

**PANELCLEAN(MA). ROBOT AUTÓNOMO LIMPIADOR DE
PANELES FOTOVOLTAICOS
PANELCLEAN(MA). AUTONOMOUS PHOTOVOLTAIC PANEL CLEANER ROBOT**

Miguel Ángel Zayas Barbán

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7484-1371>

Grado científico, título académico, categoría docente y/o investigativa: Ingeniero en Automática

Centro de trabajo o estudio: CEDAI Las Tunas

Ocupación laboral: Especialista en Automática

Cargo: Especialista en TAEC

Dirección postal: Luis Velázquez, #6 entre Guillermo Tejas y Aquiles Espinosa, Bonachea, Las Tunas, CP: 75500.

Correo electrónico: mzayas250@gmail.com

RESUMEN

Con el auge actual del empleo de las energías renovables en aras de reducir la emisión de contaminantes a la atmósfera por el uso de combustibles fósiles se maneja el aprovechamiento de la luz solar con el empleo de paneles fotovoltaicos. Entonces, se hace necesario una serie de condiciones óptimas en estos para lograr obtener una generación máxima con calidad.

Una de estas condiciones es mantener limpia la superficie de los mismos para que se obtenga una generación eléctrica favorable. Esto constituye una problemática actualmente en nuestro país puesto que la tarea de limpieza se realiza de forma manual, cuestión que alarga este proceso de limpieza; aún más si se trata de todo un extenso campo de paneles fotovoltaicos.

Para dar solución a esta problemática se emplea una metodología de desarrollo de sistemas, la cual proporciona un marco estructurado para el análisis, diseño, implementación y evaluación del sistema que se desarrolla.

Con el análisis de la problemática y el empleo de la metodología de desarrollo de sistemas, se brinda solución mediante el presente proyecto, que trata sobre el diseño e implementación de un robot autónomo para la limpieza de los paneles fotovoltaicos. El mismo consta de los componentes necesarios para garantizar la óptima calidad en la limpieza de los paneles solares y brinda, además, datos relevantes sobre los valores de temperatura, humedad e intensidad luminosa.

Se trata de un equipo que garantiza ahorro de tiempo, recurso humano y energía.

ABSTRACT

With the current boom in the use of renewable energies in order to reduce the emission of pollutants into the atmosphere due to the use of fossil fuels, the use of sunlight is managed with the use of photovoltaic panels. Therefore, a series of optimal conditions are necessary in order to obtain maximum generation with quality.

One of these conditions is to keep their surface clean so that favorable electricity generation is obtained. This is currently a problem in our country since the cleaning task is carried out manually, an issue that lengthens this cleaning process; even more so if it involves an entire extensive field of photovoltaic panels.

To solve this problem, a systems development methodology is used, which provides a structured framework for the analysis, design, implementation and evaluation of the system that is developed.

With the analysis of the problem and the use of the systems development methodology, a solution is provided through this project, which deals with the design and implementation of an autonomous robot for cleaning photovoltaic panels. It consists of the necessary components to guarantee optimal quality in the cleaning of the solar panels and also provides relevant data on the values of temperature, humidity and light intensity.

It is a piece of equipment that guarantees savings in time, human resources and energy.

INTRODUCCIÓN

En la era moderna, donde la conciencia ambiental y la necesidad de reducir las emisiones de gases contaminantes se vuelven imperativas, las energías renovables emergen como un faro de esperanza en la búsqueda de un futuro más sostenible [1]. Entre estas alternativas, la energía solar destaca como una fuente inagotable y limpia que ha ganado terreno significativo en la matriz energética global.

Para garantizar la eficacia y la calidad de esta generación eléctrica, es esencial mantener las superficies de los paneles limpias y libres de obstrucciones ya que, por ejemplo, la acumulación de polvo en la superficie de un módulo fotovoltaico disminuye la radiación que llega a la celda solar y produce pérdidas en la potencia generada [4][5].

Los robots móviles surgen como una alternativa para la limpieza y desinfección de diferentes espacios [2]. Existen diferentes tipos: a) con o sin rozamiento; b) con agua y sin agua; c) manuales y mecanizados [3]. Los sistemas de limpieza manual se caracterizan por el uso de pértigas y sistemas de agua a presión, sistemas rodillos autopropulsados, entre otros. Estos sistemas implican la contratación de más de dos personas para su funcionamiento que tengan suficiente formación y/o experiencia respecto a su manejo. Por esta razón, a largo plazo, es una desventaja para el empresario y a pesar de que los robots limpiadores de paneles solares llegan a ser costosos, tienden a poseer varias ventajas, especialmente relacionadas con el tiempo de limpieza y reducción del consumo de agua, generando así a futuro un mayor impacto en la industria.

Este trabajo tiene como objetivo principal el impulso de una propuesta de desarrollo de un dispositivo para la limpieza de paneles solares fotovoltaicos de manera automática.

El robot autónomo propuesto en este trabajo está equipado con una serie de componentes y sensores diseñados para garantizar una limpieza meticulosa y eficiente de los paneles solares. Además de su capacidad para realizar esta tarea de manera automática. El dispositivo también recopila datos ambientales relevantes, como temperatura, humedad e intensidad luminosa, proporcionando así una visión integral del entorno en el que operan los paneles.

MATERIALES Y MÉTODOS

El propósito de este trabajo es analizar las soluciones presentadas por otros autores en relación a garantizar la limpieza de los paneles solares mediante el empleo de robots y soluciones de automatización en general, realizar una caracterización de la solución brindada y el análisis de la puesta en marcha de un prototipo a escala.

1. Análisis de la aplicación de la robótica en la limpieza de los paneles fotovoltaicos

Partiendo de la capacidad de los paneles solares de generar energía eléctrica; es de gran importancia la limpieza regular de la superficie de estos paneles, esto trayendo consigo una serie de beneficios [4], entre ellos:

1. Aumento de la eficiencia: Al limpiar los paneles, se elimina esta suciedad y se restaura su capacidad de generar electricidad de manera eficiente, lo que puede resultar en un aumento del rendimiento y la producción de energía.
2. Mejor retorno de inversión: Al optimizar la eficiencia de los paneles solares mediante la limpieza regular, se maximiza el retorno de la inversión realizada en la instalación fotovoltaica. Una mayor producción de energía significa mayores ahorros en las facturas de electricidad o una mayor generación de ingresos si se vende el exceso de energía a la red.
3. Mantenimiento y prolongación de la vida útil: Al eliminar la acumulación de suciedad y contaminantes, se reduce el riesgo de daños a largo plazo en los paneles fotovoltaicos. La limpieza adecuada contribuye a mantener los paneles en buenas condiciones, lo que puede prolongar su vida útil y evitar posibles problemas de funcionamiento o degradación prematura.
4. Mejor respuesta a condiciones climáticas adversas: En áreas con climas áridos, polvorientos o con altos niveles de contaminación, la limpieza regular de los paneles solares es especialmente importante. La suciedad acumulada puede afectar negativamente el rendimiento de los paneles durante períodos de baja radiación solar.
5. Sostenibilidad y cuidado del medio ambiente: Al mantener los paneles solares limpios y eficientes, se promueve una producción de energía más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Con esta premisa, varios autores a nivel internacional han desarrollado soluciones de automatización en la esfera de la robótica y la automática.

Tal es el caso de la solución brindada por Leal Ramírez y otros [6], en la que desarrollan un robot para la limpieza de los paneles solares con esteras y que incorpora un sistema de navegación por planeación de trayectorias.

Así también está el diseño de un prototipo limpiador automatizado para paneles solares con dimensiones de 160 x 90 x 4 cm, por Carrasco Delgado, J. E y otros [7]. El diseño presentado por estos autores garantiza una limpieza óptima de estos paneles solares, con la desventaja de que solo está diseñado para paneles con dimensiones específicas.

La empresa japonesa a Miraikikai, trabajó con un diseño bastante estable durante mucho tiempo, finalmente salió al mercado en enero de 2017. El diseño en cuestión es un robot autónomo con un peso de 28 Kg y que es capaz de trabajar bajo una inclinación no mayor de 25° [8]. Garantizan la limpieza, a través de dos rodillos de rozamiento y sin agua, además de aire, durante 20 años sin afectar a la placa solar. Han conseguido el premio “good design award 2017” de diseño [9].

Otro de los diseños más interesantes proviene de la empresa hyCleaner. A partir de su experiencia en el sector de la limpieza automática, crearon hyCleaner black solar. Este diseño incluye varias características que no incluye el anterior; emplea agua para la limpieza, lo que mejora la limpieza del panel [10].

En nuestro país no existen ejemplos de diseños o implementación de este tipo de solución de auto-matización para la limpieza de los paneles fotovoltaicos, por ende, este proceso de limpieza se ha estado realizando de forma manual.

La propuesta presentada en este trabajo posee, a diferencia de los demás ejemplos de robot autónomos, la capacidad de brindar los valores de temperatura, humedad e intensidad luminosa, todos en tiempo real.

Esta propuesta de desarrollo posee una gran importancia, más ahora en estos momentos en q se hace más inca pie en la necesidad del empleo de las energías limpias y la escasez de combustibles fósiles.

RESULTADOS

1- Propuesta de desarrollo PanelClean(MA). Limpieza de manera automática

Con el análisis de las soluciones planteadas por los autores y los métodos empleados se define esta propuesta de desarrollo de un prototipo de robot autónomo para la limpieza de los paneles fotovoltaicos.

Este PanelClean(MA) fue pensado sobre la base de suplir las necesidades de limpieza de los paneles fotovoltaicos de manera automática, con el empleo mínimo del esfuerzo físico, mantenimiento mínimo y garantizando un resultado óptimo y, novedosamente, a diferencia de las otras soluciones planteadas, brindando valores de temperatura, humedad e intensidad luminosa.

Para la realización del diseño del mismo se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- 1- Diseño robusto: El robot debe estar diseñado para soportar las condiciones ambientales y la exposición a la radiación so-lar. Debe ser resistente al agua, polvo y otros elementos presentes en el entorno de los paneles solares.
- 2- Sistema de navegación y localización: El robot debe contar con sistemas de navegación y localización precisos para mover-se de manera eficiente a lo largo de los paneles solares. Esto se logra mediante el uso de sensores.
- 3- Sistema de limpieza adecuado: El robot debe estar equipado con sistemas de limpieza que sean efectivos para eliminar la suciedad de los paneles solares sin dañar-los. Esto podría incluir cepillos suaves, paños o sistemas de rociado de agua.
- 4- Energía y autonomía: El robot debe tener suficiente capacidad de energía para realizar la limpieza de los paneles solares sin interrupciones frecuentes. Puede ser alimentado por baterías recargables o sistemas de energía solar integrados. Además, debe contar con una autonomía adecuada para completar las tareas de limpieza en un período de tiempo reducido.
- 5- Seguridad: El robot debe estar equipado con características de seguridad para proteger tanto a los paneles solares como a los operadores. Esto puede incluir sensores de detección de obstáculos, sistemas de parada de emergencia y protecciones para evitar daños accidentales.
- 6- Compatibilidad y adaptabilidad: El robot debe ser compatible con diferentes tipos de paneles solares y sistemas de montaje. Debe ser capaz de adaptarse a diferentes tamaños, formas y configuraciones de paneles solares sin problemas.
- 7- Supervisión y control: El robot debe contar con sistemas de supervisión y control para monitorear su funcionamiento, recopilar da-tos y realizar ajustes si es necesario. Esto puede incluir la capacidad de realizar diagnósticos, detectar fallas y comunicarse con sistemas de control centralizados.
- 8- Mantenimiento y facilidad de uso: El diseño del robot debe permitir un mantenimiento sencillo y accesible. Además, debe ser fácil de operar y programar, incluso para usuarios no expertos.

Para este diseño se hizo necesario realizar una planificación cuidadosa y considerar los requisitos específicos del entorno y las necesidades de limpieza para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del robot.

2- Descripción del sistema

2.1- Principales componentes

Los principales componentes que deben formar parte de este robot limpiador de paneles solares son:

- 1- Chasis: La estructura o chasis del robot proporciona el soporte y la base para los demás componentes. Debe ser lo suficientemente resistente para soportar el peso del robot y proteger los componentes internos.
- 2- Sistema de navegación: Este incluye sensores infrarrojos que permiten al robot detectar espacios vacíos entre paneles, finales de carrera y evitar obstáculos durante su movimiento a lo largo de los paneles solares.
- 3- Unidades de limpieza: Incluye cepillos suaves y sistemas de rociado de agua para eliminar la suciedad y los contaminantes de los paneles solares.
- 4- Sistema de suministro de agua: Este sistema proporciona agua para la limpieza de los paneles solares. Incluye tanque de agua, bomba, mangueras y boquillas de rociado.
- 5- Sistema de energía: Incluye baterías recargables, paneles solares integrados para alimentar el funcionamiento del robot.
- 6- Actuadores: Estos permiten al robot realizar movimientos y acciones específicas. Incluye motores, para controlar el movimiento del brazo de limpieza y los movimientos de desplazamiento.
- 7- Unidad de control: Está constituido por una placa de control, un microcontrolador, en este caso Arduino Mega 2560.
- 8- Sensores adicionales: Se incluyen otros sensores para monitorear las condiciones ambientales, como sensor de luz, temperatura y humedad, así como receptor infrarrojo para control de operaciones mediante control remoto.

Acorde a las características que debe cumplir este robot se elabora el esbozo del mismo (Figura 1).

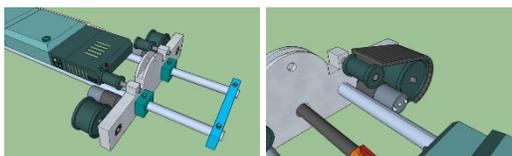


Figura. 1: Segmentos de diseño

Con el empleo de este diseño y el análisis de las características se elabora una propuesta para desarrollo.

2.2- Características

Este robot limpiador debe poseer las características idóneas para efectuar una correcta limpieza de los paneles solares.

A continuación, se listan las principales características que debe presentar este dispositivo:

- 1- Una placa de control de software libre, Arduino Mega 2560.

- 2- Controladores de motores de paso y motores de corriente directa.
- 3- Brinda la posibilidad de suministro de agua a través de tanque incorporado y distribución de agua o el suministro directo mediante mangueras.
- 4- Es ajustable a las dimensiones del panel.
- 5- Incorpora tracción por ruedas.
- 6- Posee almacenamiento de energía en baterías de ion-litio.
- 7- Posee la posibilidad de recarga de baterías por celdas solares.
- 8- Ostenta la capacidad de medir las métricas medioambientales, en este caso temperatura, humedad relativa e intensidad luminosa.
- 9- Incorpora receptor infrarrojo para establecer las operaciones mediante control remoto.
- 10- Indicadores de error y eventos.
- 11- Display incorporado para visualización de las operaciones y configuraciones.

2.3- Esquemático de conexiones

En la Figura 2 se puede observar el esquemático de conexiones que compone el bloque de control que debe poseer el dispositivo teniendo en cuenta los sensores a emplear y componentes de acondicionamiento en general.

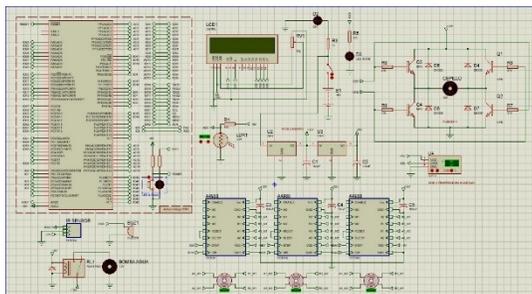


Figura. 2: Esquemático

2.4- Controlador

Se propone, como propuesta de controlador, emplear una placa Arduino Mega 2560 (Figura 3). Esta placa destaca por la disponibilidad de pines para la conexión de los sensores, actuadores, drivers y dispositivos de visualización como pantallas LCD y, además, permite la expansión del proyecto, en caso de necesitar incorporar más componentes.

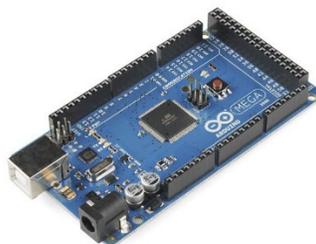


Figura. 3: Arduino Mega 2560

El Arduino Mega 2560 es una placa de desarrollo de microcontrolador de código abierto basada en el microcontrolador ATmega2560. Es una versión ampliada y mejorada del Arduino Uno, con más pines de entrada/salida, memoria y capacidades de procesamiento.

Especificaciones:

- 1- Microcontrolador: Utiliza el microcontrolador ATmega2560 de Atmel, que cuenta con una arquitectura AVR de 8 bits y una frecuencia de reloj de 16 MHz. Tiene una capacidad de memoria flash de 256 KB, RAM de 8 KB y EEPROM de 4 KB, lo que lo hace adecuado para proyectos más grandes y complejos.
- 2- Pines de Entrada/Salida (I/O): El Arduino Mega 2560 cuenta con un total de 54 pines digitales, de los cuales 14 pueden ser utilizados como salidas PWM (Modulación de Ancho de Pulso) y 16 como entradas analógicas. Esto permite una mayor flexibilidad en la conexión de sensores, actuadores y otros dispositivos periféricos.
- 3- Alimentación: Puede ser alimentado a través del puerto USB, una fuente de alimentación externa o una batería, lo que lo hace versátil para distintas aplicaciones y entornos de trabajo.

2.5- Sensores

La secuencia de sensores a incorporar al sistema es selecta, puesto que se escogieron los sensores teniendo en cuenta varios elementos:

- Variable a medir
- Rango de medición
- Voltaje de alimentación
- Corriente de alimentación
- Precio

En la siguiente tabla se relaciona la propuesta de sensor a emplear según la variable a medir:

Tabla I: Relación sensores

No	Variable	Sensor
1	Temperatura	DHT11
2	Humedad	
3	Intensidad luminosa	LDR

Estos sensores estarán todos conectados por medio de cables hacia la placa controladora y dispuestos en zonas específicas acorde a los requerimientos y necesidades.

Sensor de temperatura y humedad DHT11

El DHT11 (Figura 4) es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos.



Figura. 4: Sensor DHT11

Este sensor utiliza tecnología exclusiva de recolección de señales digitales y tecnología de detección de humedad, lo que garantiza su confiabilidad y estabilidad.

Sensor LDR

Una fotorresistencia o LDR (Light Depending Resistor, o resistencia dependiente de la luz) (Figura 5) es un componente foto electrónico cuya resistencia varía en función de la luz que incide en él. Esta resistencia es muy baja, de unos pocos Ω s con una luz intensa incide en él y va creciendo fuertemente a medida que esa luz decrece.



Figura. 5: Sensor LDR

Este sensor es empleado para dar una idea de la incidencia de los rayos del sol durante el proceso de limpieza de los paneles solares, dando paso a la posibilidad de establecer comparaciones luz-generación.

Receptor infrarrojo

El receptor de infrarrojos (Figura 6) se utiliza para recibir señales infrarrojas incluyendo la detección de señales procedentes de un control remoto.



Figura. 6: Receptor infrarrojo

Este sensor brindar la posibilidad de controlar las operaciones del robot y las configuraciones mediante el empleo de un mando a control remoto.

Es alimentado con los 5V del Arduino. Su salida debe ser decodificada, en este caso en valores hexadecimales para ser usados en la lógica de programación.

2.6- Actuadores, drivers y visualización

Driver A4988 controlador de motores de paso

El A4988 (Figura 7) es un popular controlador de motores paso a paso utilizado en una variedad de aplicaciones, desde impresoras 3D hasta máquinas CNC y robótica.

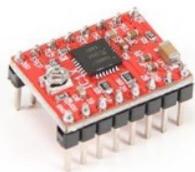


Figura. 7: Driver A4988

Este debe ser empleado para controlar los 3 moto-res de paso que componen el movimiento de traslación y el movimiento del brazo del cepillo en el diseño propuesto.

Motor de paso 28byj-48

El motor de paso unipolar 28byj-48 (Figura 8) es el recomendado a emplear para proveer de movimiento al robot y para el accionamiento del brazo del cepillo.



Figura. 8: Motor de paso 28byj-48

Este motor es alimentado con 12V, y controlado por los drivers a4988, un driver para cada motor (3 en total).

Motor DC

Para el movimiento del cepillo encargado de limpiar los paneles se sugiere un motor DC (Figura 9).



Figura. 9: Motor DC

A este motor se le acoplan poleas para hacer girar el sistema del cepillo.

Su encendido y sentido de rotación son controla-dos por el microcontrolador a través de un puente en H (Figura 10), el mismo garantiza poder alimentar al motor con un voltaje independiente del microcontrolador protegiéndolo contra sobrecargas de corriente.

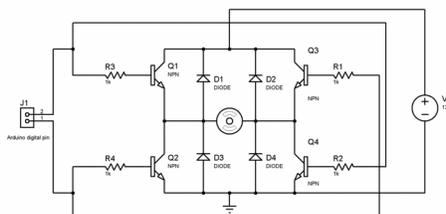


Figura. 10: Esquemático puente H

Zumbador o buzzer

Un buzzer o zumbador (Figura 11) es un dispositivo que es capaz de enviar avisos a través del sonido. Puede ser mecánico, electromecánico o piezoeléctrico.



Figura. 11: Zumbador

Este es empleado con el fin de emitir sonidos de error y sonidos de interacción con las opciones del menú de configuración del dispositivo.

Bomba de agua

En este diseño se debe emplear una bomba con la capacidad de suministrar e impulsar el agua hacia las boquillas del cepillo.



Figura. 12: Bomba de agua

Pantalla LCD 16x2

La pantalla LCD 16x2 (Figura 13) es el componente de visualización que debe poseer este robot. En esta se pueden visualizar los valores entregados por los sensores y las opciones que posee el menú de configuraciones.

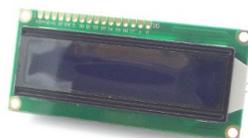


Figura. 13: LCD16x2

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Para tener una idea del coste de fabricación de este robot a nivel de prototipo se efectuó una búsqueda en la página de compra AliExpress (<https://es.aliexpress.com>).

En la siguiente tabla se relacionan los precios de los componentes que forman esta propuesta de desarrollo.

Tabla II: Precios componentes

No.	Nombre	Precio unitario
1	Arduino MEGA 2560	\$7.15
2	Sensor DHT11 (T/H)	\$1.70
3	Sensor LDR	\$0.35
4	Receptor Infrarrojo	\$0.13
5	Driver A4988	\$2.50

6	Motor 28byj-48	\$2.25
7	Motor DC	\$2.05
8	Buzzer	\$0.37
9	Bomba	\$4.03
10	Pantalla LCD 16x2	\$3.08
	TOTAL	\$23.61

CONCLUSIONES

En este trabajo se efectuó un análisis de la importancia de la limpieza de los paneles solares como medida para aumento de la producción de energía limpia. Se propone al robot PanelClean(MA) como solución de innovación en la automatización al proceso de limpieza de estos paneles fotovoltaicos.

Con la implementación de este robot se logran los siguientes aspectos:

- 1- Mejoras en la producción de energía
- 2- Se reduce el costo en mantenimientos
- 3- Se garantiza la protección al panel fotovoltaico
- 4- Evita la exposición innecesaria de personal a riesgos q afecten la integridad física
- 5- Promueve capacitación al personal encargado.
- 6- Ahorro de tiempo de ejecución de la tarea de limpieza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- Velasco, J. G. (2009). Energías renovables. Reverte.
- 2- Soluciones de desinfección con robots móviles equipados con luces UV Disponible en: https://www.interempresas.net/Limpieza_Industrial/Articulos/311790-Solucionesde-desinfeccion-con-robots-moviles-equipados-con-luces-UV.html.
- 3- Bibing.us.es “Análisis de distintas tecnologías de limpieza” [En línea]. Febrero 2021.
- 4- Zorrilla-Casanova J., PiliougineM., Carretero J., Bernaola P., Carpena P., Mora-López L. y Sidrach-de-Cardona M. (2011). Analysis of dust losses in photovoltaic modules. World Renewable Energy Congress 2011 – Sweden.
- 5- Kazem H.A, Khatib T., Sopian K., Buttinger F., Elmenreich W. y Albusaidi A. S. (2013) Effect of Dust Deposition on the Performance of Multi-Crystalline Photovoltaic Modules Based on Experimental Measurements. International Journal of Renewable Energy Research.
- 6- Leal Ramirez, L. S., & Velandia Bejarano, N. S. (2022). Planeación de trayectorias de un Robot para la limpieza de paneles solares fotovoltaicos basado en el método Probabilistic Roadmap (PRM).
- 7- Carrasco Delgado, J. E., & Ramirez Vilchez, M. G. (2020). Diseño de un prototipo limpiador automatizado para paneles solares de dimensiones 160 x 90 x 4 cm.
- 8- Miraikikai, «Miraikikai,» Miraikikai, inc, 24 Marzo 2004. [En línea]. Available: <https://www.miraikikai.jp/>
- 9- I. Miraikikai, «Good Design Award,» Solar Cleaning Robot, Abril 2017. [En línea]. Available: <http://www.gmark.org/award/describe/45470?token=HfSZ1MLjH&locale=en>

- 10- hyCleaner, «hyCleaner Black Solar,» hyCleaner, [En línea]. Available: <https://hycleaner.eu/en/produkte/hycleaner-black-solar/>
- 11- Cobian Lufin, E. A. (2023). Optimización de limpieza de paneles solares en plantas fotovoltaicas.
- 12- Cajas Chicaiza, M. E., & Montaluisa Ipiiales, D. F. (2012). Diseño y Construcción de un Sistema Automático para la Limpieza de Paneles Solares (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2012).
- 13- Roos Muñoz, J. I., & González Torrejón, D. S. (2020). Servicio de limpieza robotizado de paneles solares para plantas fotovoltaicas.
- 14- Zambrano, Y. R. G., Vera, J. A. M., Quezada, F. N. S. S., & Moreira, I. E. S. (2023). SISTEMA AUTÓNOMO DE LIMPIEZA PARA PANELES SOLARES
AUTONOMOUS CLEANING SYSTEM FOR SOLAR PANELS.
- 15- Núñez García, W. B., Calla Durandal, E., & Fernández Fuentes, M. (2021). Desarrollo de un prototipo de limpieza de paneles fotovoltaicos. Acta Nova, 10(2), 147-172.
- 16- Chilig, C., Stalin, C., Quituisaca León, D. A., & Ibarra Jácome, O. A. M. Desarrollo de un prototipo robótico para limpieza de paneles fotovoltaicos en huertas solares.