factores que afectan el rendimiento de los paneles solares y las soluciones convencionales, para el establecimiento de requerimientos.</b>			
<b>Entregable # 1</b>	<b>Realizar una investigación sobre los factores externos que afectan la eficiencia de los paneles solares</b>	<b>20/8/2020</b>	<b>17/9/2020</b>	
Actividad 1	Investigar los factores que afectan los paneles solares en la ciudad de estudio, Barranquilla	20/8/2020	25/8/2020	5
Tarea1	Investigar de que manera la salinidad y la cercana presencia del río Magdalena puede afectar a los paneles solares	20/8/2020	25/8/2020	7
Tarea2	Buscar empresas que posean paneles solares para un alto consumo de energía en el Atlántico	22/8/2020	25/8/2020	3
Tarea3	Indagar sobre los métodos de limpieza de paneles solares actuales	3/9/2020	17/9/2020	14
<b>Entregable # 2:</b>	<b>Investigar de que manera se ve afectado el aspecto económico de los poseedores por la exposición prolongada a factores externos</b>	<b>24/9/2020</b>	<b>7/10/2020</b>	
Actividad 1	Indagar sobre el desempeño de los paneles solares de las empresas antes y después del mantenimiento preventivo	25/9/2020	30/9/2020	5
Tarea1	Establecer contacto con la empresa escogida para determinar la cantidad de paneles solares a los que se les realizará el análisis y en los cuales se pondrá a prueba el dispositivo	25/9/2020	29/10/2020	31
Tarea2	Tomar datos del desempeño de los paneles solares dictaminados en la actividad anterior antes y después de ser limpiados de manera convencional y convertir esos datos en cifras monetarias	30/9/2020	7/10/2020	6
<b>OBJETIVO 2</b>	<b>Diseñar un prototipo capaz de adaptarse a las necesidades encontradas en la zona de ubicación de los paneles que permita la integración de los sistemas.</b>	<b>25/11/2020</b>	<b>18/1/2021</b>	
<b>Entregable # 3</b>	<b>Diseñar y ensamblar las piezas basadas del prototipo basadas en la configuración del espacio de prueba del prototipo</b>	<b>26/11/2020</b>	<b>2/12/2020</b>	
Actividad 5	Diseñar las piezas del prototipo en software	27/11/2020	23/12/2020	20
Tarea1	Instalar el software Solidworks	26/11/2020	11/12/2020	1
Tarea2	Realizar la medición de la superficie donde se procederán a realizar las pruebas del dispositivo	11/12/2020	13/12/2020	3
Tarea3	Realizar una investigación sobre los diseños más óptimos para lograr rapidez, menor peso y mayor eficiencia	9/12/2020	13/12/2020	5
Tarea 4	Desarrollar en conjunto las piezas indicadas y sus respectivos ensamblajes para observar la forma de unión	10/12/2020	20/12/2020	38
Tarea5	Realizar la simulación de esfuerzos de VonMises para obtener el valor de fractura del dispositivo	20/12/2020	23/12/2020	3

<b>Entregable # 4</b>	<b>Ensamblar las piezas del dispositivo con el fin de iniciar el montaje y prueba de la parte física del dispositivo</b>	<b>20/1/2020</b>	<b>19/2/2021</b>	
Actividad 6	Ensamblar las piezas del dispositivo	20/1/2021	24/1/2021	5
Tarea1	Realizar la impresión, desarrollo o corte de las piezas	4/2/2021	15/2/2021	3
Tarea2	Determinar la forma de unión, ya sea con tornillos, adhesivo o soldadura	9/2/2021	12/2/2021	2
Actividad 7	Probar la parte física del dispositivo	12/2/2021	28/2/2021	17
Tarea1	Realizar la compra de componentes eléctricos	4/2/2021	12/2/2021	8
Tarea2	Montar los componentes electrónicos con el fin de verificar la resistencia de peso	14/2/2021	16/2/2021	3
Tarea3	Implementar el sistema de tracción y realizar pruebas de movilidad	20/2/2021	23/2/2021	3
Tarea3	Incorporarle la fuente de energía para probar los tiempos de utilización del dispositivo.	24/2/2021	27/2/2021	3
Actividad 8	Probar el funcionamiento del dispositivo	20/2/2021	27/2/2021	11
Tarea1	Realizar las conexiones electrónicas que nos permitan verificar el movimiento, funcionamiento y rapidez del dispositivo	8/2/2021	12/2/2021	5
Tarea2	Realizar las pruebas individuales de cada una de las partes actuadoras como movimiento, limpieza, aspiración, recarga y rapidez de los sensores	12/2/2021	15/2/2021	3
Tarea3	Al realizar la tarea2 con éxito integrar todos los actuadores y probar en la empresa para verificar el cumplimiento del objetivo	15/2/2021	19/2/2021	5
<b>OBJETIVO 3</b>	<b>Construir un software para la separación y análisis de las partículas encontradas en los paneles solares para la decisión de limpieza.</b>	<b>19/2/2021</b>	<b>4/3/2021</b>	
<b>Entregable # 5</b>	<b>Informe con análisis de los diferentes software implementados para el análisis de partículas de polvo</b>	<b>19/2/2021</b>	<b>16/3/2021</b>	<b>16</b>
Actividad 9	Investigar sobre dispositivos electrónicos automatizados encargados de la limpieza de paneles solares	4/2/2021	07/02/2021	3
Tarea1	Investigar las cualidades y debilidades de los diferentes software	7/2/2021	11/2/2021	4
Tarea2	Cuadro comparativo entre software	11/2/2021	12/2/2021	1
Tarea3	Recolección de códigos con funciones similares para obtener una base	12/2/2021	18/2/2021	4
<b>Entregable # 6</b>	<b>Diseñar e implementar el software para el cumplimiento del objetivo.</b>	<b>18/2/2021</b>	<b>04/03/2021</b>	<b>16</b>
Actividad 10	Especificación de los requisitos	18/2/2021	19/2/2021	1
Tarea1	Designar los requerimientos y funcionalidades que debe tener el software. (posible integración)	19/2/2021	20/2/2021	1
Tarea2	Construcción e implementación del software	20/2/2021	30/2/2021	9
Actividad 11	Pruebas o validación del software	1/3/2021	2/3/2021	1
Tarea1	Verificación y texto del software	1/3/2021	2/3/2021	1
Tarea2	Mantenimiento	2/3/2021	4/3/2021	2
<b>OBJETIVO 4</b>	<b>Implementar las técnicas de visión artificial y carga automática en el prototipo para automatizarlo.</b>	<b>4/3/2021</b>	<b>25/3/2021</b>	<b>19</b>
<b>Entregable #7</b>	<b>Creación del código que determine el grado de suciedad para la elección de limpieza</b>	<b>4/3/2021</b>	<b>25/3/2021</b>	<b>19</b>
Actividad 12	Investigación y escritura del código	5/3/2021	12/3/2021	7
Tarea1	Investigar sobre las técnicas de visión artificial y su uso	5/3/2021	8/3/2021	3
Tarea2	Determinar la integración de los dispositivos y actuadores	8/3/2021	9/3/2021	1
Tarea3	Escritura del código	5/3/2021	25/3/2021	18
Tarea4	Pruebas de funcionamiento de lo que se vaya teniendo en el código	12/3/2021	20/3/2021	8
Tarea5	Prueba de funcionamiento del código completo y mantenimiento del mismo	22/3/2021	25/3/2021	4

<b>Entregable #8</b>	<b>Implementar tecnicas de carga</b>	<b>8/3/2021</b>	<b>17/3/2021</b>	<b>9</b>
Actividad 13	Elegir la técnica de carga más rápida y funcional	8/3/2021	10/3/2021	2
Tarea1	Estudiar las diferentes opciones de carga	10/3/2021	11/3/2021	1
Tarea2	Determinar y probar la elección de carga	11/3/2021	13/3/2021	2
Tarea3	Ensamblar la elección determinada para probar el rendimiento y tiempo que dura el dispositivo con la carga automática	15/3/2021	17/3/2021	2
<b>OBJETIVO 5</b>	<b>Evaluar el correcto funcionamiento del dispositivo mecatrónico con base en los requerimientos establecidos.</b>	<b>26/3/2021</b>	<b>12/4/2020</b>	<b>13</b>
<b>Entregable #9</b>	<b>Implementacion del dispositivo mecatronico a paneles solares fotovoltaicos.</b>	<b>26/3/2021</b>	<b>4/4/2021</b>	<b>6</b>
Actividad 14	Realizar pruebas de limpieza a los paneles solares.	26/3/2021	27/3/2021	1
Tarea1	Pruebas con agua en superficies que presenten acumulacion excesiva de polvo.	1/4/2021	2/4/2021	1
Tarea2	Pruebas en secos en superficies con menor presencia de polvo.	3/4/2021	4/4/2021	1
Tarea3	Prueba de clasificacion de suciedad en la superficie de los paneles solares.	26/3/2021	4/4/2021	6
<b>Entregable #10</b>	<b>Documentacion de los resultados obtenidos</b>	<b>5/4/2021</b>	<b>12/4/2021</b>	<b>7</b>
Actividad 15	Verificacion de los resultados observados en la limpieza de paneles	8/4/2021	10/4/2021	2
Tarea1	Corroborar que los resultados obtenidos durante las pruebas de limpieza sean los esperados	8/4/2021	12/4/2021	4
Tarea2	Colocar parte de estructuracion del documento documentos que se van a manejar con el fin de documentar cada paso y evaluacion			
Tarea3				
<b>TOTAL</b>				

## 5. PRESUPUESTO

En este capítulo se incluirán los factores económicos que encapsularon el proyecto, tales como personal científico, materiales, salidas de campo, entre otros, se dará el costo total de la fabricación del prototipo con todas sus partes, este se subdivide para una mayor comprensión y se le da justificación a cada una de sus partes, en especial las horas de trabajo para su fabricación.

### 5.1. PRESUPUESTO GENERAL

Tabla 1. Presupuesto general.

	<b>FORMATO DE PRESUPUESTO PARA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN CONVOCATORIAS INTERNAS</b>				GI-02-PR-03-F02
					Versión 1
					12/06/2019
<b>PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO</b>					
RUBROS	Fuentes de Financiamiento				Total
	Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Otras fuentes Externas	Contrapartida UAC	
1. Personal Científico	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 12.758.544	\$ 12.758.544
2. Personal de Apoyo	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 7.228.440	\$ 7.228.440
3. Consultaría especializada y Servicios Técnicos externos	\$ 0,00	\$ 1'881.000	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 1'881.000
4. Materiales e Insumos	\$ 0,00	\$ 8'112.600	\$ 0,00	\$ 0	\$ 8'112.600
5. Trabajo de Campo	\$ 0,00	\$ 990.000	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 990.000
6. Equipos	\$ 0,00	\$ 4'500.000	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 4'500.000
7. Bibliografía	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,0
8. Material de difusión y Promoción de resultados	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,0
<b>TOTAL, PRESUPUESTO DEL PROYECTO</b>	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	<b>\$ 35'470.534</b>

## 5.2. PERSONAL CIENTÍFICO Y DE APOYO

El presupuesto invertido en este rubro consiste en el costo del tiempo empleado por el personal de investigación vinculados a este proyecto, que incluye a los directores y a los auxiliares de investigación.

Tabla 2. Costo personal científico.

1. PERSONAL CIENTIFICO										
Nombres y Apellidos	Tipo de Contrato	Función dentro del Proyecto	Valor Hora (\$)	Dedicación Horas/semana	No. de Semanas	Fuentes de Financiamiento				
						Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. Carlos Díaz Sáenz	Titular	Investigador Principal	\$ 41.935	4	36				\$ 6.038.640	\$ 6.038.640
2. Kelvin Beleño Sáenz	Asociado	Co-investigador	\$ 46.666	4	36				\$ 6.719.904	\$ 6.719.904
<i>SUB-TOTAL</i>									\$ 12.758.544	\$ 12.758.544

Tabla 3. Costo personal de apoyo.

2. PERSONAL DE APOYO									
Nombres y Apellidos	Tipo de Vinculación	Función dentro del Proyecto	Valor Hora (\$)	Dedicación Horas/semana	No. de Semanas	Fuentes de Financiamiento			
						Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	SUB-TOTAL	
1. Melissa Paola Alvarez Hernandez	Practicante	Auxiliar de Investigación	\$ 2.231	30	36			\$ 2.409.480	
2. Mateo Davis Álvarez Royero	Practicante	Auxiliar de Investigación	\$ 2.231	30	36			\$ 2.409.480	
3. Karin Giorgina Arredondo Valera	Practicante	Auxiliar de Investigación	\$ 2.231	30	36			\$ 2.409.480	
4.	N/A								
<i>SUB-TOTAL</i>								\$ 7.228.440	

--	--	--	--

### 5.3. CONSULTORIA ESPECIALIZADA

Tabla 4. Costo consultoría especializada.

3. CONSULTORIA ESPECIALIZADA Y SERVICIOS TECNICOS EXTERNOS				
Descripción	Justificación	Fuentes de Financiamiento		
		Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	SUB-TOTAL
1. Master en Python ofrecido por Udemy	Se realizó este curso para poder aprender el lenguaje de programación el cual se utilizará para la construcción de la red neuronal		\$360.000	\$ 360.000
2. Inteligencia artificial y Deep learning desde cero con Python	Se realizó este curso para aprender sobre creación de redes neuronales con Python desde cero y afianzar los conocimientos en el desarrollo y manejo del lenguaje de programación		\$360.000	\$360.000
3. Natural network and Deep learning	Se llevó a cabo la realización de este curso para poder aprender redes neuronales para poder hacer una red neuronal que sea capaz de clasificar si un panel se encuentra sucio o limpio y así obtener una respuesta (salida) para ordenarle al dispositivo si la limpieza a realizar sería en seco o con agua.		\$1'161.000	\$1'161.000
<i>SUB-TOTAL</i>		\$ 0	\$ 0	\$ 1'881.000

### 5.4. MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS

El presupuesto dedicado a esta sección incluye los materiales e insumos utilizados para el diseño, construcción y montaje del dispositivo, así mismo las salidas de campo que se necesitaron para las pruebas y las maquinas que fueron necesarias para la creación del dispositivo.

Tabla 5. Costos materiales e insumos.

4. MATERIALES E INSUMOS					
Descripción	Justificación	Fuentes de Financiamiento			
		Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. Raspberry pi3B			\$350.000		\$350.000
2. Cámara Pi			\$120.100		\$190.100
3. Motores			\$630.000		\$630.000
4. Batería			\$650.000		\$650.000
5. Cepillo Limpiador			\$330.000		\$330.000
6. Arduino			\$100.000		\$100.000
7. Tornillos			40.000		\$40.000
8. Estructura			\$4'270.000		\$4'270.000
9. Electrovalvula			\$130.000		\$130.000
10. Sensores ultrasonido			\$18.000		\$18.000
11. Electronica			\$390.500		\$390.500
12. Envíos			\$45.000		\$45.000
13. Resortes			\$10.000		\$10.000
14. Amortiguadores			\$16.000		\$16.000
15. Acople y varilla			\$50.000		\$50.000
16. Rueda Loca			\$30.000		\$30.000
17. Accesorios sistema oruga			\$60.000		\$60.000
18. Modulo Bluetooth			\$20.000		\$20.000
19. Estación de carga			\$413.000		\$413.000
20. Motobomba			\$ 390.000		\$ 390.000
<b>SUB-TOTAL</b>					<b>\$8'112.600</b>

Tabla 6. Costo trabajo de campo.

5. TRABAJO DE CAMPO									
Descripción	Justificación	No. De días	No. De personas	Costo/día de estadía por persona	Transporte por persona (ida/vuelta)	Fuentes de Financiamiento			
						Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contra partida UAC	SUB-TOTAL
1. Medición de los paneles solares		3	4		\$20.000		\$240.000		\$240.000
2. Pruebas del dispositivo		5	3	\$20.000	\$30.000		\$ 750.000		\$ 750.000
								\$ 0	\$ 0
<b>SUB-TOTAL</b>						\$ 0	\$	\$ 0	\$990.000

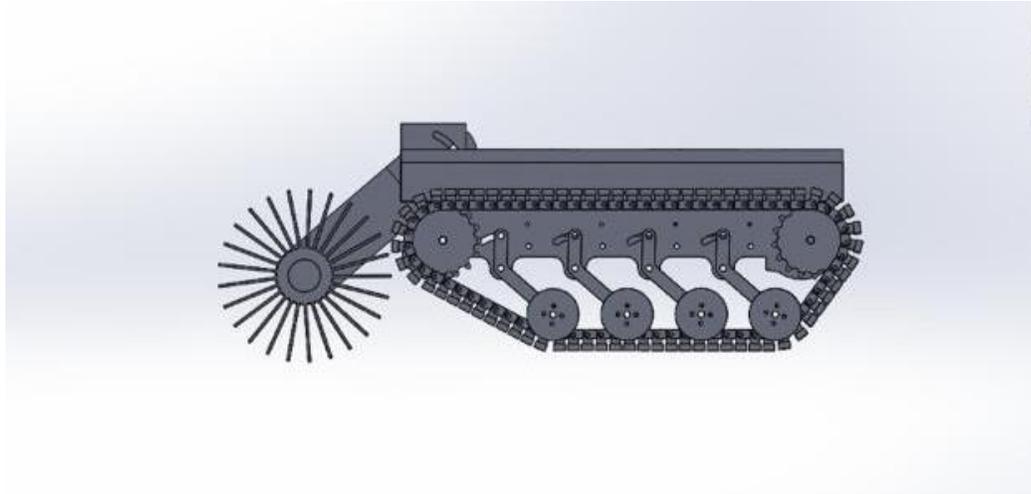
Tabla 7. Costo equipos usados

6. EQUIPOS						
Descripción	Justificación	Cantidad	Fuentes de Financiamiento			
			Vicerrectoría de Investigaciones y transferencia	INVESTIGADORES	Contra partida UAC	SUB-TOTAL
1. Impresora 3D	Impresión del prototipo	1		\$4'500.000		\$ 4'500.000
2.						\$ 0
3.						\$ 0
4.						\$ 0
5.						\$ 0
<b>SUB-TOTAL</b>			\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 4'500.000

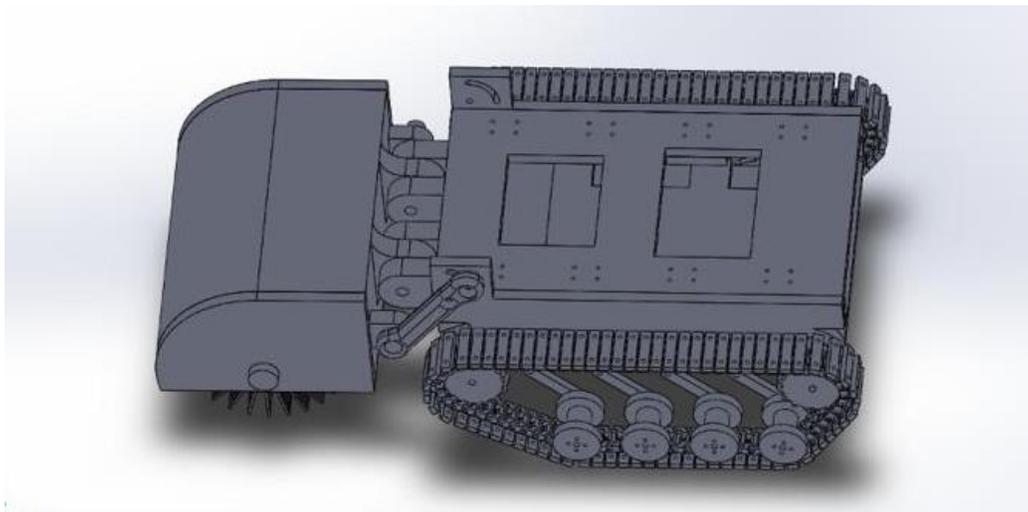
## 6. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. DISEÑO DEL PROTOTIPO

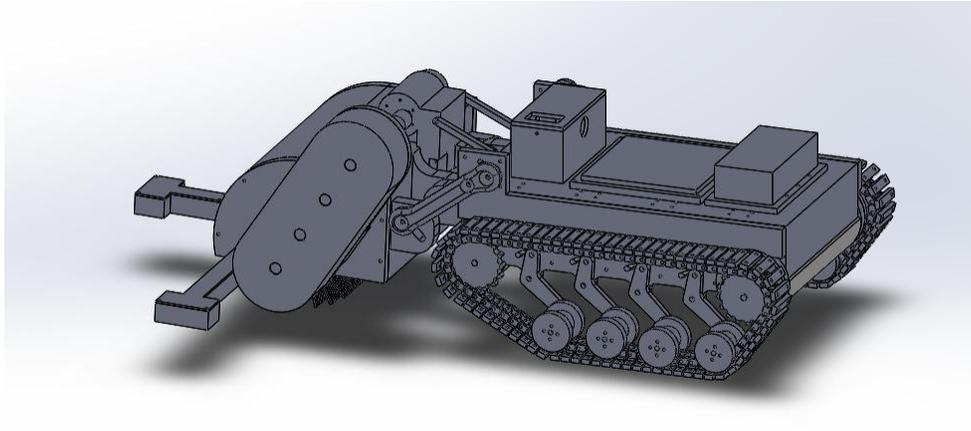
En este apartado se encuentran los diferentes modelos que se tomaron en cuenta para el desarrollo final del prototipo, los cambios que se tuvieron que realizar y el dispositivo final adaptado al medio de pruebas.



*Figura 6. Vista lateral del prototipo (propia autoría).*



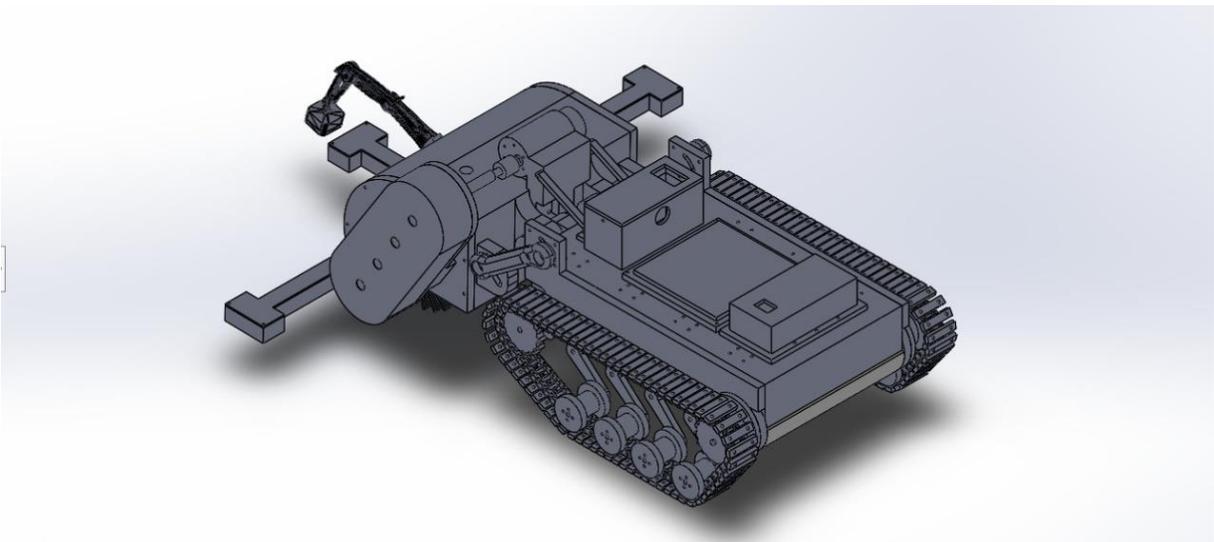
*Figura 7.vista superior del prototipo (propia autoría).*



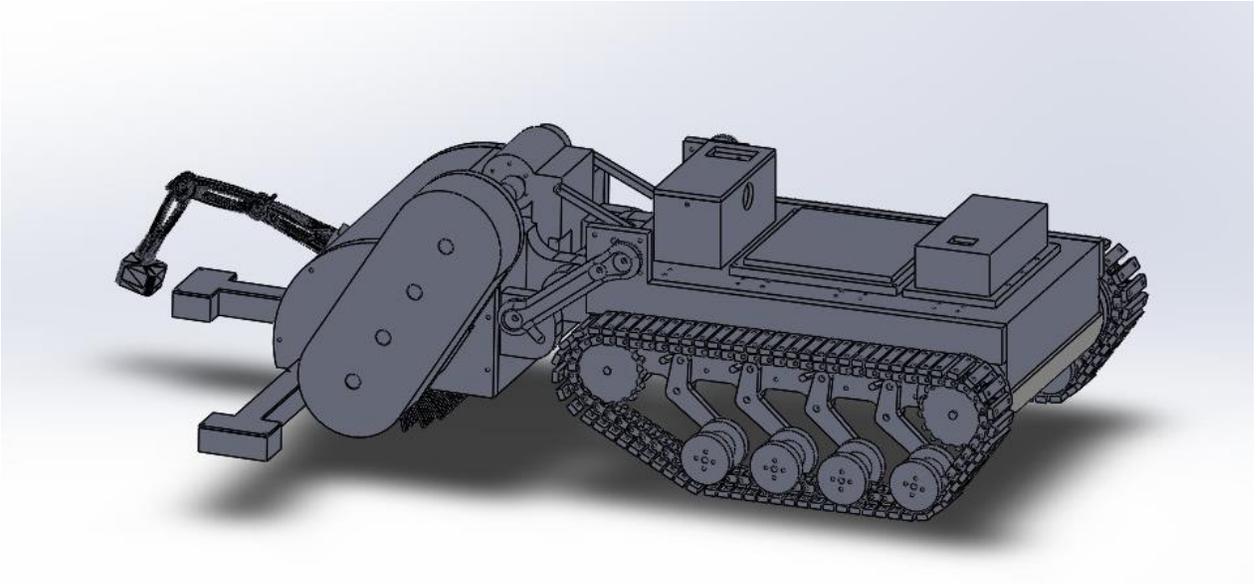
*Figura 8. Prototipo final (propia autoría).*

## **6.2. DISEÑO DISPOSITIVO FINAL**

En esta parte del capítulo se procede a tomar la decisión final sobre el diseño del dispositivo, con la ayuda de la herramienta SolidWorks, la manera como se va a mover, el tamaño, la forma, el sistema de alimentación y de control, el por qué fueron elegidos estos y así mismo las especificaciones finales, análisis, conclusiones de los objetivos y manual de usuario.



*Figura 9. Vista trasera del dispositivo final en SolidWorks (propia autoría)*



*Figura 10. Dispositivo final Solidworks, vista lateral*



*Figura 11. Dispositivo final vista lateral (propia autoría)*



*Figura 12. Dispositivo final vista trasera (propia autoría)*



*Figura 13. Dispositivo final, vista superior (propia autoría)*

### 6.2.1. SISTEMA DE TRACCIÓN

El sistema de tracción elegido es un sistema de oruga diferencial, donde sus dos orugas actúan de manera independiente cada una con un motor sujeto a la rueda principal, pero activadas por una misma instrucción en el código base, para cada una de las cadenas se utilizaron 71 eslabones de corredera, unidos con el fin de tener la forma de rectángulo que se observa a continuación.

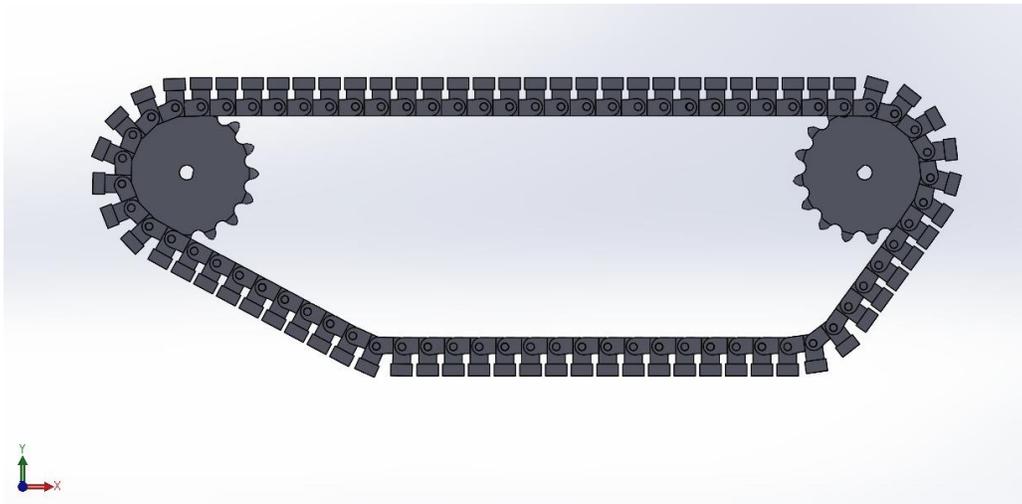


Figura 14. Prototipo sistema oruga (propia autoría).

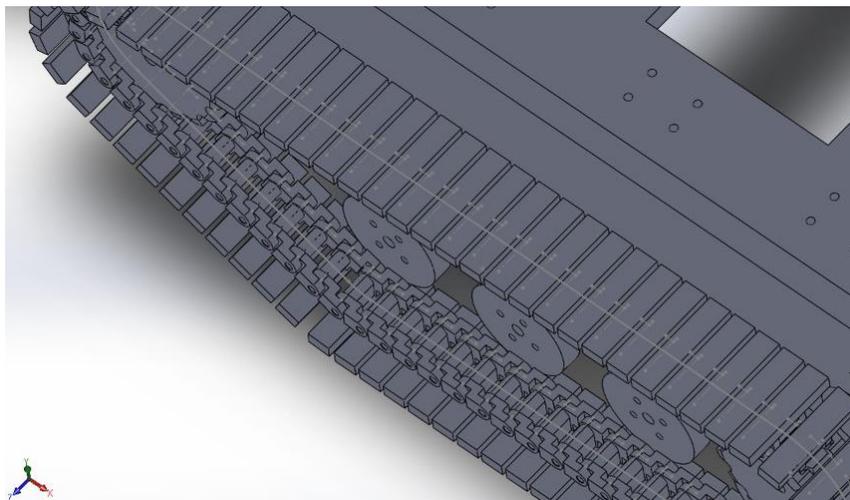


Figura 15. Prototipo intermedio sistema oruga (propia autoría).

Esta fue elegida gracias a que distribuye mejor el peso y transmite menos presión al panel solar, evitando que se hundan, facilita el desplazamiento de una celda solar a otra y tiene un 98% de eficiencia de tracción.

El sistema oruga se diseña trapezoidal con ángulos de ataque, de salida y resortes de amortiguación para solventar la pérdida de adherencia por posibles inclinaciones de los paneles y los diferentes saltos entre los mismos.

El material de fabricación de las poleas, las ruedas de presión y la correa es PLA.

Tabla 8. Dimensiones del sistema oruga.

Altura total	124.59 mm
Largo total	362.39 mm
Largo eslabón	40 mm
Ancho eslabón	9 mm
Espesor eslabón	5 mm

### **6.2.2. SISTEMA DE LIMPIEZA Y CONTROL**

El sistema de limpieza es la parte fundamental del dispositivo ya que se va a encargar del cumplimiento del objetivo general que es la limpieza de las placas solares.

Para esto se ha diseñado una red neuronal para que controle esta parte del prototipo, la plantilla del código se obtuvo de un curso sobre aprendizaje profundo, que se realizó en la página web Coursera, dictado por Deeplearnig.IA, el cual fue completado gracias a la información adquirida en el curso.

Fue modificada la manera en la que se reciben los datos de entrada de la red, captando la información a través de la cámara pi y modificando las salidas de la misma, esta decidirá si se limpia con el rodillo solo o se le incluya agua si se encuentran sucios en exceso, esta está constituida por un rodillo de nylon que realizara un barrido de forma giratoria con el fin de desprender la capa de polvo que no se encuentre adherida al panel, con revoluciones bajas con el fin de no dañar las placas solares.

Este incluye una válvula con boquillas que rociarán agua sobre la superficie con el fin de despegar la suciedad que se encuentra más adherida al panel, en este caso el rodillo aumentara las revoluciones para lograr limpiar la mayor parte de la suciedad, a este se le suministra agua por medio de un tanque y una manguera que se encuentra fuera de la estructura de los paneles.

La red neuronal es el sistema que controla la limpieza del dispositivo; para su funcionamiento necesita 4 archivos, dos de estos son bases de datos, una para entrenamiento y otra para testeo, los otros dos archivos son códigos de programación, uno será la parte donde se ingresarán las variables al cual llamaremos código principal y este llamará los procesos que se encuentran en el otro código de programación, el cual tiene por nombre código secundario.

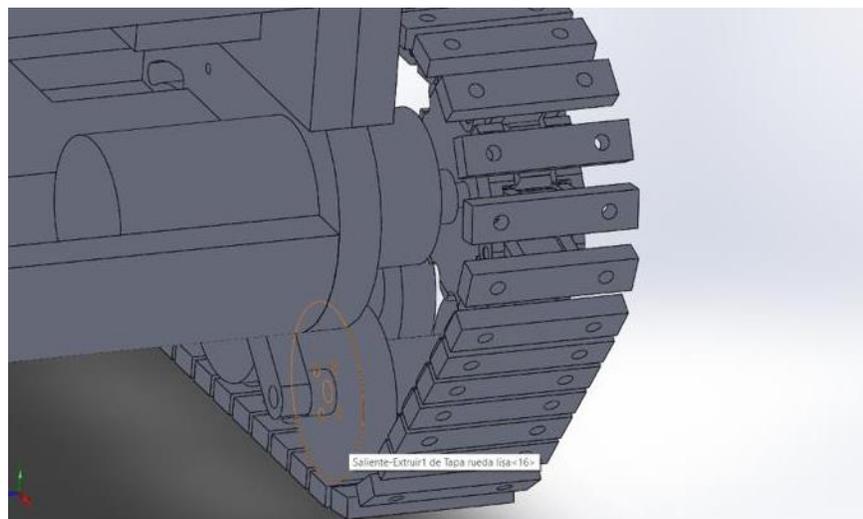
En este último se encuentran definidas las funciones internas que determina el actuar de la red neuronal, como por ejemplo la función de activación, cálculo de costo, propagación hacia adelante y propagación hacia atrás, algunas de estas llaman a otras funciones que se encuentran definidas en ese mismo código, luego de que la función hace el proceso interno esta devuelve el valor al código principal por medio de un return y con los valores regresados el código principal sigue trabajando hasta llegar a la predicción final.

Para ingresar las imágenes a clasificar por la red usaremos la cámara pi3 de Raspberry, determinando que la salida de la cámara o la imagen que esta esté capturando será la entrada con la cual trabajará la función predicción para determinar el estado de la imagen.

### 6.2.3. SISTEMA DE CARGA Y POTENCIA

Inicialmente las pruebas del dispositivo fueron con una fuente de voltaje de 24 Volts y posteriormente se cambió a una batería recargable de alto rendimiento y capacidad para utilización de 4 horas, la suma de consumos para la elección de la batería de vera más adelante, para el sistema de potencia se tienen dos motores Mellor Electric, 12 V DC, GM550/60/100-1 60W, encargados de realizar el movimiento del dispositivo así como amortiguadores en las llantas del sistema oruga con el fin de absorber los impactos del prototipo.

A la banda del sistema de tracción diseñada en SolidWorks se le instalaron unas pegatinas de caucho con el fin de lograr mayor adherencia en la placa solar para evitar que se resbale el dispositivo y permitiendo aumentar el grado de trabajo de este.



*Figura 16. Diseño y ensamble de los motores en SolidWorks*

Se puede observar en las figuras 14,15 y 16 el sistema de tracción y la manera en la cual los motores se encuentran acoplados al sistema oruga.

Tabla 9. Dimensiones tapa superior.

Largo	340 mm
Ancho	200 mm
Alto	56.5 mm

Para la transmisión de potencia hacia el rodillo se diseñó un tren de engranes, el cual es el encargado de llevar el movimiento del motor superior hasta la conexión con el rodillo, el motor envía 200 Rpm, para que el tren aumente esta velocidad 10 veces y el rodillo gire más rápido.

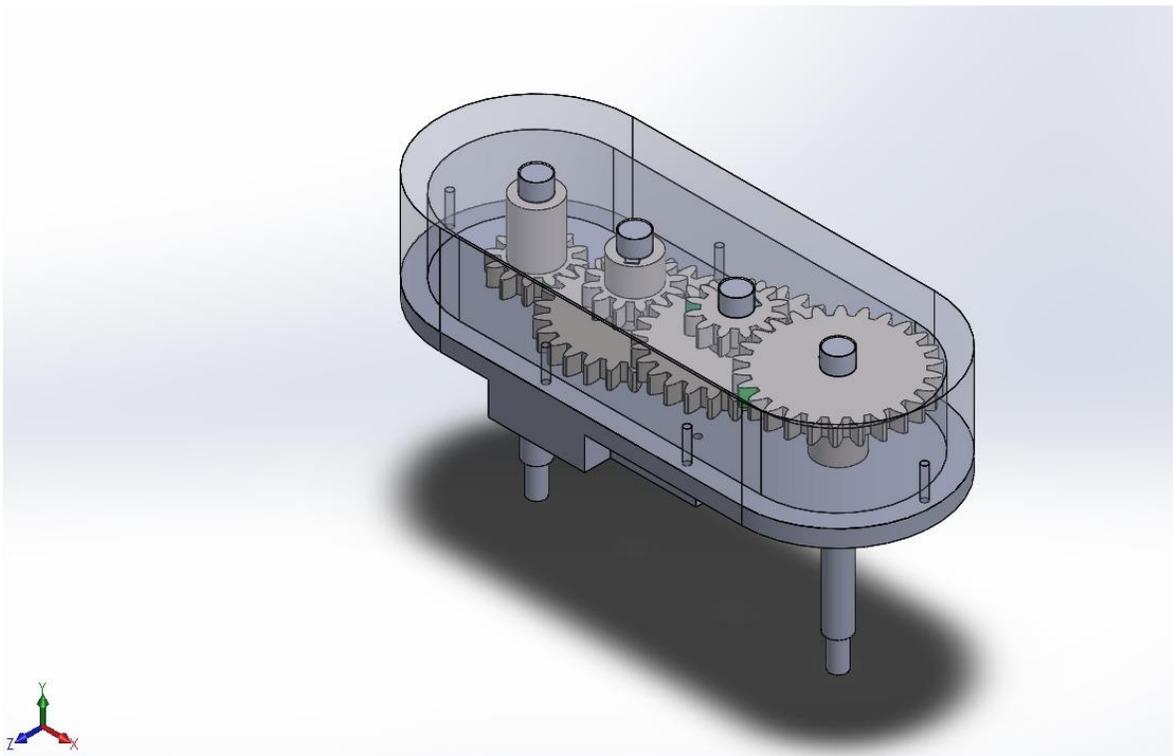


Figura 17. Tren de engranes

Calculo tren de engranes:

Velocidad angular: 200rpm

$$i = \frac{\text{conductoras}}{\text{conducidas}} = \frac{Z1 * Z3 * Z5}{Z2 * Z4 * Z6}$$

$$i = \frac{26 * 26 * 26}{12 * 12 * 12} = 10.17$$

*Ecuación 1. Calculo velocidad angular*

Velocidad angular

$$n_y = i * n_i = 10.17 * 200rpm$$

$$n_y = 2034 rpm$$

*Ecuación 2. Calculo velocidad angular aumentada*

Para el sistema de carga se plantea una estación con un panel solar de 150 WH con el fin de que el dispositivo se pueda cargar cuando le queda poca energía a la batería, esto beneficia al usuario ya que sin importar donde se encuentre, el dispositivo va a contar siempre con una fuente de recarga para la batería, así no se encuentren conexiones de energía cerca, esto con el fin de tener el nivel de carga necesario para poder operar sin problemas y que no tenga limitantes en el tiempo de trabajo.



*Figura 18. Estación de carga*

### 6.3. MATERIALES

Arduino	Raspberry pi
Es un microcontrolador, parte de un ordenador, que ejecuta un único programa una y otra vez.	Placa con microprocesador, que puede ejecutar múltiples programas al mismo tiempo (Se acerca más a un PC)
Está pensado para funcionar con batería.	Es complicado hacerlo funcionar con batería.
No lleva procesador grafico	Se conoce como SVC
Sus componentes y sensores funcionan de manera integrada.	Requiere tareas complejas como instalar librerías y software para interactuar con sensores y otros componentes.
El microcontrolador es menos potente, pero tiene todo lo que se necesita, integrado	El microprocesador necesita de una memoria RAM, u oscilador, un convertidor A/D y todos estos vienen separados, pero la placa es más potente y puede realizar más funciones.
Consume poco	Tiene un consumo mayor
Es barato.	Es caro en relación con Arduino.
Requiere hardware externo para conectarse a Internet y hay que programarlo utilizando código para que funcione. No está pensado para conectar a Internet.	Se conecta fácilmente a Internet con su puerto RJ-45 o con Wifi por USB.
Puede venir con almacenamiento integrado.	No tiene almacenamiento, pero puede usar su ranura microSD para ello.
Solo tiene un puerto USB Type-B hembra para conectarlo a un PC.	Tiene 4 puertos USB para conectar distintos dispositivos.
Utiliza un procesador de familia AVR.	Utiliza procesadores ARM.
Es un dispositivo plug and play.	Debemos apagarlo correctamente para que no haya riesgo de corrupción de archivos.
Solo utiliza Arduino y C/C++.	El lenguaje de programación recomendado es Python, pero puede usar C, C++ y Ruby también.

Tabla 10. Tabla comparativa entre Arduino y Raspberry (propia autoría)

### 6.3.1. Raspberry

Esta placa la encargada de llevar la red neuronal y la base de datos que junto con la pi camera toman la decisión de limpieza según el nivel de suciedad del panel solar, actúa como maestro del Arduino y le envía las señales para que el prototipo se desplace y los motores decidan el nivel de revoluciones a los cuales andar.



Figura 19. Raspberry 2B (propia autoría)

### 6.3.2. Pi Camera

La Cámara Para Raspberry Pi Model B+ 1080p - 5mp Rev 1.3 es la encargada de la toma de imágenes de los paneles solares, para que estas sean enviadas a la Raspberry pi y la red neuronal sea capaz de determinar si el panel se encuentra sucio o limpio.



Figura 20. PiCamera (propia autoría)

### 6.3.3. Arduino

Es la placa encargada de recibir la información enviada por la Raspberry y los sensores, con estos componentes, tiene la tarea de tomar decisiones de movimiento de los motores y la ruta más convenientes que debe seguir el dispositivo.



Figura 21. Arduino UNO (propia autoría)

### 6.3.4. Modulo Bluetooth HC-05

Modulo encargado de la conexión entre la app que envía los comandos y el Arduino que controla el movimiento de los motores, se encarga de transmitir y recibir datos de forma inalámbrica y trabaja como un esclavo enviando las señales necesarias para la operación del dispositivo.



Figura 22. Modulo Bluetooth (propia autoría)

### 6.3.5. Rodillo de limpieza

Actuador encargado de la limpieza directa del panel, es accionado por medio de un sistema de potencia que consta de un motor, un tren de engranajes y una varilla lisa de acero inoxidable que transmite el movimiento con el fin de mantener el rodillo rotando en el momento que se necesite, así como el nivel de rapidez que se amerite.



Figura 23. Rodillo de limpieza (propia autoría)

### 6.3.6. Motores

Son los encargados del movimiento del dispositivo, reciben instrucciones de la placa Arduino la cual decide en qué momento van hacia adelante y hacia atrás, los motores a utilizar poseen piñones de metal, de la marca Aslong model GM550/60/100-1, con un voltaje nominal de 12V Y medidas de 37mm de diámetro y 7,5mm de largo.



Figura 24. Motores (Propia autoría)

### 6.3.7. Sensores

Son los encargados de la medición de la distancia de la placa y el vacío, cuál va a permitir la definición de la ruta óptima para la limpieza del panel, el dato se enviará a la placa Arduino la cual procesará los datos para enviarle las señales adecuadas a los motores.

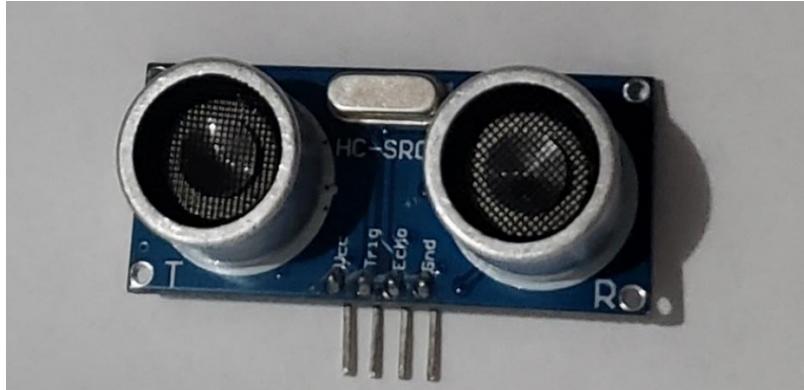


Figura 25. Sensor HC-SR05 (propia autoría)

### 6.3.8. Electroválvula

Este dispositivo manejado eléctricamente es el encargado del flujo del fluido, en este caso el agua para la limpieza cuando el panel solar se encuentre más sucio de lo normal, esta actúa de la misma manera que una válvula de paso con la ventaja del encendido automático.



Figura 26. Electroválvula

### 6.3.9. Batería

Esta va integrada a todos los sistemas para alimentar el proceso de limpieza, es recargable, cuenta con 30Ah y 12 V.



Figura 27. Batería 30A-12V (propia autoría)

### 6.3.10. Drivers

Los drivers de Motor 30a Monster Vnh2sp30 poseen un puente H y un módulo PWM los cuales sirven para controlar el sentido de giro del dispositivo y con el control PWM se controla la velocidad a la que se quiere que el dispositivo se desplace sobre la superficie de los paneles, a si mismo se controla el sentido de giro y la velocidad del rodillo.

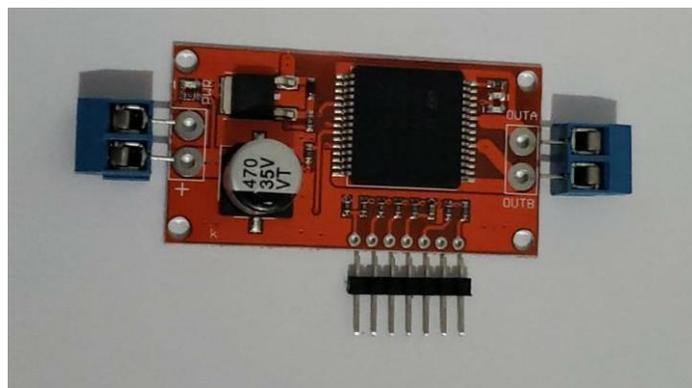
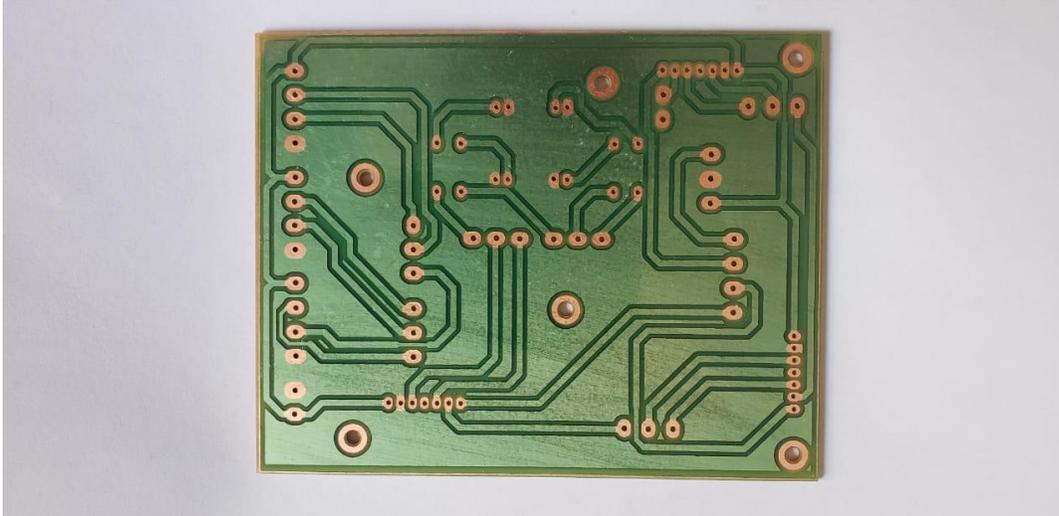


Figura 28. Driver de Motor 30a Monster Vnh2sp30 (propia autoría)

### 6.3.11. PCB

Se realizó con el fin de reducir y ordenar cables



*Figura 29. PCB (propia autoría)*

### 6.3.12. Panel solar de recarga

Se utiliza en el punto de carga con el fin de lograr la recarga automática que el dispositivo necesite.



*Figura 30. Panel solar de recarga (propia autoría)*

## **6.4. RECOLECCIÓN DE DATOS**

En este apartado se enunciará la manera en la cual se recogieron los datos para cumplimientos de los objetivos, teniendo en cuenta la muestra poblacional la cual define los requerimientos y especificaciones del prototipo, así mismo indica

### **6.4.1. MUESTRA POBLACIONAL**

La muestra poblacional de los paneles solares utilizados en el departamento del Atlántico se reduce a 8 paneles solares de 330W utilizados por la empresa Gmas Service 6 CIA. Ltda. En la ciudad de Barranquilla, los cuales tienen medidas de 2 metros de largo, por un metro de ancho, cada uno.

## **6.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En este apartado se realiza un recorrido por los objetivos propuestos en el apartado dos del proyecto, con el fin de comprobar si se cumplen o no, teniendo en cuenta el objetivo general y los específicos, sabiendo que algunos de ellos van unidos y solo se verán al terminar el dispositivo, siendo ese mismo instante en el que se valoraran y se determinara el nivel de satisfacción que abarca el prototipo, no se evaluaran objetivos que no se hallan planteado al principio de la propuesta.

El objetivo general plantea la construcción del dispositivo para la realización de limpieza el cual se ha cumplido a cabalidad, ya que se encuentra listo el prototipo y cumple con lo previsto.

Siguiendo con los objetivos específicos el primero es netamente investigativo y se cumplió en su totalidad ante de iniciar el ensamble del prototipo, realizando la búsqueda e identificación de los factores que afectan el rendimiento de los paneles solares mediante estudios y publicaciones de revistas indexadas.

El segundo, tercer y cuarto objetivo han presentado problemas debido a las especificaciones y el manejo de redes neuronales, se debe ser muy precisos con medidas, empalmes prototipo-panel y velocidades para el correcto funcionamiento de todas las partes del dispositivo, finalmente se logró la unión Raspberry-Arduino-

Cámara pi para el correcto funcionamiento de la red neuronal que abarca estos tres objetivos, dando como resultado el software de decisión y las técnicas de visión artificial que se adapten a las necesidades encontradas en la zona de los paneles solares.

La evaluación se ha realizado de forma parcial en superficies parecidas a los paneles solares evaluando el movimiento y la presión necesaria del rodillo para una limpieza óptima.

### **6.5.1. ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL PROTOTIPO**

Para el funcionamiento del prototipo se propuso como solución, el desplazamiento del dispositivo por el panel mediante la lectura de sensores los cuales envían señales de detección de vacíos y presencia para determinar el avance, retroceso y giros, contando este también con la presencia de una red neuronal, la cual se encarga de clasificar si el panel se encuentra limpio o sucio, para proceder a ordenarle a la electroválvula encenderse para expulsar agua permitiendo una limpieza más especializada del panel, o apagarla si no es necesario el recurso para no malgastarlo.

Esta solución le brinda libertad de movimiento al dispositivo, realiza su rutina dependiendo el estado de los sensores al detectar presencia o vacío, primeramente se habían instalado los ultrasonidos a 8 cm de distancia de la carcasa, pero se observó que la lectura tomada por los sensores era errónea al tener muy poca distancia.

Así mismo el dispositivo se resbalaba, al no tener los sistemas orugas recubiertos por material antideslizante, en el mismo orden de ideas el prototipo realizaba la primera rutina de ascenso bien detectando el método de limpieza y avanzando de manera lineal de una punta a otra, al momento de girar se veía comprometido por la distancia de ubicación de los sensores y no se pudo hacer más nada si no

modificarlos de manera que tuviesen un poco más de distancia e imprimir las piezas de nuevo.

Al arreglar los problemas anteriores con las nuevas distancias de los ultrasonidos y recubriendo los sistemas oruga con material antideslizante apto para los paneles, el prototipo realiza la rutina de ascenso como se debe, al llegar al final gira hacia el lugar que le corresponde y desciende, los paneles en los cuales se realizaron las pruebas tienen un ángulo de  $15^\circ$  con la horizontal, esto permite que el descenso no sea forzado, pero el ascenso si, al mismo tiempo estanca el agua en la parte baja del panel lo que obstaculiza en cierto modo el retorno de abajo hacia arriba, esta es una de las desventajas encontradas en esta solución.

No se pudieron realizar pruebas en otros predios debido a que rigiéndonos por la Resolución 1409 de 2012, la cual establece el Reglamento de seguridad para la protección contra caídas en trabajo en alturas, se entiende como Trabajo Seguro en Alturas toda labor o desplazamiento que se realice a 1,50 metros o más sobre un nivel inferior.



*Figura 31. Prueba del prototipo en las instalaciones*

Como se observa en la figura 31 el prototipo se encuentra conectada una manguera, la cual le suministra el recurso hídrico encargado de la limpieza cuando los paneles se encuentran muy sucios.

Uno de los problemas encontrados en el predio fue que no se contaba con una llave de agua cerca de las instalaciones, por lo que se dificultaba conectar el dispositivo directamente de esta, por tal motivo se realizó la compra de una motobomba de 1/2 caballo de fuerza, para proceder a extraer el agua de un balde y a la salida de la motobomba conectar la manguera y suministrarle agua al dispositivo.

Se contó con el llenado de 4 baldes incluyendo el que tenía la conexión directa con la motobomba, del cual esta extraía el agua, a medida que el nivel de agua de este iba descendiendo, se le adicionaba agua de los otros 3, para así evitar que le entrara cavitación a la bomba.

Finalmente se pudo observar que a pesar de los inconvenientes encontrados con la movilidad y la adquisición de la motobomba, el sistema de limpieza realiza su función de manera correcta, la posición de cepillo ayuda a retirar el polvo pegado en las placas y el agua permite una limpieza más profunda, el sistema de potencia es el adecuado ya que el dispositivo se mantiene estable durante el recorrido que realiza y la modificación de las distancias de los sensores permitió la mejora de la lectura para la movilidad.

### **6.5.2. ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL DISPOSITIVO FINAL**

El dispositivo para la limpieza de paneles solares requirió de pruebas que permitieron entender el comportamiento del código en las condiciones reales de las celdas fotovoltaicas, se realizaron pruebas con el hardware y el software ya listo, se estableció el comportamiento requerido para limpiar de manera óptima el panel.

Al realizar las pruebas se encontró un problema con el estancamiento de agua en la base de los paneles, ya que estos se encuentran a un ángulo de 15° con la horizontal y poseen un leve borde en el cual se estanca el agua, el dispositivo no

tenía la capacidad para realizar el recorrido de abajo hacia arriba, ya que el agua allí encontrada resbala el sistema oruga a la hora de dar el giro y lo que hace esto es desbordar el dispositivo.

La solución encontrada para esto fue la creación de una nueva rutina la cual le permita al dispositivo salir del estancamiento para realizar el giro sin ningún inconveniente, al probar con esta solución se encontró la dificultad del mid clamp que une los paneles solares, el dispositivo al dar la vuelta pasa a enredarse con el tornillo que sobresale y obstaculiza el fin de la rutina, además al pasar por encima del mid clamp el dispositivo se desvía del rumbo y no opera de forma correcta pues se desvía de la trayectoria.

Esto sucede gracias a que las instalaciones encontradas no están diseñadas para limpieza automatizada, si no manual y como se enuncio en el apartado 6.5.1 fue imposible realizar las pruebas en otro predio por los certificados de trabajo seguro en altura y la emergencia sanitaria.

(a)

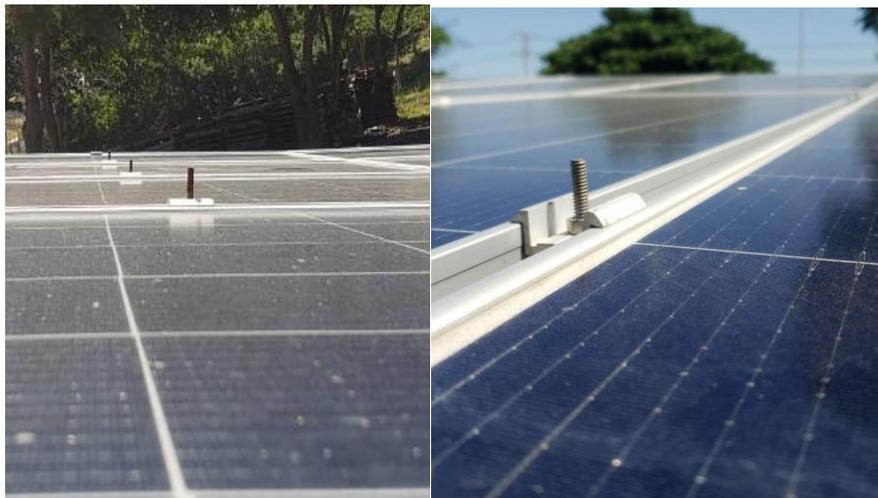
(b)



*Figura 32. a) Panel sucio, antes de la limpieza, b) panel limpio, después de la limpieza con el dispositivo*

En estos momentos al dispositivo le es imposible pasar de un panel a otro dado que se encuentran unidos por el mid clamp y un tornillo que sobresale entre uno y otro, estos necesarios dado el lugar de ubicación del predio en el que llegan fuertes brisas y se necesita la mayor seguridad para que los paneles no se despeguen, esto obstaculiza el movimiento del prototipo, y no permite que se realice la vuelta como debe ser.

Se pensó en cortar el tornillo pero al realizar esto se eliminaría el baño de acero inoxidable que posee el perno, lo cual sería negativo para la estructura, en el caso que los paneles estuvieran unidos por abajo y no hubiese un espacio tan grande entre ellos este pasaría sin ningún inconveniente.



*Figura 33. Mid clamp encargado de la unión de los paneles (propia autoría)*

La principal característica encontrada al realizar muchas pruebas fue la de los cambios de velocidad, ya que al girar o retroceder, varían de pendiente el motor que se esté utilizando para direccionar el movimiento, se logró determinar las velocidades probando una y otra vez, hasta que se realizó la rutina bien.

Adicionalmente se planteó otra solución con la cual el prototipo se desplaza mediante las indicaciones de un operador, las cuales se le envían mediante bluetooth con la ayuda de un teléfono Android y una aplicación de propia autoría de los investigadores, en esta no es necesario los sensores ultrasonidos, pero se le

debe unir el módulo bluetooth HC-05 el cual va a transmitir los comandos que introduce el operador en el celular, así mismo tendrá la red neuronal encargada de la clasificación para poder determinar el método de limpieza a utilizar.

Realizando las pruebas del dispositivo con ambas soluciones se pudo observar las ventajas y desventajas permitiendo determinar el cumplimiento de los objetivos, como la correcta limpieza de las celdas, lo que se logró, la implementación de visión artificial, lo que se logró y finalmente la evaluación del dispositivo mediante pruebas en diferentes medios.

## **6.6. MANUAL DE USUARIO**

A continuación se presentan partes importantes que comprende el manual de usuario.

El manual de usuario hace parte del anexo de este documento, en el cual se explica con mayor precisión y más a fondo cada una de las partes del dispositivo y su funcionamiento en general.

### **RED NEURONAL**

La red neuronal se encarga de la clasificación del estado del panel si es limpio o sucio, en este caso se realiza una red de dos capas la cual es entrenada para determinar el estado de la señal de entrada.

Estructura:

La red consta de dos códigos, `dos_capas.py` el cual se encarga de recibir las señales de entrada y realizar los llamados de las funciones que se encuentran en el código secundario, `dnn_doscapas.py`.

Especificaciones de cada código:

`Dos_capas.py`:

Lo primero que se realiza es llamar las librerías que se van a utilizar y las funciones del código `dnn_doscapas`, se procede a establecer los pines de salida siendo que si el estado del panel es sucio nos da una salida en alto en el pin GPIO 26 y si es limpio una salida en alto en el pin GPIO 24, inicialmente ambos se declaran en bajo.

Se realiza el entrenamiento de la base de datos, empezando por cargar la base de datos haciendo uso de la función `cargar datos` del código `dnn_doscapas`, luego de cargados se realiza un cambio de dimensiones tanto en la base de dato de testeo como de entrenamiento y se hace una estandarización de la data con valores entre 0 y 1.

Tratada la base de datos se definen las dimensiones de las capas y se hace una función del modelo de la red, que para que este funcione se debe tener la data de entrenamiento, las etiquetas de las imágenes en este caso el 1 o el 0, las dimensiones de las capas, el ratio o tasa de aprendizaje y el número de iteraciones.

Dentro de la función del modelo de la red se establece el proceso que esta realizará, en nuestro caso es:

- 1) La inicialización de los parámetros que deben ser de las dimensiones ya ante determinadas, haciendo un llamado a la función del código `dnn_doscapas`, que este internamente lo que hace es establecer de manera aleatoria el valor de la variable independiente y del error o sesgo, se multiplican por 0.01 para que sean valores pequeños y esto se devuelve al código principal o `dos_capas` para su posterior uso.
- 2) Luego de inicializados los parámetros entrarían en un `for` que finalizaría al hacer la última iteración que se establezca, en este primeramente se realiza la activación lineal hacia delante de cada una de las capas con su respectivo tipo de activación. Haciendo uso de una función que se encuentra en el código `dnn_doscapas`, que internamente el proceso que realiza es

$$z = WX + b$$

Donde W serán los pesos que se le asignan a cada una de las entradas, las x serán las entradas y b el error o sesgo.

- 3) Con la respuesta o la salida de la activación lineal hacía adelante de la última capa se realizan los cálculos de los costos, haciendo llamado de una función en el código `dnn_doscapas` que internamente hace el proceso de  $\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m L(\hat{y}, y)$ , esto se hace para medir que tanto los parámetros W y b están haciendo en el conjunto de entrenamiento.
- 4) Luego de calculado el costo se realiza se realiza el cálculo del gradiente de la capa final y con este a través de la función activación lineal hacia atrás se hayan las gradientes de la capa intermedia y los valores de entrada. Esto se hace para encontrar el valor donde W y b correspondan al mínimo valor de la función de costo.

Se guardan los gradientes hallados en el diccionario de gradientes y con estos se realiza una actualización de parámetros haciendo llamado de la función que se encuentra en el código `dnn_doscapas`, que este lo que hace es actualizar el valor de los parámetros teniendo en cuenta el valor del gradiente para disminuir la función de costo, esto lo realiza así:

- 1)  $W = W - (tasa\ de\ aprendizaje) * dW$  donde dW es el gradiente y lo mismo se hace con el sesgo (b).
- 2) Este proceso se realiza la cantidad de número de iteraciones que se establezca y finalizado el número de iteraciones nos regresaría son los parámetros óptimos

Ya fuera de la función del modelo lo que se hace es enviar la base de datos e indicarle que realice 2500 iteraciones y para que de esa manera muestre cómo va el cálculo del costo cada 100 iteraciones. Cuando ya tiene los parámetros finales se

hace el llamado de la función predicción que se encuentra en el código `dnn_doscapas` que internamente utiliza otras funciones con el fin de hacer una propagación hacia adelante.

Luego de que ya la red está lista para predecir se ingresa a través de la cámara pi la imagen a analizar, se indica la dirección donde está la imagen y se llama a la función predicción luego de haber hecho una redimensión de la imagen y finalizado esto de acuerdo con el valor de la etiqueta donde 0.0 es limpio y 1 es sucio determinamos cual salida de la Raspberry tenga un valor alto o bajo.

## Manual dispositivo encargado de la limpieza de paneles solares fotovoltaicos

Se declaran las variables a utilizar, en este caso las variables de los sensores los cuales permiten saber o conocer la posición actual del dispositivo y le permiten orientarse, las variables de los motores para que de acuerdo con la salida de los sensores poder controlar el movimiento de los motores.

```
#define TRIG 22|
#define ECO 23
#define TRIG1 24
#define ECO1 25
#define TRIG2 26
#define ECO2 27

int DISTANCIA;
int DURACION;
int DISTANCIA1;
int DURACION1;
int DISTANCIA2;
int DURACION2;
int SENTIDO_GIRO;

//////////Driver izquierdo//////////
#define EN 32
#define INA 33
#define INB 34
#define PWM 2
//////////DRIVER DERECHO//////////
#define EN1 35
#define INA1 36
#define INB1 37
#define PWM1 3
//////////RODILLO
#define EN2 38
#define INA2 39
#define INB2 40
#define PWM2 4

int LED_ROJO = 28;
int LED_AZUL = 29;
int LED_AMARILLO = 30;
int LED_VERDE = 31;
int ROJO ;
int AZUL ;
int AMARILLO ;
int VERDE ;

const int sensorPin = A0;
const int sensorPin2 = A1;
int sensorValue;
int sensorValue2;
int SUCIO = 11;
int LIMPIO = 12;

int RELAY = 5;
```

Con los condicionales lo que se hace es que el dispositivo pueda orientarse y saber en qué posición se encuentra o en qué posición esta para así él pueda determinar hacia donde debe moverse, teniendo en cuenta que el dispositivo debe esperar la salida de la pi cámara la cual es la salida de la red neuronal donde se clasifica si el panel se encuentra sucio o limpio para poder determinar si la limpieza se realiza en seco o con agua.

```

if(DISTANCIA<=7 && DISTANCIA1>7 && DISTANCIA2<=7 && sensorValue > 512 ){
  ////////////////////////////////////FORWARD////////////////////////////////////
  digitalWrite(SUCIO, HIGH);
  digitalWrite(RELAY,LOW);

  analogWrite(PWM2, 150);
  digitalWrite(INA2, HIGH);
  digitalWrite(INB2, LOW);

  analogWrite(PWM, 30);
  digitalWrite(INA, HIGH);
  digitalWrite(INB, LOW);

  analogWrite(PWM1,38);
  digitalWrite(INA1, HIGH);
  digitalWrite(INB1, LOW);

}else if (DISTANCIA<=7 && DISTANCIA1<=7 && DISTANCIA2>7 && sensorValue > 512 ){
  ////////////////////////////////////FORWARD////////////////////////////////////

  digitalWrite(RELAY,LOW);

  analogWrite(PWM2, 150);
  digitalWrite(INA2, HIGH);
  digitalWrite(INB2, LOW);

  analogWrite(PWM, 30);
  digitalWrite(INA, HIGH);
  digitalWrite(INB, LOW);

  analogWrite(PWM1, 38.3);
  digitalWrite(INA1, HIGH);
  digitalWrite(INB1, LOW);

}else{

```

Cuando el dispositivo llega a una esquina y debe dar vuelta teniendo en cuenta el estado de los sensores entonces enciende una luz en este caso un diodo led el cual le permite saber hacia qué lado giro, el dispositivo posee 4 leds los cuales se encargan de diferenciar el lado de giro del dispositivo. En el siguiente código

podemos observar que se enciende un led rojo, el cual indica que está girando hacia la derecha o que el primer giro que este realizo fue a la derecha.

```
if(DISTANCIA>7 && DISTANCIA1>7 && DISTANCIA2<=7 && sensorValue > 512 ){
  /*Girar a la derecha durante un tiempo establecido 3 segundos
   * Hacia delante durante 3 segundo
   * Girar a la derecha durante 3 segundo
   * Crear varibale Sentido_Giro <-0
   */
  ////////////////////////////////////TURN RIGHT////////////////////////////////////
  digitalWrite(RELAY,LOW);

  analogWrite(PWM2, 150);
  digitalWrite(INA2, HIGH);
  digitalWrite(INB2, LOW);

  digitalWrite(LED_ROJO, HIGH);

  analogWrite(PWM, 30);
  digitalWrite(INA, HIGH);
  digitalWrite(INB, LOW);

  analogWrite(PWM1, 38.3);
  digitalWrite(INA1, LOW);
  digitalWrite(INB1, HIGH);
  delay(2600);
}
```

Se pasa a la parte más importante la cual es la que constantemente estará ejecutándose ya que esta es la que le dice al dispositivo si se encuentra completamente en la superficie del panel y le dice que avance para que al llegar al final pueda girar hacia el lado correspondiente y esta es la parte que hace que el dispositivo no se pierda pues cada vez que da un giro va a preguntar que led se encuentra encendido para que sepa que giro le corresponde hacer.

```

if(DISTANCIA<=7 && DISTANCIA1<=7 && DISTANCIA2<=7 && sensorValue > 512){
  //////////////////////////////////FORWARD////////////////////////////////////
  digitalWrite(RELAY,LOW);

  analogWrite(PWM2, 150);
  digitalWrite(INA2, HIGH);
  digitalWrite(INB2, LOW);

  analogWrite(PWM, 30);
  digitalWrite(INA, HIGH);
  digitalWrite(INB, LOW);

  analogWrite(PWM1, 38.3);
  digitalWrite(INA1, HIGH);
  digitalWrite(INB1, LOW);
  ROJO = digitalRead(LED_ROJO);
  AZUL = digitalRead(LED_AZUL);

} // FIN LIMPIEZA DE LA FILA POSICIONADA

```

Y así sucesivamente se repite todo el código teniendo en cuenta que lo único que va a cambiar es las lecturas de los sensores y la salida de la red, si está sucio y requiere limpieza con agua o si está sucio pero la limpieza que requiere es en seco.

Por otro lado, para la elección de dispositivo Semiautomático y control total se ejecuta al estar el Switch en la posición 1, Permitiéndole al dispositivo poder operar con dos códigos totalmente diferentes en una misma interfaz.

```

if(digitalRead(Switch)==HIGH){
  if(Serial.available()>0 && sensorValue>512){
    estado= Serial.read();
    if(estado == 'r'){
      //arriba
      digitalWrite(RELAY,LOW);

      analogWrite(PWM2, 200);
      digitalWrite(INA2, HIGH);
      digitalWrite(INB2, LOW);

      analogWrite(PWM, 53);
      digitalWrite(INA, HIGH);
      digitalWrite(INB, LOW);

      analogWrite(PWM1, 45);
      digitalWrite(INA1, HIGH);
      digitalWrite(INB1, LOW);
    }
  }
  if(estado=='i'){
    //izquierda
    digitalWrite(RELAY,LOW);

    analogWrite(PWM2, 200);
    digitalWrite(INA2, HIGH);
    digitalWrite(INB2, LOW);

    analogWrite(PWM, 0);
    digitalWrite(INA, LOW);
    digitalWrite(INB, LOW);

    analogWrite(PWM1, 50);
    digitalWrite(INA1, HIGH);
    digitalWrite(INB1, LOW);

    delay(500);
  }
}

```

```

if(estado=='s'){
  //stop
  digitalWrite(RELAY,LOW);

  analogWrite(PWM2, 200);
  digitalWrite(INA2, LOW);
  digitalWrite(INB2, LOW);

  analogWrite(PWM, 255);
  digitalWrite(INA, LOW);
  digitalWrite(INB, LOW);

  analogWrite(PWM1, 255);
  digitalWrite(INA1, LOW);
  digitalWrite(INB1, LOW);
}
if(estado=='d'){
  //derecha
  digitalWrite(RELAY,LOW);

  analogWrite(PWM2, 200);
  digitalWrite(INA2, HIGH);
  digitalWrite(INB2, LOW);

  analogWrite(PWM, 45);
  digitalWrite(INA, HIGH);
  digitalWrite(INB, LOW);

  analogWrite(PWM1, 255);
  digitalWrite(INA1, LOW);
  digitalWrite(INB1, LOW);

  delay(500);
}

if(estado=='a'){
  //abajo
  digitalWrite(RELAY,LOW);

  analogWrite(PWM2, 200);
  digitalWrite(INA2, HIGH);
  digitalWrite(INB2, LOW);

  analogWrite(PWM, 53);
  digitalWrite(INA, LOW);
  digitalWrite(INB, HIGH);

  analogWrite(PWM1, 45);
  digitalWrite(INA1, LOW);
  digitalWrite(INB1, HIGH);
}
if(estado=='o'){
  //on
  digitalWrite(RELAY,LOW);
}
if(estado=='f'){
  //off
  digitalWrite(RELAY,HIGH);
}

```

Se guarda el estado de las variables en letras, las cuales se utilizan en la aplicación al momento de crearla, permitiendo que al presionar cualquier botón en la aplicación poder almacenar ese valor en una letra para posteriormente ser utilizada en una indicación en el dispositivo, lo que indica que cada botón de la aplicación posee una letra diferente a las demás y permite crear 7 condiciones diferentes en las cuales cada una se la da una instrucción para que el dispositivo gire, avance, retroceda, pare, o controle el modo de limpieza (Agua o seco).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo del dispositivo encargado de la limpieza de paneles solares representa un avance significativo en el cuidado y mantenimiento de las instalaciones fotovoltaicas y se convierte en una herramienta a la que próximamente se le dará uso en beneficio de las energías renovables para la costa caribe, Colombia y el resto del mundo, ya que permite realizar mantenimientos preventivos con el fin de aumentar la vida útil y los años de máxima capacidad de estas instalaciones.

Como investigadores es grato presentar ante la comunidad universitaria, científica, empresarial y otro grupo de interés un prototipo con características únicas en Colombia, Latinoamérica y quizás una de las mejores en el mundo un gran avance tecnológico este primer dispositivo.

Se determina que el dispositivo construido posee ventajas al ser uno de los primeros en Colombia además de contar con una red neuronal lo que le da cierto grado de autonomía en la toma de decisiones sobre la limpieza en seco o con agua, así mismo posee la dualidad de trabajar de manera libre con los sensores o si se desea manejar mediante una aplicación la cual el operador la puede instalar en cualquier teléfono Android sin tener acceso a internet, para tener el control de los movimientos del dispositivo y así mismo mejorar el rendimiento energético con la limpieza a las instalaciones.

Al implementar una caja de transmisión de potencia se logra aumentar las revoluciones del rodillo encargado de la limpieza con el fin de lograr un roce idóneo y eliminar elementos que se encuentren adheridos a la placa si se llegan a presentar.

Se ha construido un prototipo a nivel de pregrado que cumple con el objetivo planteado en el inicio, el cual realiza sus tareas de acuerdo con lo propuesto, cuidando la superficie con la cual tiene contacto y añadiendo la visión artificial con el fin de la toma de decisiones.

Las limitantes de este proyecto radican en el presupuesto, el poco tiempo de investigación y las instalaciones de prueba, ya que estas se encuentran en un predio privado, en el cual no se cuenta con acceso ilimitado y los permisos son difíciles de conseguir, por otro lado se requiere tener trabajo seguro en altura para poder realizar pruebas en diferentes lugares, ya que los paneles por lo general se encuentran a más de 1.5m sobre un nivel inferior, incluyendo que las instalaciones se encuentran adecuadas para limpieza manual.

Teniendo en cuenta que, en el punto de unión con el mid clamp, se encuentra una separación de al menos 2 cm y el sistema oruga al intentar pasar por encima de él se desvía por completo de la trayectoria que lleva, sumándole un detalle importante, y a tener en cuenta, este radica que en el predio donde se realizaron las pruebas los mid clamp se encontraban asegurados a la estructura metálica con unos pernos que sobresalen de está impidiendo que el dispositivo controlado de forma automática pueda llevar acabo la función de limpieza.

Dichos pernos poseen un baño de acero inoxidable para preservar el estado de estos y que con el tiempo no se oxiden lo que hace imposible cortarlos pues se le estaría quitando parte de la película de acero inoxidable que protege el perno y a su vez se estarían dañando las instalaciones de los paneles solares por lo que no se pueden cortar.

El poco tiempo establecido para la investigación es una gran desventaja y es preciso decir que una investigación de este nivel requiere de mínimo 2 años para poder llevar los prototipos a un dispositivo final.

Si se aplica el sistema FODA, todas las debilidades que se encuentran en este primer prototipo tienen que convertirse en fortalezas hacia el futuro, que deben ser solucionadas en estudios y prototipos posteriores a este, para sacar un producto final que satisfaga todas las necesidades del mercado, diseñados por universidades, empresarios o cualquier otro grupo de interés para que sea un gran aporte en este campo para un país como Colombia que tiene muchas debilidades en el campo tecnológico.

A partir de la investigación que se presenta en este documento se recomienda que para futuros pasos se analice aquellos detalles puntuales como son:

Es importante resaltar que para futuras investigaciones en este campo, debe iniciarse desde el análisis de las debilidades que puede presentar este primer prototipo.

Se recomienda que a futuro se trabaje en otro tipo de tecnología para superar los mid clamp o se implemente un sistema de aseguramiento de paneles que no obstaculice el paso de un dispositivo de mantenimiento con cierto nivel de autonomía, así mismo se entiende que esto último aún no se encuentra en las condiciones necesarias ya que en Colombia las limpiezas de instalaciones fotovoltaicas aún se realizan manualmente.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. H. Quiroz, «Control Industrial Hacia un concepto moderno de la automatización industrial,» *Electro Industria* .
- [2] L. M. H. García, «Energía, energía fotovoltaica y celdas solares de alta eficiencia,» *Revista Unam MX*, vol. 8, nº 12, 2007.
- [3] A. Salazar Peralt, A. Pichardo y U. Pichardo, «La energía solar, una alternativa para la generación de energía renovable,» *Revista de Investigación y Desarrollo*, vol. 2, nº 511-20, 2016.
- [4] E. Carrasco, «Stel Order,» 18 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.stelorder.com/blog/mantenimiento-preventivo/>. [Último acceso: 31 Mayo 2021].
- [5] C. J. Tablada y G. A. Torres, «Redes Neuronales Artificiales,» *Revista de educación matemática*, vol. 24, nº 3, 2009.
- [6] G. d. Colombia, «GOV,» Enero 2019. [En línea]. Available: [https://id.presidencia.gov.co/obras/MinEnergia\\_fotovoltaicaPaso.html](https://id.presidencia.gov.co/obras/MinEnergia_fotovoltaicaPaso.html).
- [7] M. Godstein, B. Litman, J. R. Caron y L. Dunn, «Comparing PV Power Plant,» San Francisco, 2013.
- [8] «La Revista energética de Chile,» Grupo Editorial Editec SPA , 2014. [En línea]. Available: <https://www.revistaei.cl/reportajes/efecto-del-polvo-en-el-rendimiento-de-los-paneles-solares/>. [Último acceso: 27 Agosto 2020].
- [9] S. Arteaga, «Computer Hoy,» AXEL SPRINGER ESPAÑA, 28 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://computerhoy.com/noticias/life/contaminacion-puede-bloquear-25-energia-solar-64284#:~:text=Un%20estudio%20determina%20que%20la,eficiencia%20de%20los%20paneles%20solares.&text=Esto%20es%20debido%20a%20que,mayor%20cantidad%20posible%20de%20luz..> [Último acceso: 27 Agosto 2020].
- [10] F. J. RAU ANDRADE, «ESTUDIO DEL EFECTO SOILING EN EL RENDIMIENTO DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS EN UNA ZONA RESIDENCIAL.,» Peumo Repositorio Digital USM, SANTIAGO DE CHILE, 2017.
- [11] «Green Energy Latin America,» TvG Lta, 16 01 2018. [En línea]. Available: <https://www.greenenergy-latinamerica.com/modulos-solares-sucios-la-ciencia-del-suelo/>. [Último acceso: 02 09 2020].

- [12] F. J. R. Andrade, «Estudio del efecto soiling en el rendimiento de paneles solares fotovoltaicos en una zona residencial.» Universidad tecnica Federico Santa Maria, Santiago. Chile, 2017.
- [13] B. Parrott, P. Carrasco Zanini, A. Shehri, K. Kotsovos y I. Gereige, Automated, robotic dry-cleaning of solar panels in Thuwal, Saudi Arabia, Arabia Saudita: Saudi Aramco Research & Development Center,, 2018.
- [14] A. Kumar Mondal y K. Bansal, «Una breve historia y futuras en los aspectos automáticos de limpieza de los sistemas de energía solar fotovoltaica paneles,» *Robotica avanzaa*, vol. 29, nº 8, pp. 515-524, 2015.
- [15] O. Akyazi, E. Sahin, T. Ozsoy y M. Algul, «A Solar Panel Cleaning Robot Design and Application,» *European Journal of Science and Technology*, vol. Special Issue, pp. 343-348, 2019.
- [16] A. Balbuena Iranzu, «Diseño de equipo automatizado para limpieza de paneles solares fotovoltaicos,» Universidad Publica de Navarra, Pamplona-España, 2018.
- [17] E. Langenheim, «HyCleaner Black Solar,» HyCleaner, [En línea]. Available: <https://hycleaner.eu/en/produkte/hycleaner-black-solar/>. [Último acceso: 28 09 2020].
- [18] M. Cajas Chicaza y D. Montaluisa Ipiales, «DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA AUTOMATICO PARA LA LIMPIEZA DE PANELES SOLARES,» Escuela politecnica, Quito, 2012.
- [19] P. c. N. Rincón, «Fuentes convencionales y no convencionales de energía: estado actual y perspectivas,» *INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN VOL 30 No 3*, p. 9, 2010.
- [20] M. J. P. Blanco, «LAS ENERGÍAS RENOVABLES: ¿ES POSIBLE HABLAR DE UN DEREHO ENERGETICO AMBIENTAL? ELEMENTOS PARA UNA DISCUSIÓN,» *UNIVERSIDAD DE LA COSTA*, p. 22, 2015.
- [21] M. Fernandez Barrera, *ENERGÍA SOLAR : ELECTRICIDAD FOTOVOLTAICA*, Liber Factory, 2015.
- [22] J. Barbosa Urbano, F. H. Trujillo Gonzalez, F. H. Velasqiez Perilla y J. U. Catellanos Contretas, «Estudio para el uso de la Tecnologia solar fotovoltaica,» *Ingenieria Solidaria*, vol. 6, nº 10-11, pp. 69-81, 2010.
- [23] E. Betelgeux, «BETELGEUX,» 29 Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://www.betelgeux.es/blog/2015/05/29/la-automatizacion-en-los-procesos-de-limpieza/>. [Último acceso: 16 Octubre 2020].
- [24] M. Mucchiut, *Automatización de procesos de limpieza*, Argentina: GHT Argentina – Tecnología en Limpieza, 2014.

- [25] H. Ferrari, M. C. Ferrari, F. Sanchez, G. Urretz Zabalía y M. Bragachini, «Orugas de Goma – Flotación, transitabilidad y traficabilidad,» Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Uruguay.
- [26] A. Gonzalez Redondo y M. R. Garcia De la Fuente, «Plataforma arduino,» *La revista digital del portal de la educacion*, 2018.
- [27] «Las mejores formas de aprovechar una Raspberry Pi,» *Cloud Computing*, 2021.
- [28] J. M. A. a. Á. J. A. A. A. M. R. M. Jesús Sanz Lázaro, *Energía eléctrica y materiales: baterías recargables, supercondensadores y pilas de combustible*, Madrid: Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM-CSIC).
- [29] «Transelec: Una empresa para empresas,» [En línea]. Available: <https://www.transelec.com.ar/soporte/18450/que-es-un-motor-electrico-y-como-funciona/>. [Último acceso: 17 Mayo 2021].
- [30] P. J. Salinas, *Sensores Inductivos y de Proximidad, la Mejor Selección*, México InTech Automatizacion, 2010.
- [31] S. K. D. L. S. M. Strasinger, *análisis de orina y de los líquidos corporales*, panamericana, 2008.
- [32] F. E.-C. / J. E. Schmalbach, *facultad de medicina*, Bogotá.
- [33] contaval, «contaval,» 18 02 2016. [En línea]. Available: <http://www.contaval.es/que-es-la-vision-artificial-y-para-que-sirve/>. [Último acceso: 10 09 2018].
- [34] M. M. Julian Pérez porto, «Definición.De,» Julian Pérez porto, María Merino, 2014. [En línea]. Available: <https://definicion.de/rgb/>. [Último acceso: 02 08 2018].
- [35] c. moler, «MATLAB,» *Fabricantes de Matlab*, 1984. [En línea]. Available: [la.mathworks.com](http://la.mathworks.com). [Último acceso: 4 octubre 2018].
- [36] E. I. d. V. Carlos Eduardo D´Negri, «investigaciones medicas logica difusa,» buenos aires.
- [37] E. G. J. H. Castillo, *Systems and probabilistic Network Models*, Springer Verlag, New York: Castellana, 1998.
- [38] M. A. G. German Campuzano Maya, «Uroanálisis: Mas que un examen de rutina,» *editora medica colombiana*, Antioquia, 2006.
- [39] M. I. R. e. e. D. M. y. V. David Saceda Corralo, «Webconsultas,» 2017 julio 2017. [En línea]. Available: <https://www.webconsultas.com/pruebas-medicas/sedimento-urinario>. [Último acceso: 30 mayo 2019].

- [40] F. Rodriguez, «Blog de Laboratorio Clínico y Biomédico,» 2 agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.franrzm.com/analisis-fisico-quimico-de-la-orina/>. [Último acceso: 30 mayo 2019].
- [41] M. Yamini Durani, «Wake Forest,» febrero 2012. [En línea]. Available: <https://www.brennerchildrens.org/KidsHealth/Parents/Cerebral-Palsy-Center/En-espanol/Analisis-de-la-orina-tiras-reactivas.htm>. [Último acceso: 30 mayo 2019].
- [42] Vistronica, «Vistronica,» [En línea]. Available: <https://www.vistronica.com/domotica/camara-usb-hd-720p-detail.html>. [Último acceso: 30 mayo 2019].
- [43] Arkray, «Arkray,» [En línea]. Available: [http://www.arkraylatam.com/spanish/products/laboratory/test\\_strips/aution\\_sticks\\_10ea.html](http://www.arkraylatam.com/spanish/products/laboratory/test_strips/aution_sticks_10ea.html). [Último acceso: 30 mayo 2019].
- [44] Maker, «Maker,» [En línea]. Available: [https://somosmaker.com/producto/pla\\_blanco/](https://somosmaker.com/producto/pla_blanco/). [Último acceso: 30 mayo 2019].
- [45] «Tiras de Iluminación,» 22 febrero 2013. [En línea]. Available: <https://tiraslediluminacion.com.mx/blog/noticias/que-son-las-tiras-led-y-como-funcionan/>. [Último acceso: 30 mayo 2019].
- [46] M. G. P. A. C. C. G. E. N. F. P., «Diagnóstico Clínico de la Hematuria Vesical Enzoótica Bovina por Urianálisis». Perú 11 marzo 2017.
- [47] F. P. V. M. G. C. R. J. F. Sofía Di Chiazza, «Análisis de orina: estandarización y control de calidad». 21 febrero 2014.
- [48] G. F. F. C.-B. A. P. A. R. M. GOMILA MUNOZ ISABEL, «DISPOSITIVO PORTATIL DE ANALISIS DEL PH DE LA ORINA». 8 marzo 2010.
- [49] J. P. A. ROBERT FRANCIS EISELE, « DISPOSITIVO PARA SUJETAR UNA TIRA REACTIVA PARA ANÁLISIS DE LÍQUIDOS». 23 mayo 2018.
- [50] H. I. G. Said David Pertuz Arroyo, «Sistema de adquisición automática de imágenes para microscopio óptico». 30 octubre 2007.
- [51] K. D. Desai, «sistema automatizado para el análisis de orina: un método simple, rentable y confiable para distinguir entre fuentes glomerulares y no glomerulares de hematuria». 25 Diciembre 2001.
- [52] C. d. I. U. G. Mason, «Desarrollan un test para diagnosticar tuberculosis a partir de la orina». 19 Diciembre 2017.
- [53] Nefrotest, «Desarrollo de una aplicación capaz de realizar la lectura de las tiras reactivas». Colombia 2018.

- [54] M. Augstein y S. y. S. R. Riebel, «Dispositivo de diagnóstico rápido con bloqueo mediante tiras reactivas». 13 Octubre 2010.
- [55] G. YOUNG, M. O'CONNELL, I. MCARTHUR, A. MCNEILAGE y N. y. A.-I. M. PHIPPEN, «Tintas reactivas enzimáticas para su uso en tiras reactivas que tiene un código de calibración predeterminado». 29 Junio 2015.
- [56] D. M. Koon-Wah Leong, «Sistema de recipiente para tiras reactivas.». 3 Junio 2002.
- [57] J. y. W. R. E. LOVELL, «Método para dispensar tiras reactivas para diagnóstico». 27 Junio 2014.
- [58] J. y. W. R. E. LOVELL, «Método para dispensar tiras reactivas para diagnóstico». 27 Junio 2014.
- [59] D. M. Koon-Wah Leong, «Sistema de recipiente para tiras reactivas.». 3 Junio 2002.
- [60] H. LEE y M. A. y. H. H. Y. DINEVA, «Interacciones de unión mejorada en ensayos con tiras reactivas.». 20 Enero 2012.
- [61] K. CLAUSEN, «configuración de un dispositivo de tira reactiva seca y procedimiento para determinar un analítico en una muestra utilizando dicho dispositivo de tira reactiva seca». 2012 Junio 2012.
- [62] V. y. R. S. S. QUIRELL JOSE, «Procedimiento y sistema de medición de una tira reactiva». 19 Abril 2013.
- [63] A. P. Phelan, «Disposición óptica para dispositivo de lectura de análisis». 13 Julio 2009.
- [64] J. MONDRO, «Tira reactiva de diagnóstico que tiene características de transporte de fluido». 14 Junio 2017.
- [65] J. CREMINS, «Método y composición para teñir y procesar una muestra de orina». 12 Marzo 2018.
- [66] D. Hessels, G. Verhaegh y J. A. y. W. A. J. Schalken, «Razones de arnm en sedimentos urinarios y/o orina como pronostico y/o marcador para el tratamiento y el diagnóstico de cáncer de prostata». 4 Junio 2010.
- [67] A. BERGMANN, «Método para diagnosticar o monitorizar la función renal o diagnosticar la disfunción renal». 4 Julio 2018.
- [68] M. Peña Cabrera, I. López Juárez, H. Gómez N., R. Osorio C. y O. Sergiyenko.Mexico 2009.

- [69] M. Peña Cabrera, I. López Juárez, H. Gómez N., R. Osorio C. y O. Sergiyenko, «Automatización del proceso de ensamble utilizando visión artificial». Mexico 2009.
- [70] W. E. H. R. H. G. E. R. David Hough, «Aparato espectrofotométrico con detección de tiras reactivas.». 1999.
- [71] I. Willis E. Howard, «Sistema de reconocimiento óptico de códigos sobre una tira de pruebas de diagnóstico.». 16 Noviembre 2006.
- [72] Y. R. K. R. W. L. P. E. L. J. P. S. Vernon L. Chupp, «Procedimiento y aparato para la realizacion de analisis automatizados.». 1 junio 2006.
- [73] N. A. S. T. F. R. K. R. P. D. W. Raghbir Singh Bhullar, «Tira reactiva con cámara de recepción de muestra ensanchada». 9 Diciembre 2018.
- [74] J. A. S. G. V. A. J. W. Daphne Hessels, «Razones de arnm en sedimentos urinarios y/o orina como pronostico y/o marcador para el tratamiento y el diagnóstico de cáncer de próstata.». 4 Junio 2010.
- [75] «INNOVAR TECNOLOGÍA BIOMÉDICA S.A.S.,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.innovar.com.co/shop/category/laboratorio-centrifugas-34>. [Último acceso: 25 05 2019].
- [76] E. Universal, «El Botiquín.mx,» 6 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.elbotiquin.mx/medicina-general/el-color-de-tu-pipi-te-dira-si-debes-ir-al-medico>. [Último acceso: 25 Mayo 2019].
- [77] M. E. Cancino, «Visita y Salud,» [En línea]. Available: <http://tusanascondios.blogspot.com/2015/10/que-significado-tiene-el-color-de-mi.html>. [Último acceso: 25 Mayo 2019].
- [78] «Probak BC,» [En línea]. Available: <https://www.probakbc.com/producto/frasco-esteril-para-colectar-muestra-de-orina/>. [Último acceso: 25 Mayo 2019].
- [79] D. Deb y N. L. Brahmbhatt, Review of yield increase of solar panels through soiling prevention, and a proposed water-free automated cleaning solution, Guarajat, India: Board, 2018.
- [80] M. Anderson, A. Grandy, J. Hastie, A. Sweezey, R. Ranky, C. Mavroidis y Y. Markopoulos, «ROBOTIC DEVICE FOR CLEANING PHOTOVOLTAIC PANEL ARRAYS,» de *Conferencia internacional sobre robots trepadores y andantes (CLAWAR 2009)*, 2009.

## ANEXOS

En esta apartado se anexan las imágenes de las pruebas de esfuerzo que se le realizaron a las piezas que previamente se iban a imprimir, así mismo imágenes que pruebas en el predio establecido para estas.

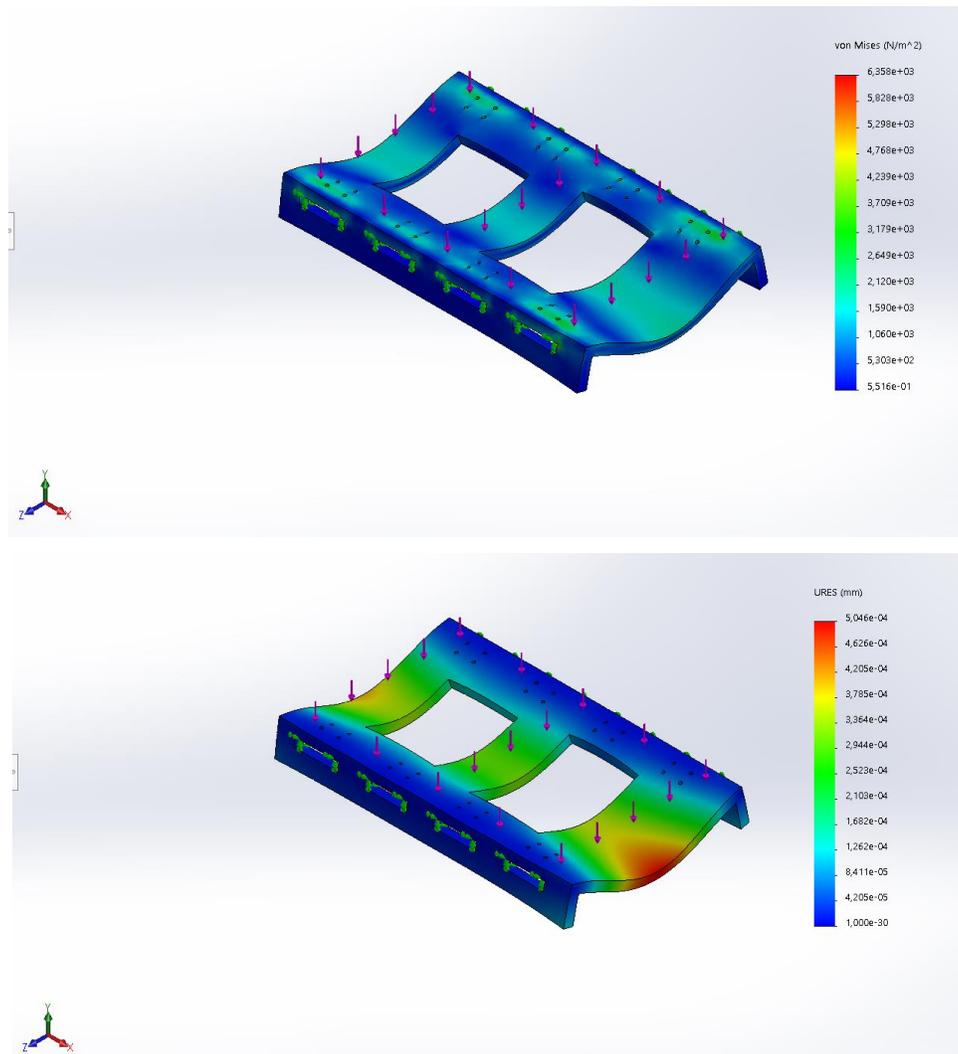


Figura 34. Prueba de esfuerzo tapa superior

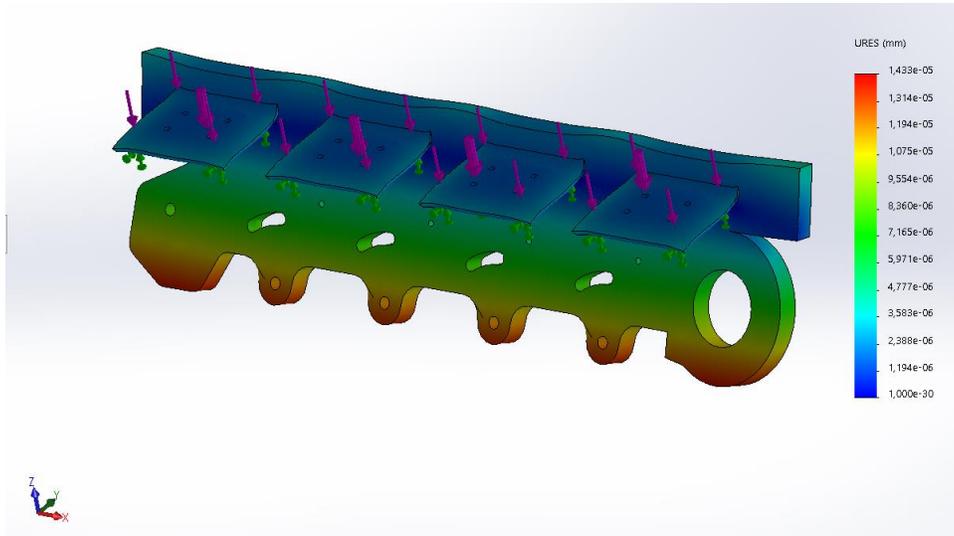


Figura 35. Prueba de esfuerzo lateral

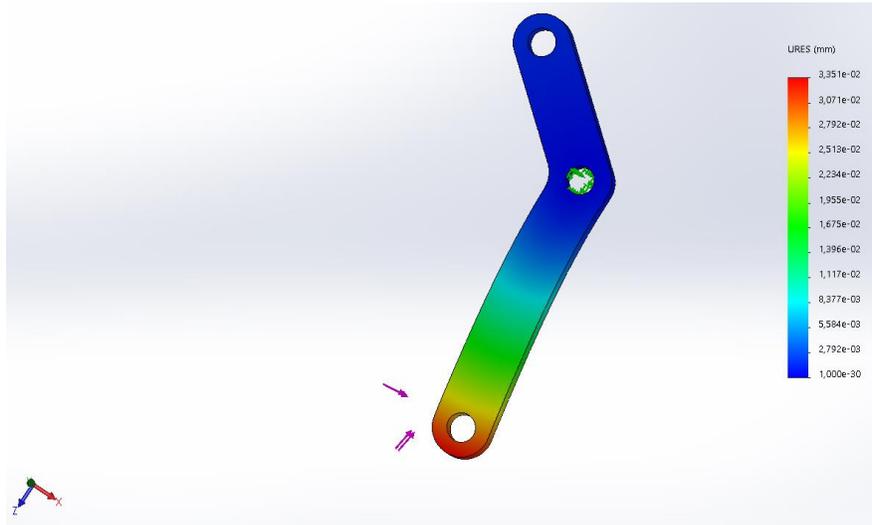
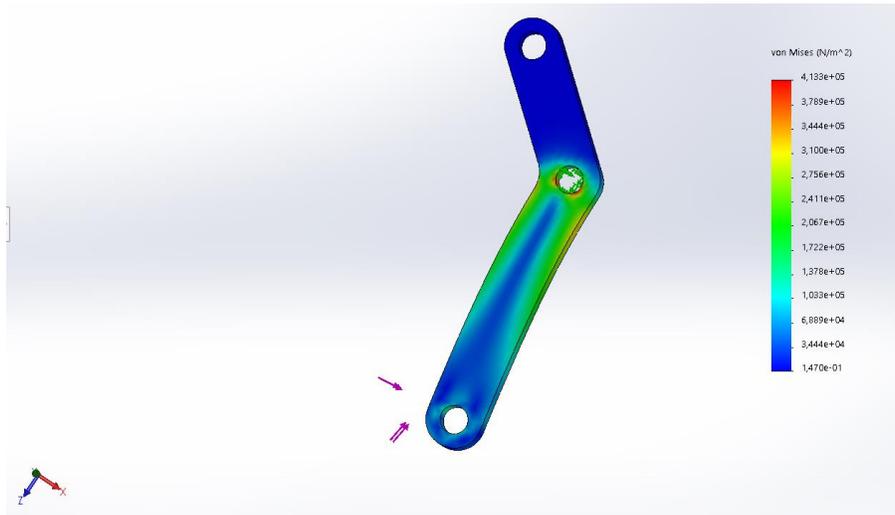


Figura 36. Prueba de esfuerzo

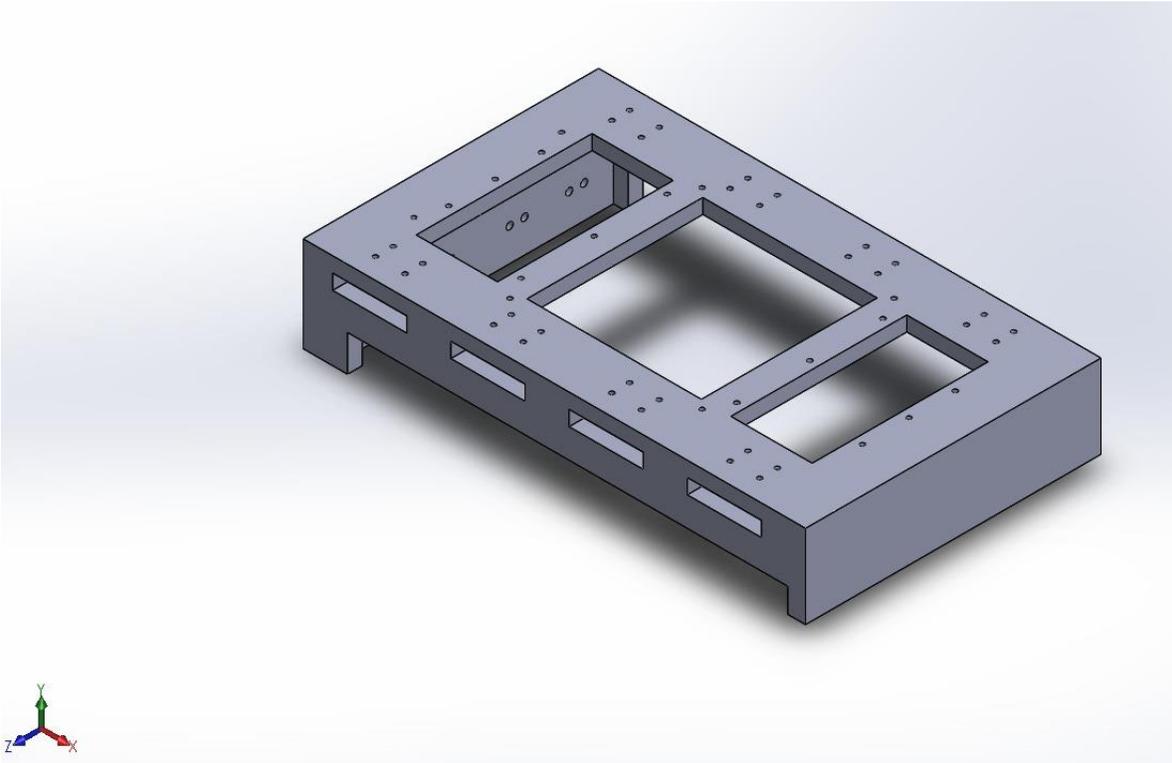


Figura 37. Tapa superior

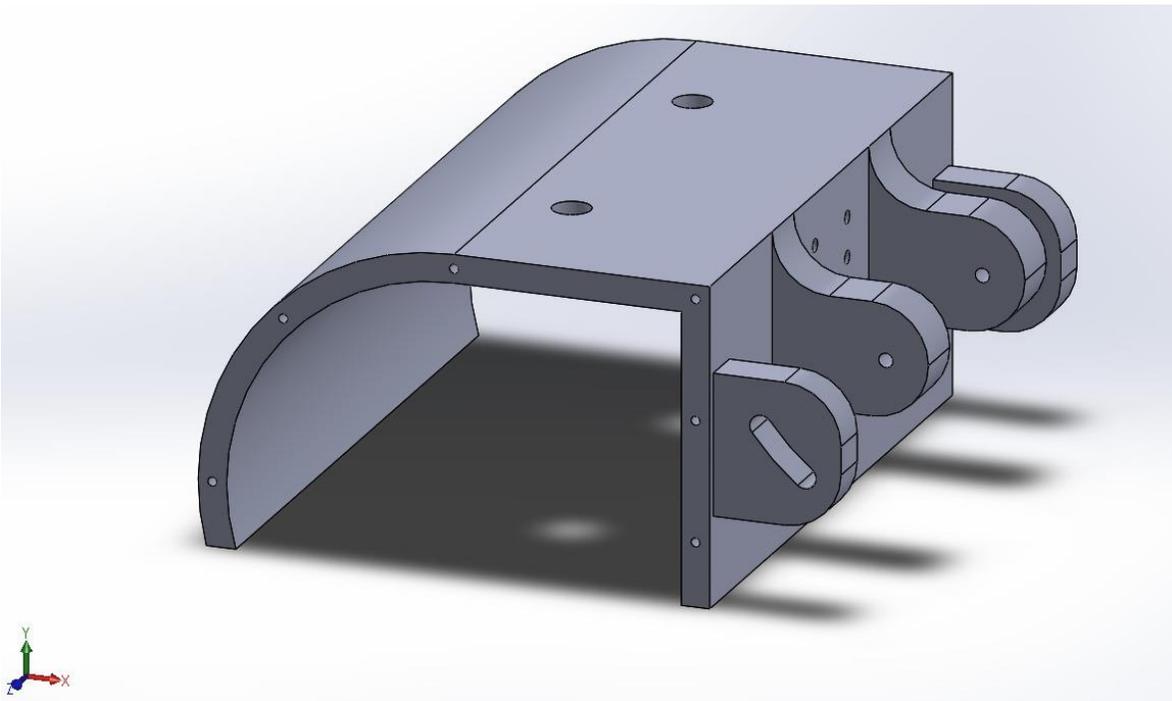


Figura 38. Carcasa rodillo

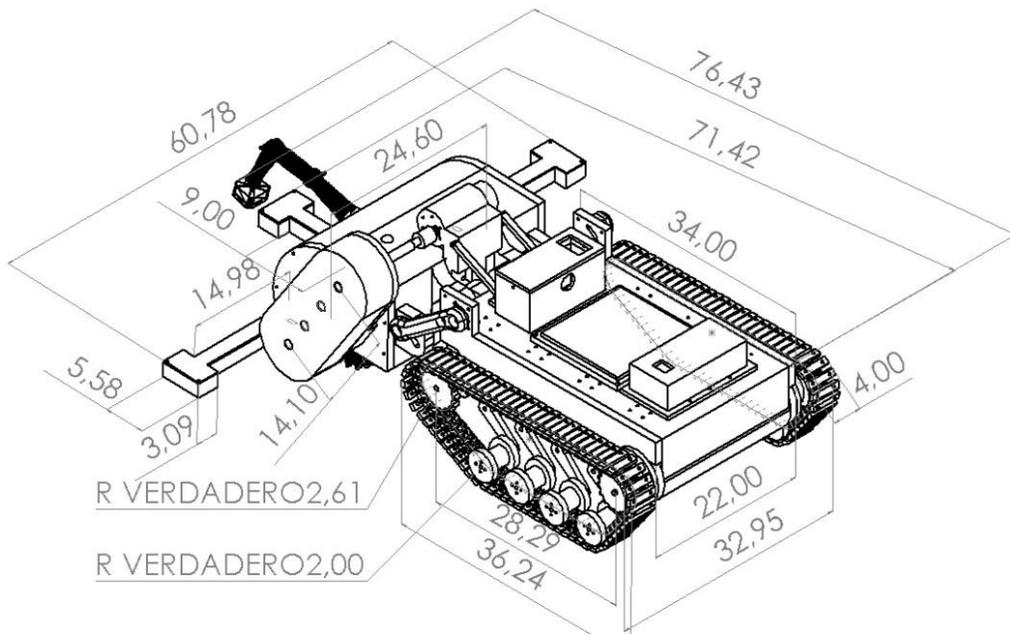


Figura 39. Plano acotado dispositivo final vista isométrica trasera

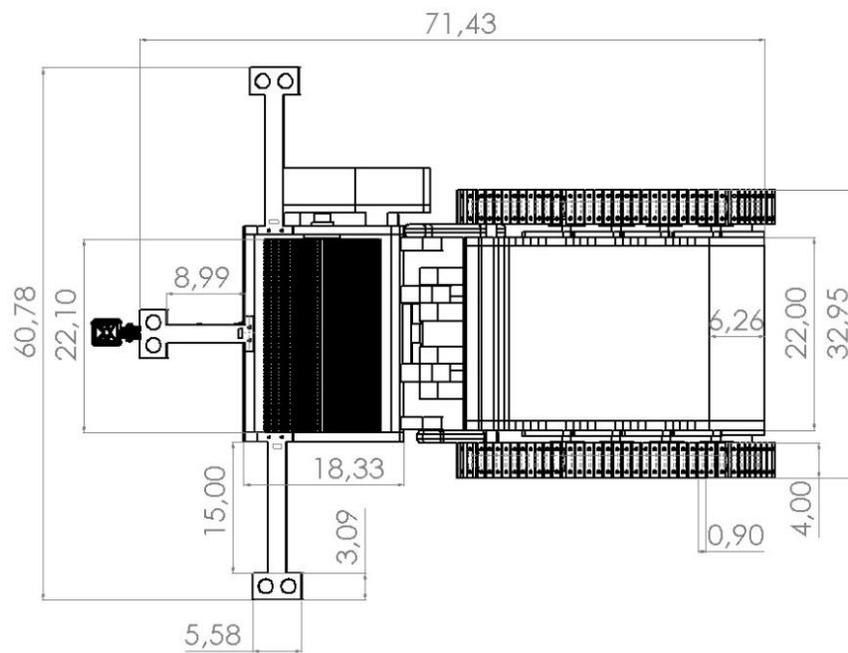


Figura 40. Plano acotado dispositivo final vista inferior

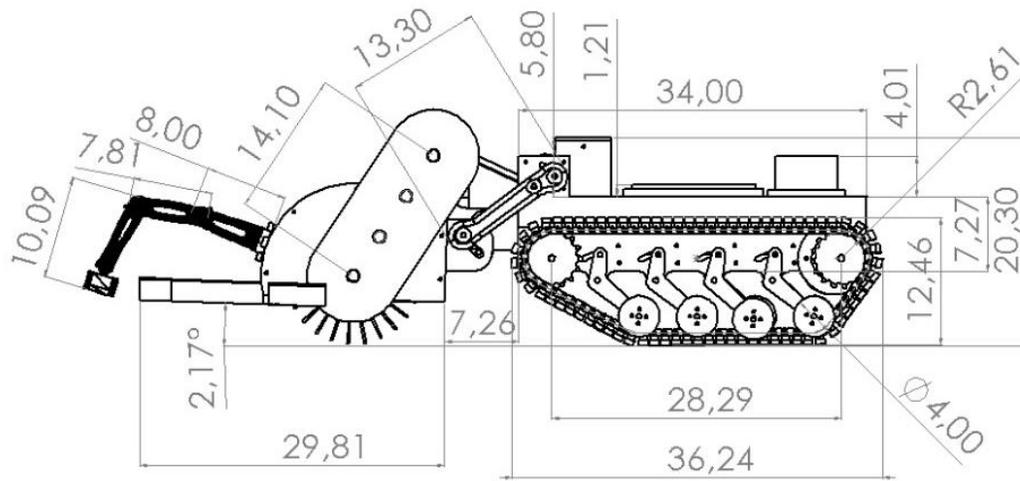


Figura 41. Plano acotado dispositivo final vista lateral izquierda

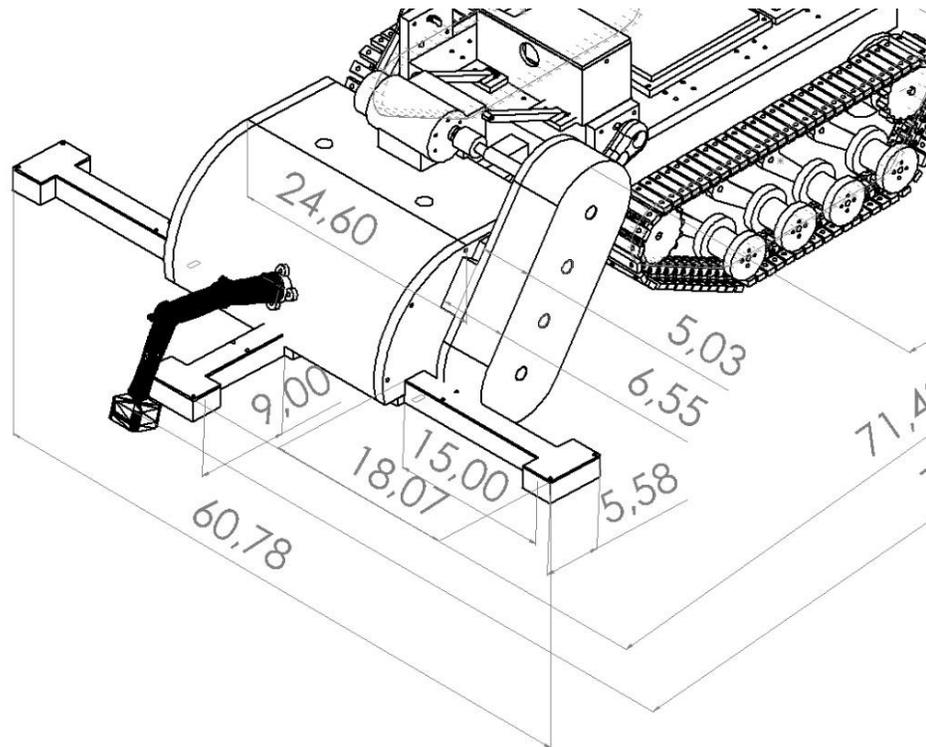


Figura 42. Plano acotado dispositivo final, centrado en uniones de la carcasa rodillo