



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Departamento de ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de:

Ingeniero en Mecatrónica

“Diseño y construcción de un prototipo de robot autónomo para la limpieza de las superficies de paneles solares fotovoltaicos, controlado mediante aplicación móvil”

Autores: Chancusig Llano, Alexander Patricio

Puentes Benalcázar, Dennis Mishell

Director: Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

Latacunga, 2023



CONTENIDO

Antecedentes

Planteamiento del problema

Justificación

Objetivos

Metodología

Diseño, selección e implementación de componentes

Pruebas y resultados

Conclusiones recomendaciones



Planteamiento del Problema

Los paneles solares como cualquier otro sistema requiere mantenimiento, principalmente por el hecho de estar expuestos al medio ambiente ya que esto produce acumulación de polvo o suciedad sobre sus superficies ocasionando pérdida en el rendimiento que afecta a la potencia que estos entregan.



Basado en los antecedentes este prototipo sería el segundo expuesto en Ecuador ya que el primer sistema de limpieza creado se llevó a cabo en el año 2012.



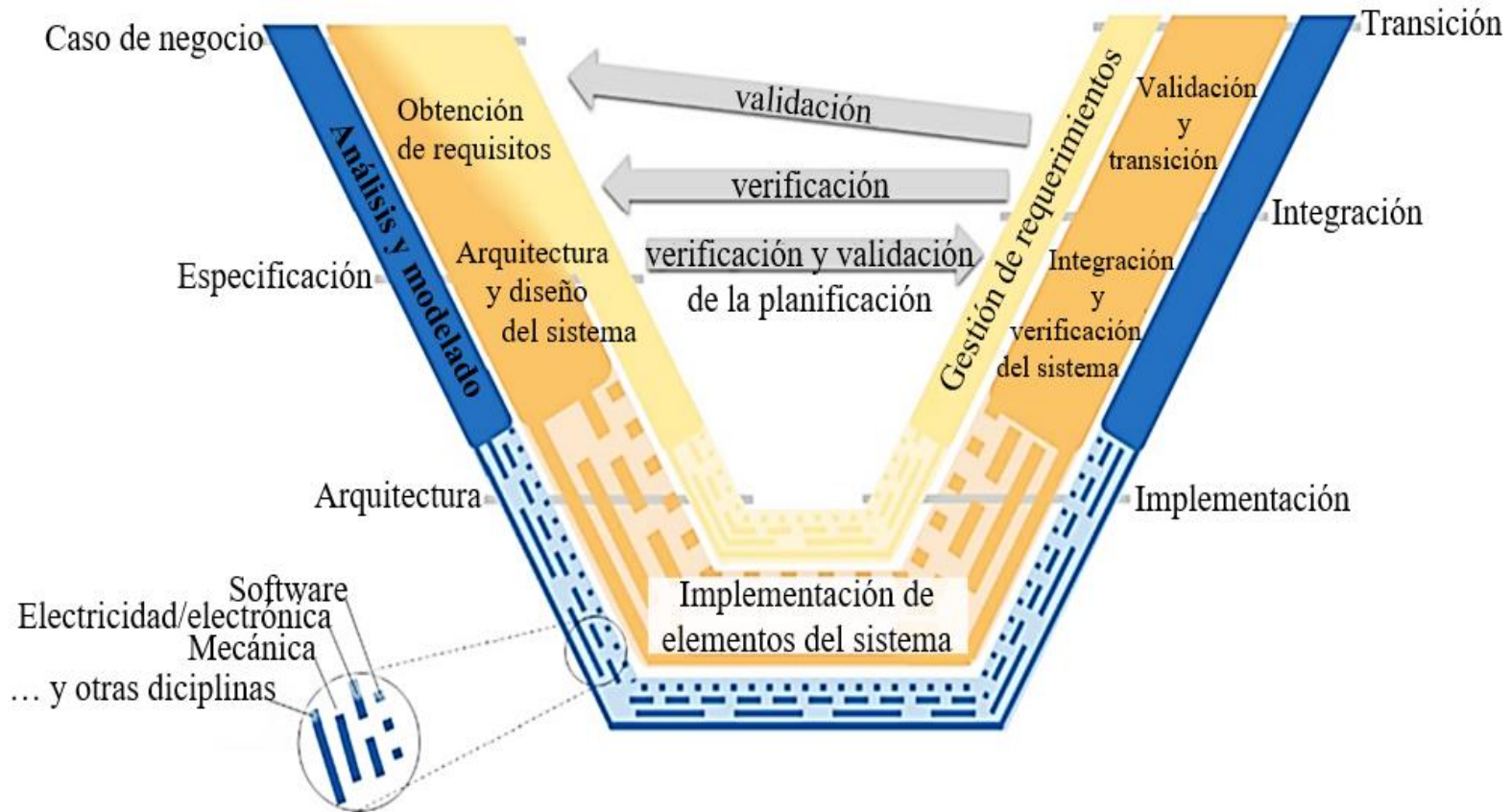
Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo de robot autónomo para la limpieza de las superficies de paneles solares fotovoltaicos, controlado mediante aplicación móvil.

Objetivos específicos

- Diseñar la estructura del prototipo de robot autónomo para la limpieza de las superficies de paneles solares fotovoltaicos mediante diseño CAD.
- Seleccionar componentes y materiales para la construcción del prototipo de robot autónomo para la limpieza de las superficies de paneles solares fotovoltaicos que se puedan adquirir en el mercado local.
- Implementar una aplicación en dispositivo móvil para el manejo del prototipo de robot autónomo para la limpieza de las superficies de paneles solares fotovoltaicos mediante software libre.
- Validar la hipótesis mediante pruebas de funcionamiento del prototipo de robot autónomo para la limpieza de las superficies de paneles solares fotovoltaicos.

Norma VDI 2206

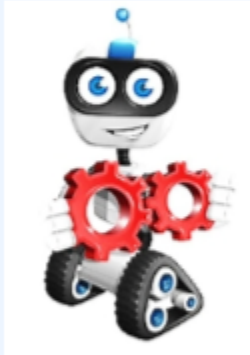


Hito	Especificaciones Técnicas	Porcentaje
1	Eficiencia	18%
2	Peso total	16%
3	Limpieza automática de paneles solares	15%
4	Funcionamiento continuo	7%
5	Velocidad de desplazamiento	6%
6	Dimensionamiento del prototipo	6%
7	Medidas de seguridad	5%
8	Tecnología de comunicación entre operario y el prototipo	5%
9	Tipo de alimentación	5%
10	Ergonomía del diseño	4%
11	Facilidad de operación del prototipo	4%
12	Interfaz gráfica de aplicación móvil	4%
13	Costo de la manufactura	3%
14	Componentes normalizados	2%
15	Estética	1%

Sistema mecatrónico

Prototipo de robot autónomo para la limpieza de las superficies de paneles solares fotovoltaicos

Generación de movimiento



- Actuadores
- Sensores

Proceso de limpieza



- Rodillo de limpieza
- Acción mecánica, química y tiempo

Interfaz de control

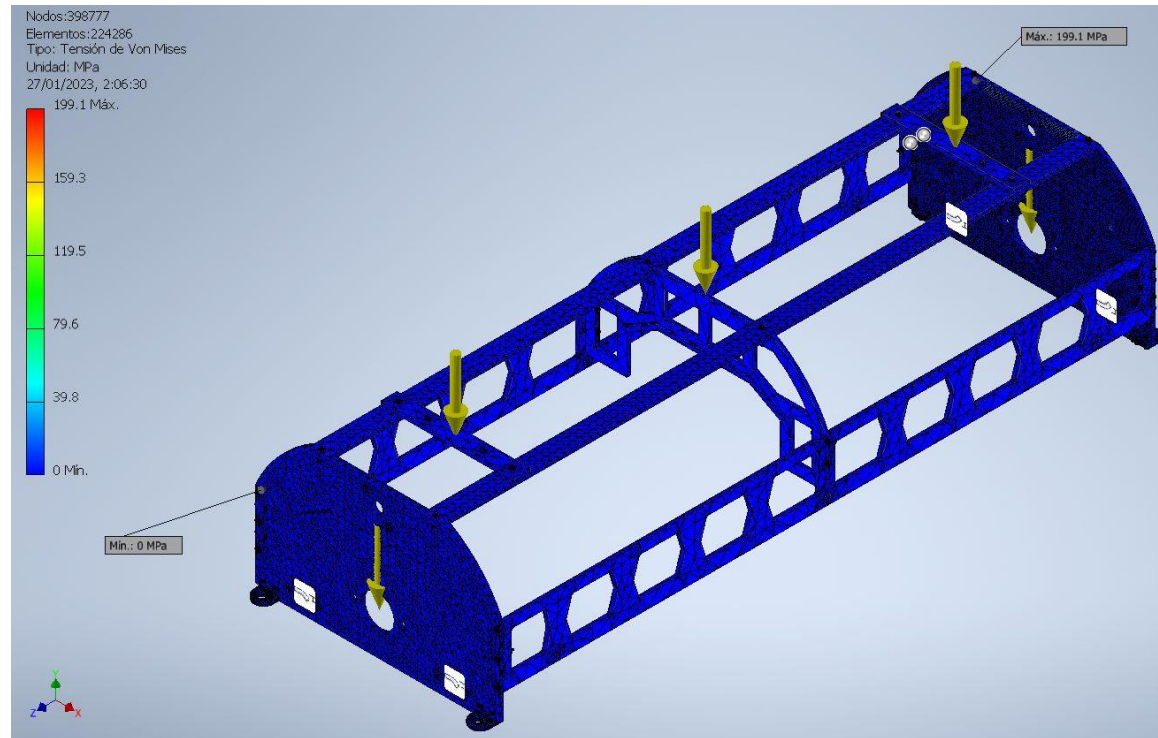


- Dos modos de limpieza
- Conexión inalámbrica
- Paro de emergencia

Sistema Mecatrónico

Diseño de estructura

Esfuerzo normal

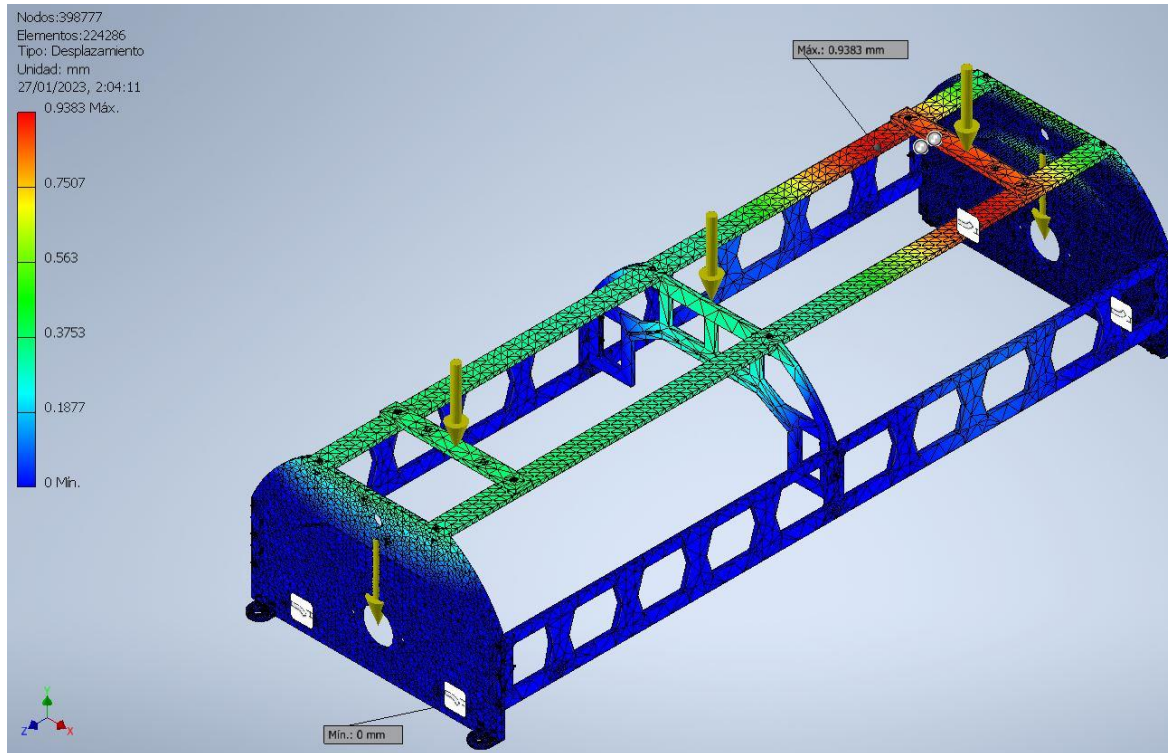


$$\sigma_m < S_y$$

$$199,1 \text{ MPa} < 315 \text{ MPa}$$

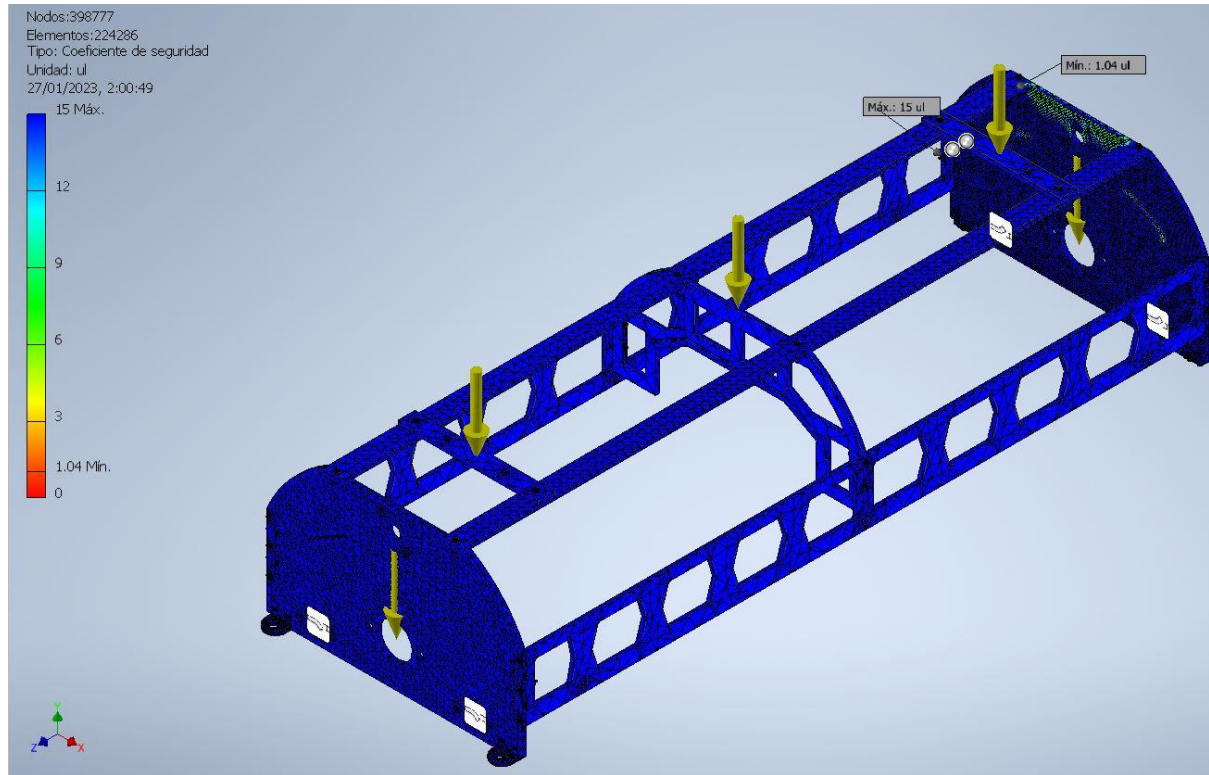
\therefore Sí cumple con el criterio

Flexión máxima



Flexión máxima de 0,9383mm

Factor de seguridad



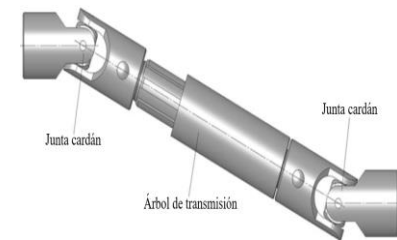
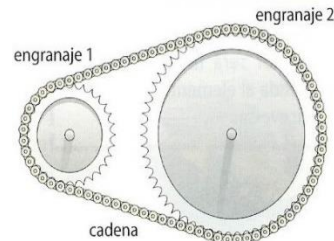
$$F_s \geq 1$$

$$1,04 \geq 1$$

∴ Sí cumple con el criterio

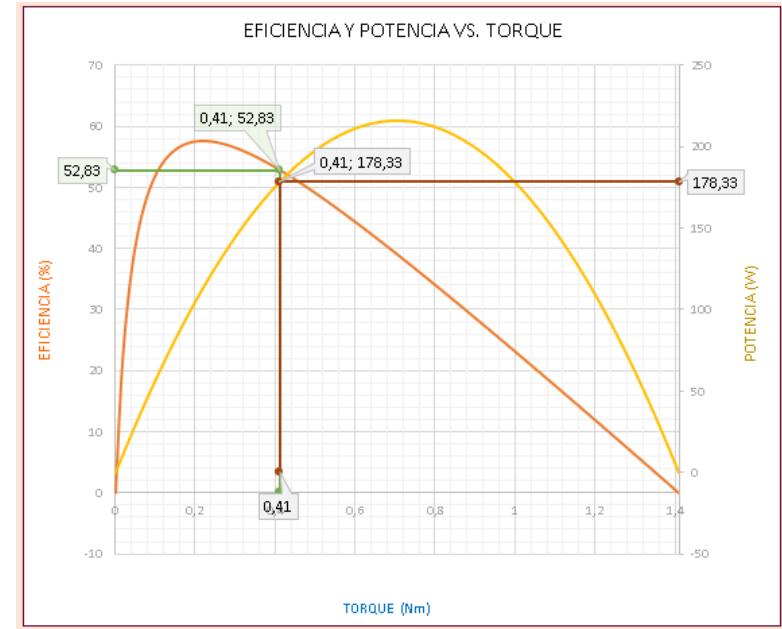
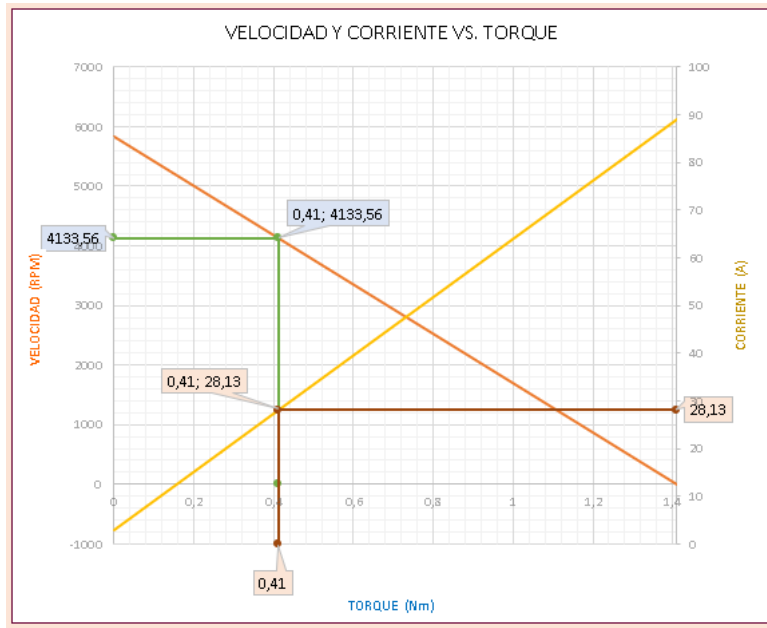
Sistema de transmisión

	Bandas	Cadena	Cardán
Ventajas	-Requiere poco mantenimiento	-Mantenimiento constante	-Poco mantenimiento
	-Buena durabilidad (cambio de banda desde 25000km-85000km)	-Buena Durabilidad (lubricar cada 1000km)	-Cambio por sugerencia de la marca el aceite cada 5000km aproximadamente
	-No es ruidosa	-Poco ruidosa	-No es ruidosa
Desventajas	-Pérdida de potencia por fricción de 11%	-Pérdida de potencia por fricción 3%	-Pérdida de potencia por fricción de 33%
	-Mantenimiento costoso	-Costo económico en mantenimiento	-Costo alto de reparación



Selección de motor

Curvas de motor mini CIM



$$W_m = \frac{v}{r} * Rt$$

$$W_m = 500 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 4774.65 \text{ RPM}$$

$$T_m = \frac{T_a}{Rt}$$

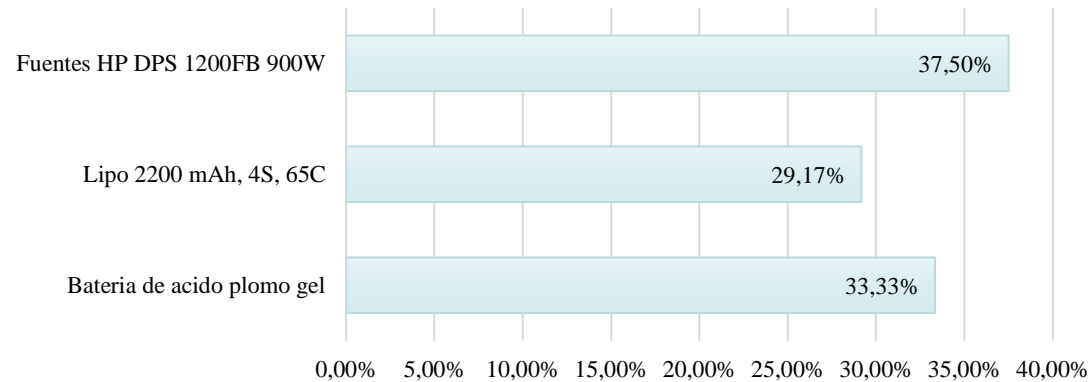
$$T_m = 0,412 \text{ Nm}$$

Selección fuente de energía

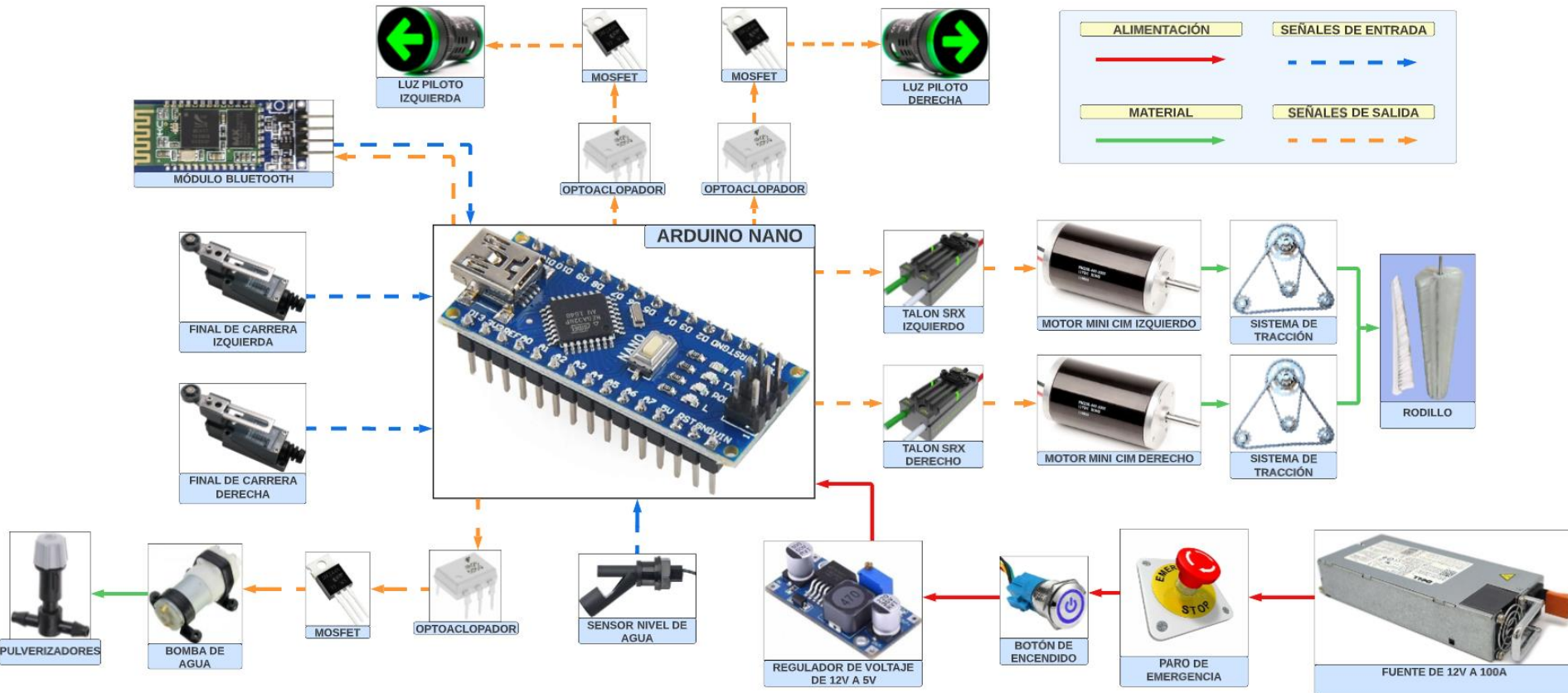
$$I_T = 32,216A$$

$$P_T = 386,59W$$

Fuente de alimentación



Esquema mecánico y electrónico



Prototipo



Datos técnicos del prototipo de robot limpiador de paneles solares

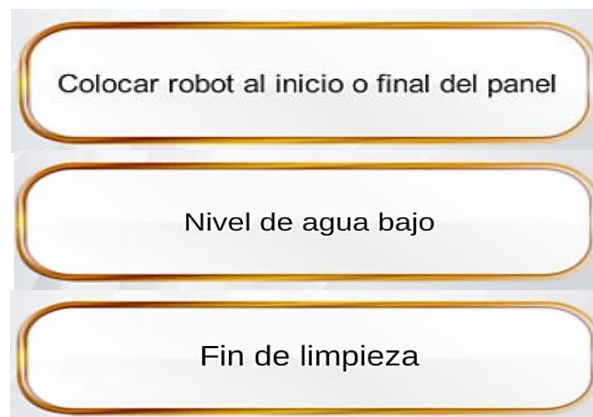
Dimensiones del prototipo

Altura	0,35	centímetros
Ancho	0,6	centímetros
Longitud	1,02	metros
Peso	19,68	kilogramos

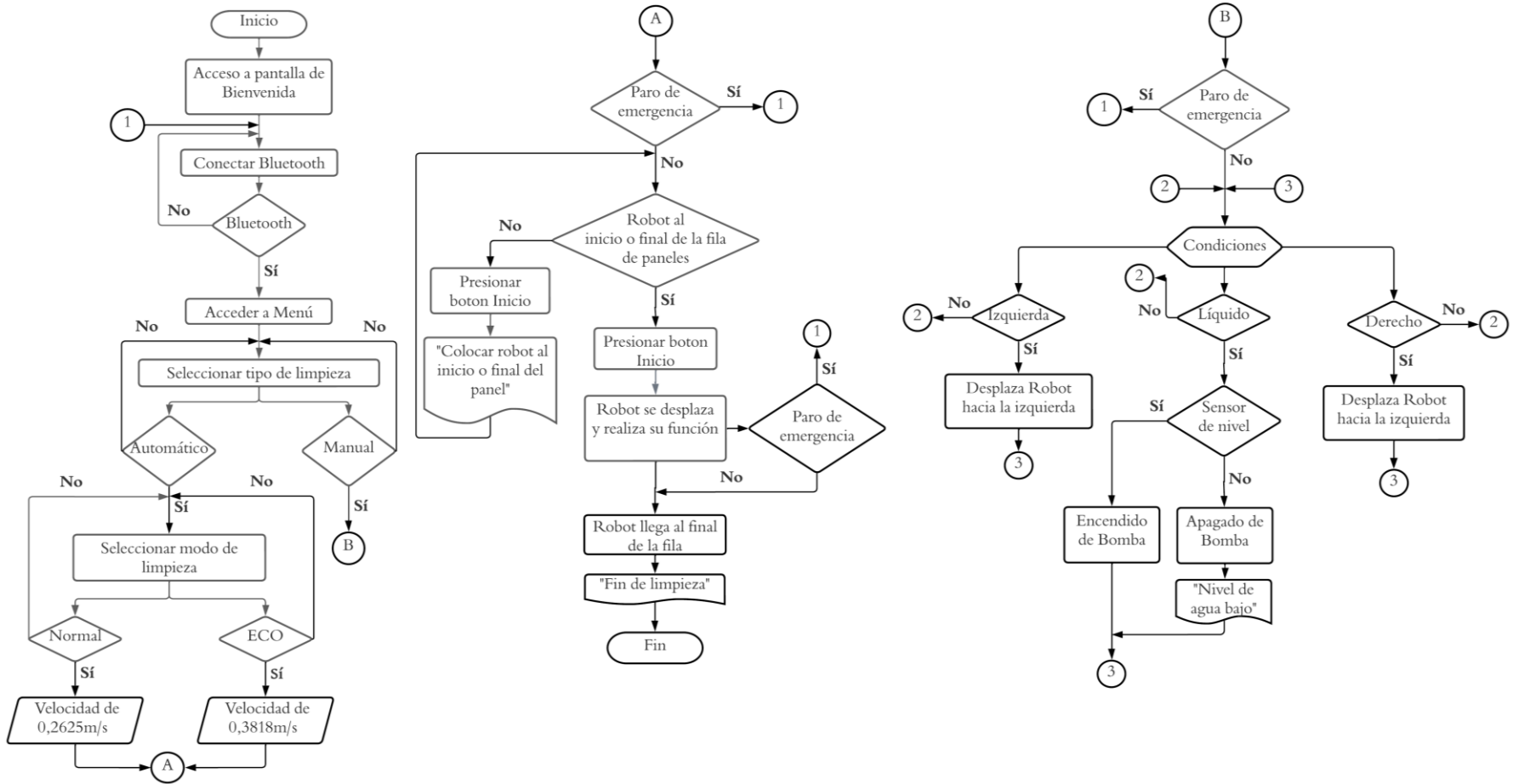
Características técnicas

Suministro de energía	Batería de ácido plomo de 12V a 12Ah	
	Corriente Alterna	
Capacidad del contenedor de líquido	5	litros
Consumo de agua	0,33	litros/panel
Alcance de operación	10	metros
Velocidad de desplazamiento	0,38	metros/segundos

Aplicación del prototipo



Funcionamiento del prototipo



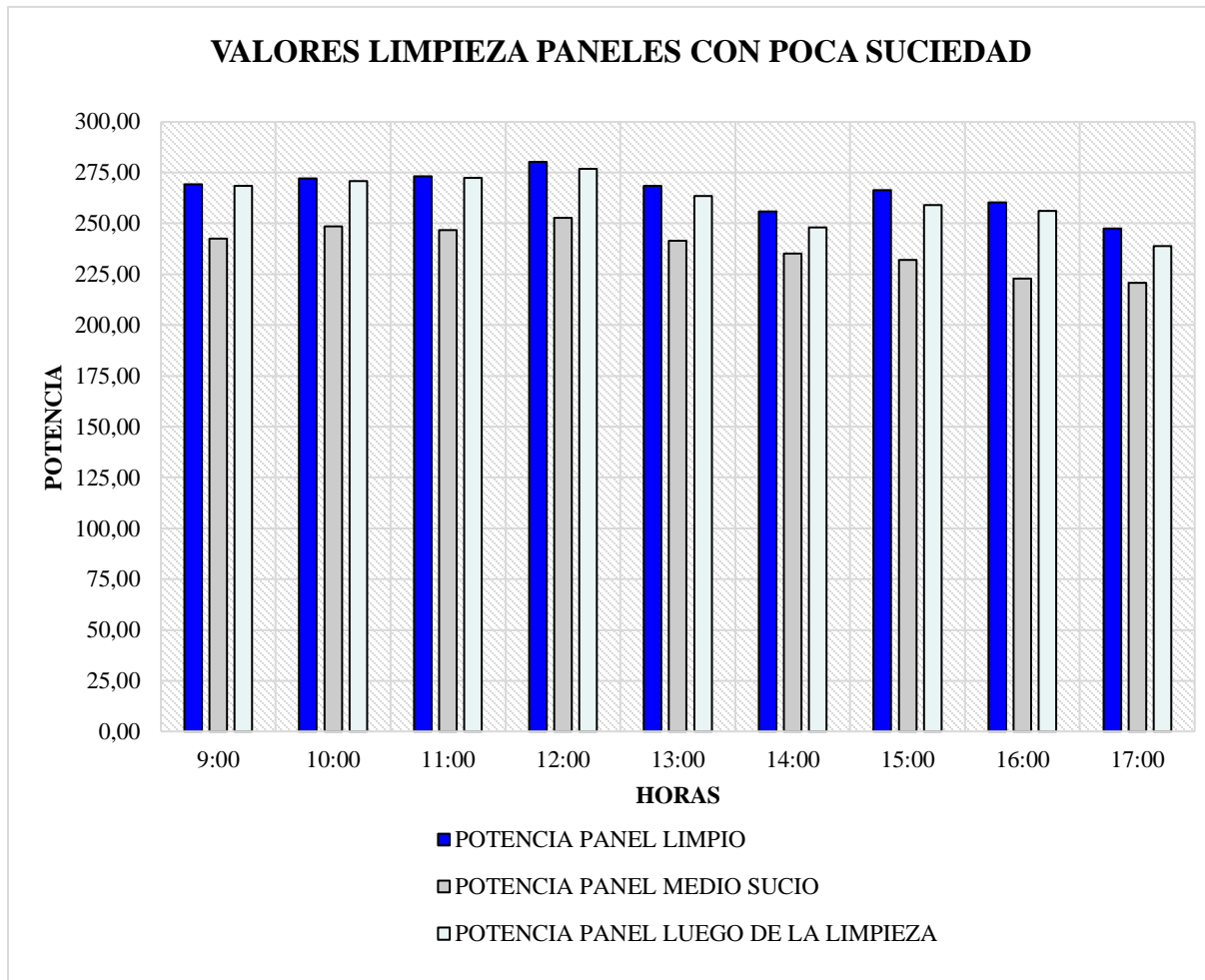
Paneles normalmente sucios

Panel con poco polvo y algo de hojas.



Resultado visual de la primera pasada del prototipo.



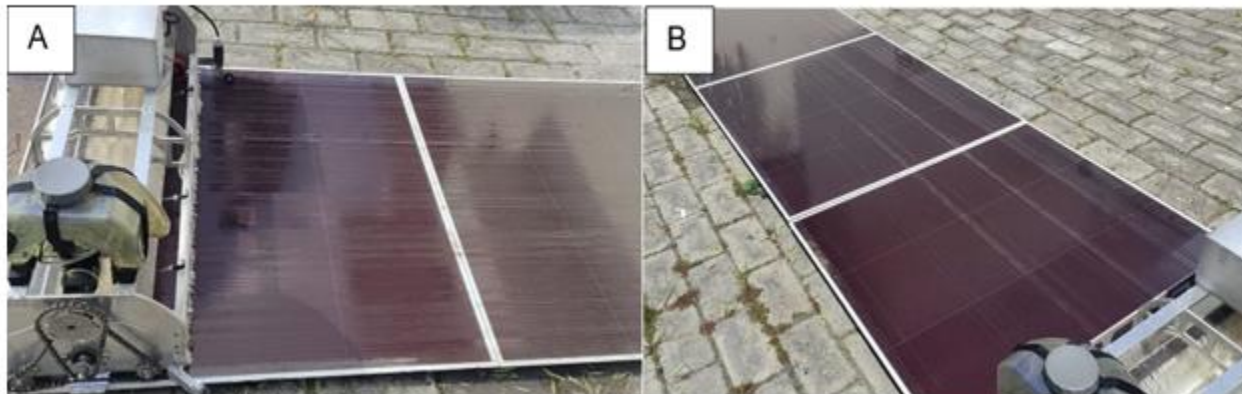


Paneles extremadamente sucios

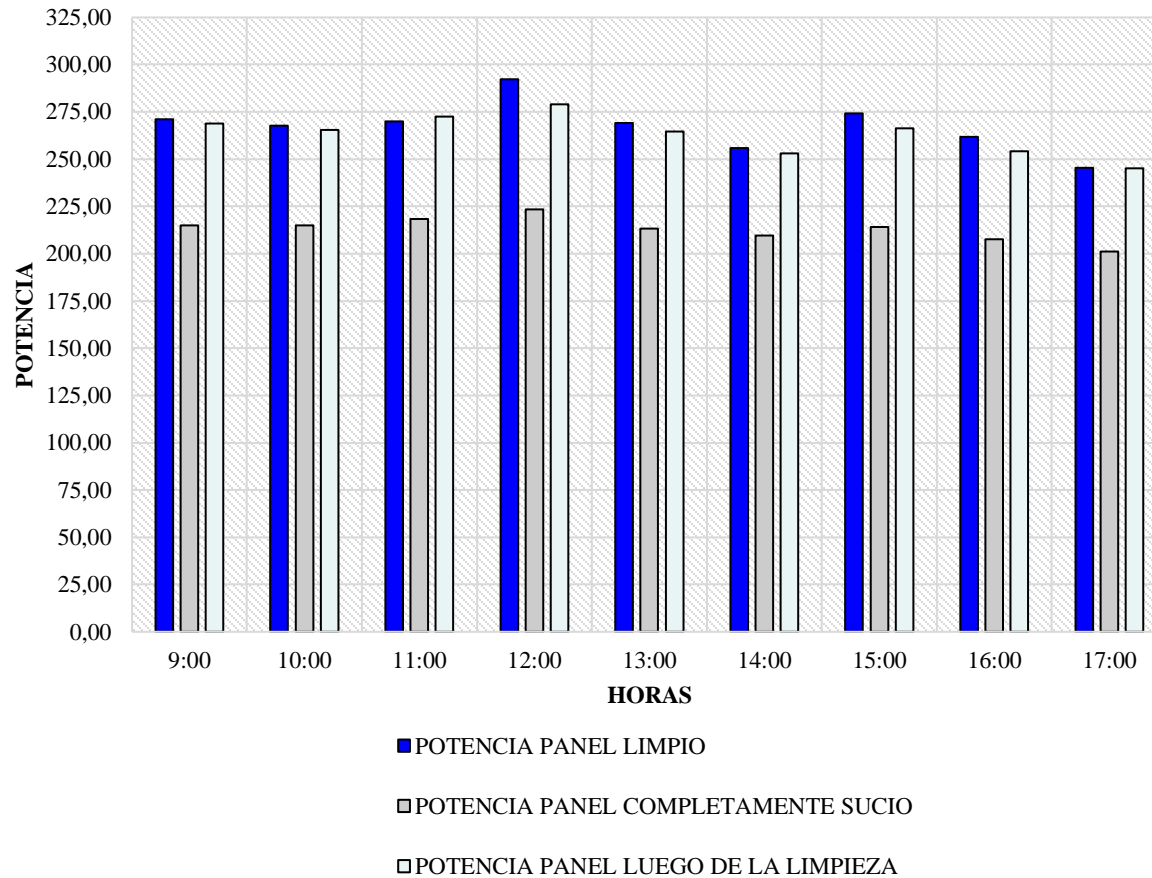
Panel con abundante polvo y fragmentos de hojas.



Resultados visuales de la primera y segunda pasada del prototipo.



VALORES EN PANELES CON SUCIEDAD EXTREMA



Validación de Hipótesis

H1: El prototipo de robot autónomo de limpieza con aplicación móvil, tendrá la capacidad de limpiar las superficies de paneles solares fotovoltaicos.

H0: El prototipo de robot autónomo de limpieza con aplicación móvil, no tendrá la capacidad de limpiar las superficies de paneles solares fotovoltaicos.

$$\lambda_{Calculado}^2 \geq \lambda_{Tabulado}^2$$

$$56,95 \geq 35,7184$$

Conclusiones

- Por medio del diseño y construcción de un prototipo de robot autónomo de dimensiones; 1,02m de largo, 0,60m de ancho y 0,35m de altura con un peso aproximado de 20kg, para la limpieza de paneles solares fotovoltaicos de medida estándar de 1m de ancho, cuya disposición es de manera horizontal, ya que el prototipo se desplaza a lo largo de la fila de paneles, el prototipo controlado mediante aplicación desde el teléfono móvil, posee una autonomía de 50 minutos con una batería de ácido plomo de gel, la cual ha permitido la realización de pruebas de funcionamiento sobre 81 paneles solares en un tiempo aproximado de seis minutos con cuarenta y cinco segundos de forma continua, sin tomar en cuenta el tiempo que conlleva trasladar el robot de una fila a otra y la recarga de líquido limpiador, mismo que abastece para la limpieza de 15 paneles consecutivos.
- Mediante el análisis de elementos finitos del prototipo de limpieza de paneles solares se presenta un esfuerzo de 199,1MPa el cual es menor al límite elástico del aluminio 2024 T6 el cual es de 315MPa y una flexión de 0,9383 mm y un factor de seguridad de 1,04, cumpliendo así con los criterios de selección garantiza estructuralmente que el material seleccionado en este caso duraluminio, es ideal para la estructura del prototipo, este análisis se validó mediante software CAD Inventor.

Conclusiones

- En cuanto a la estructura del prototipo el material seleccionado (duraluminio), el cual se puede encontrar en varios locales dedicados a la venta de planchas de acero y aluminio en el Ecuador, a su vez los componentes electrónicos usados en el proyecto son comerciales y de fácil adquisición, para la limpieza se adquirió un rodillo de nylon con fibras de poliamida PA calibre 30 especialmente para vidrio, el cual fue adquirido según las medidas y necesidades del proyecto, ya que no se consigue de manera comercial debido a la poca demanda que existe.
- La interfaz gráfica de la aplicación con el que se conecta el prototipo de limpieza de paneles solares tiene un diseño intuitivo y con colores neutros los cuales mantienen el equilibrio cromático, la misma que cuenta con diferentes escenas en las cuales se relaciona con lo que pasa en tiempo real con el prototipo, posee dos modos de limpieza los cuales se analizaron mediante el tiempo que se necesita para limpiar un panel sucio, por medio de esta aplicación el usuario puede observar el movimiento animado del prototipo en pantalla y a su vez se presentarán según las circunstancias tres diferentes alarmas las cuales son; “Colocar robot al inicio o final del panel”, “Nivel de agua bajo” y “Fin de limpieza”, de esta manera el usuario puede tomar decisiones sobre el prototipo según el escenario que se presente.

Conclusiones

- Se realizó la validación de la hipótesis utilizando el método de Chi Cuadrado, tomando valores de potencia generados de paneles limpios, normalmente sucios y extremadamente sucios, durante ocho horas desde las nueve de la mañana hasta las cinco de la tarde, donde el panel genera mayor cantidad de energía, teniendo como resultados 18 pruebas de funcionamiento ya que la toma de datos se la realizó cada hora, obteniendo así un Chi Cuadrado calculado de 56,95 el cual es mayor que el Chi Cuadrado tabulado de 35,7184, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa la cual menciona que el prototipo de robot autónomo de limpieza con aplicación móvil, tendrá la capacidad de limpiar las superficies de paneles solares fotovoltaicos.

Recomendaciones

- Para un correcto diseño de PCB, se debe considerar todos los parámetros de diseño como, por ejemplo; tamaño de pista, separación entre pistas, ancho de agujeros para soldar componentes, dirección de corriente, ya que todos estos aspectos representan un ahorro económico al momento de su fabricación, además se debe tener en consideración el uso del visor 3D del programa de diseño de PCB KiCad ya que este permite una visión general de la disposición de los elementos en la placa, facilitando el reajuste de los componente según sea necesario.
- Aun cuando el método de limpieza actual de paneles solares se lo realiza con agua, se recomienda usar un líquido especial para la limpieza de vidrios, de preferencia limpiaparabrisas debido a que en su mayoría estos líquidos tienen por objetivo retirar de manera instantánea la suciedad sin afectar el estado del vidrio, brindando un estado de limpieza más prolongado, y en vista de que el panel posee un recubrimiento superior de vidrio, estos líquidos son perfectos para la acción química de limpieza.
- Se debe considerar el uso de otras fuentes de energía para el prototipo, esto debido a que el uso de baterías es un factor negativo que no contribuye al cuidado del medio ambiente, además de que su autonomía limita la cantidad de paneles a limpiar.

Recomendaciones

- Al maniobrar el prototipo conjuntamente con la aplicación móvil por primera vez, se debe tener una guía supervisada para el correcto manejo del prototipo de robot autónomo.
- Con el estudio de generación de energía eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos se evidencia que no existe un prototipo que abarque un nicho de mercado amplio como lo es la limpieza de paneles solares en el país, y debido al alto consumo energético de hoy en día se buscan alternativas de generación eléctrica mediante recursos renovables, siendo este un criterio para realizar un prototipo que cumpla con requerimientos tanto mecánicos, eléctricos y electrónicos para satisfacer esta necesidad.

¡GRACIAS!