

Artículo original

Diseño y construcción de un autómatas para la limpieza de superficies de paneles fotovoltaicos instalados en el Instituto Superior Tecnológico Luis Rogerio González

Design and construction of an automaton for cleaning the surfaces of photovoltaic panels installed in the Luis Rogerio González Higher Technological Institute

Karla Isabel Verdugo González - Carlos Mauricio Orellana Uguña

doi: <https://doi.org/10.53632/incitec.v2i4.124>

Instituto Superior Tecnológico Luis Rogerio González

karla.verdugo@insteclrg.edu.ec
mauricio.orellana@insteclrg.edu.ec

RESUMEN

La producción de energía eléctrica basada en sistemas fotovoltaicos depende considerablemente de la radiación solar y su grado de inclinación en el lugar de instalación, sin embargo, hay otros agentes externos que afectan su rendimiento, como por ejemplo: la acumulación de residuos en la superficie del panel solar, es por ello, que en el presente trabajo de investigación se plantea el diseño y construcción de un sistema autómatas, el cual consta de: tarjeta Arduino como unidad principal de procesamiento de las señales enviadas por los sensores de voltaje, corriente (Efecto HALL), sensor polvo e intensidad lumínica, además para la limpieza de la superficie el prototipo utiliza rodillos de nylon y escobillas de goma para limpiar los paneles. El sistema puede instalarse directamente en los paneles de las plantas de energía solar y los sectores comerciales y residenciales, en este sistema el agua se puede reutilizar, no hay vibraciones. El proyecto pretende incrementar la eficiencia del panel solar eliminando las partículas de polvo

Palabras Claves

Panel solar, sensor de efecto HALL, sensor de voltaje.

ABSTRAC

The production of electrical energy based on photovoltaic systems depends considerably on solar radiation and its degree of inclination at the installation site, however, there are other external agents that affect its performance, such as: the accumulation of dust on the surface of the solar panel, which is why, in this research work we propose the design and construction of an automaton system, which consists of: Arduino card as the main processing unit of the signals sent by the voltage sensors, current (HALL effect), dust sensor and light intensity, also for cleaning the surface the prototype uses nylon rollers to clean the panels and rubber brushes.

The system can be installed directly on the panels of solar power plants and commercial and residential sectors, in this system the water can be reused, there is no vibration. The project aims to increase the efficiency of the solar panel by eliminating dust particles.

Keywords

Solar panel, HALL effect sensor, voltage sensor.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de la energía eléctrica en la actualidad se ha convertido en un recurso indispensable, pues mejora la calidad de vida de los seres humanos, debido a que se emplea en diversas áreas, desde el transporte e iluminación hasta en la medicina. Un inconveniente que presenta la producción de energía eléctrica es la utilización de combustibles fósiles, los cuales muestran inconvenientes, entre los más relevantes es el impacto de efecto invernadero que afecta en gran escala al planeta teniendo como consecuencia los cambios climáticos severos.

Con los avances tecnológicos, de forma paulatina se ha reducido el consumo de combustibles fósiles y se ha dado a conocer el término de energía verde, el cual consiste en el uso de Recursos Naturales Renovables o Energías limpias para la producción de energía eléctrica. Son conocidas como energías limpias debido a su diversidad y abundancia, su principal ventaja es que no producen gases de efecto invernadero ni otras emisiones por lo que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

Existen diferentes tipos de producción de energía eléctrica basado en recursos naturales renovables tales como: energía eólica que aprovecha las corrientes de aire, energía solar permite obtener electricidad a partir de la energía luminosa del sol, energía hidráulica que aprovecha la presión hídrica, biomasa y biogás se origina a partir de materia orgánica, energía geotérmica que se produce a base del calor propio del interior de la Tierra y energía mareomotriz que se obtiene de las mareas.

De los recursos naturales renovables mencionados el que sobresale considerando para aplicaciones a baja escala, costo de operación – mantenimiento [1], escaso impacto laboral, no produce residuos perjudiciales al medio ambiental y no hay dependencia de las compañías suministradoras [2] es la energía solar a través de paneles fotovoltaicos.

Una problemática que no se ha considerado en los paneles fotovoltaicos es la reducción de la eficiencia debido a la acumulación del polvo. La acumulación de polvo en la superficie de un panel fotovoltaico es un mecanismo muy complicado que degrada su eficiencia, toda partícula sólida inferior a 500 μm de diámetro se consideran partículas de polvo [3].

En investigaciones realizadas, las acumulaciones de polvo en los paneles y concentradores solares provocan una pérdida de eficiencia de entre el 10% y el 30%, dependiendo de la concentración de masa de polvo en la superficie [4]. Una solución para esta problemática técnicamente beneficiosa recomendado por *Solar Dust Detection System* es limpiar los paneles manualmente una vez cada 8 días si se utiliza un empleado de la empresa y una vez cada 11 días si se utiliza un empleado contratado [5], sin embargo, este tipo de limpieza no es uniforme y puede causar problemas de salud a los trabajadores [6], es por ello, que el presente trabajo de investigación propone un sistema de limpieza de paneles solares totalmente automatizado y de instalación permanente con/sin agua. Utiliza rodillos de nylon para limpiar los paneles y escobillas de goma para limpiar el agua

II. MÉTODO Y MATERIALES

El autómata de limpieza propuesto se basa en la disminución de voltaje de salida de los paneles fotovoltaicos que se puede originar por la presencia de impurezas en la

superficie de estos, pero en el presente trabajo de investigación no solo abarca esta consideración sino también la disminución en la radiación solar debido a diferentes horarios en el día o por el cambio del clima y cortocircuito interno.

Para determinar el tipo de sensor de polvo que se utilizó se consideró lo indicado en [3], por lo cual, se determinó la utilización del sensor DSM501a de la marca Huimai, pues detecta partículas de diámetro superior a 1 μm y rango de detección de concentración de , este sensor activa tres mecanismos diferentes. Primero, envía la señal de actuación al opto acoplador tipo npn que activa la bomba de agua que humedece toda la superficie del panel. Segundo, actúa el driver L298 que activa los motores CC de imanes permanentes (PMDC) (en total 4 motores, 2 para cada rodillo de nylon) que están acoplados al rodillo de nylon (2 en total) que tiene como función limpiar todas las impurezas (polvo) y retirar la mayor cantidad de agua de la superficie del panel y tercero, se activan los motores PMDC que tienen acoplados los cepillos de gomas cuya finalidad es retirar el agua sobrante que el rodillo de nylon no pudo hacerlo.

Para la detección de la radiación solar se utiliza el sensor de intensidad luminosa solar *LDR* y para los cortocircuitos internos que se puedan originar en el panel se utiliza el sensor tipo ACS712 que se conecta en serie con la salida de los paneles solares.

Para detectar la variación de nivel de voltaje en la salida de los paneles fotovoltaicos y considerando que el valor máximo permitido en el microcontrolador Arduino Uno es 5 Vdc se utiliza un divisor de voltaje como se indica en la Fig. 1.

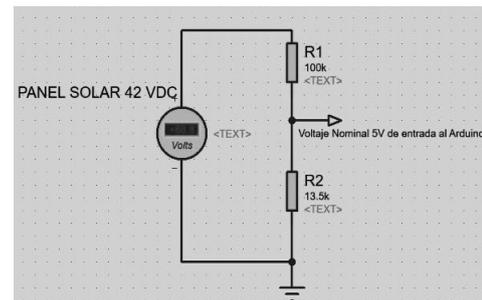


Fig. 1. Divisor de voltaje.

El valor de la resistencia que forma parte del divisor de voltaje está dado por [7]:

$$R_2 = V_{R2} \times \left(\frac{R_1}{V_{R1}} \right) \quad (1)$$

donde es el valor de la resistencia propuesta de 100 k Ω , es la resistencia calculada en función de , es el voltaje de y es el voltaje de que es igual al voltaje de entrada de la tarjeta Arduino con un valor de 5 Vdc. El V_{R1} es igual a:

$$V_{R1} = V_{\text{voltaje salida panel}} - V_{R2} = 37 \text{ Vdc} \quad (2)$$

Reemplazando (2) en (1) y considerando el valor de , da como resultado .

La unidad principal que está encargada de interpretar todas las señales enviadas por los sensores y activar los diferentes drives de control de los servomotores es el microcontrolador Tarjeta Arduino Uno.

En la Tabla I, se encuentran las especificaciones técnicas de los principales componentes que intervienen en el autómata de limpieza.

Tabla I. Características técnicas de los principales componentes del sistema autómata.

Nombre	Descripción
Panel solar	$P_{total}=405\text{ W}$. $V_{salida}=48\text{ Vdc}$. $I_{salida}=8,3\text{ A}$ $I_{cc}=10,4\text{ A}$.
Driver L298	$I_{max}=2\text{ A}$. $P_{max}=25\text{ W}$. $V_{alimentación}=5\text{ Vdc}$. $V_{(control\ motor)}=5\text{ Vdc}-35\text{ Vdc}$
Bomba de agua	$V_{alimentación}=12\text{ Vdc}$. $I_{nominal}=920\text{ mA}$. $P_{max}=24\text{ W}$.
Motor PMDC	$V_{nominal}=5\text{ Vdc}$. $I_{(nominal\ max)}=100\text{ mA}$. Velocidad=13000 rpm.
Sensor de corriente ACS712	$V_{nominal}=5\text{ Vdc}$. Rango máximo=30 A. Sensibilidad=66 mV/A Salida cuando no detecta corriente=2,5 Vdc
Sensor de polvo DSM501a	$V_{nominal}=5\text{ Vdc}$ Sensibilidad > 1 μm Rango de concentración=0 \square 4 mg/m ³
Sensor de intensidad lumínica solar LDR	$V_{nominal}=5\text{ Vdc}$
Pantalla LCD	Interface=I2C $V_{nominal}=5\text{ Vdc}$ Resolución=16x2
Módulo RTC	$V_{nominal}=3,3\text{ Vdc}-5\text{ Vdc}$
	$V_{nominal}=5\text{ Vdc}$ Pines=14 digitales y 6 analógicos
Divisor de voltaje	$V_{entrada}=48\text{ Vdc}$. $V_{salida}=5\text{ Vdc}$

III. SIMULACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

Para la verificación de funcionamiento del sistema autómata se utilizó el software Proteus, el cual permite simular: sensores, motores PMDC que son acoplados al rodillo de nylon y a los cepillos de goma, drivers que controlan el funcionamiento de los motores, divisor de voltaje, bomba de agua, módulo RTC, pantalla LCD, sensor lumínico solar, sensor de corriente y la tarjeta Arduino Uno.

Las partículas de polvo con la velocidad del viento pueden ser removidas, sin embargo, para partículas de polvo < 50 μm de diámetro una velocidad de viento de aproximadamente de 50 m/s es ineficaz [8], con esta consideración y tomando en cuenta que el trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Azogues, provincia Cañar, país Ecuador, en donde la velocidad promedio es de 3 m/s [9], se calibró el sensor para que realice la limpieza de la superficie del panel solar considerando toda partícula de polvo mayor a 1 μm de diámetro.

Para calcular el mínimo y máximo voltaje de salida del sensor de polvo para que actúe el sistema autómata se considera un rango de voltaje de salida del sensor entre según lo especificado en el *datasheet* e indicado en la Tabla II [10].

Tabla II. Características de salida del sensor de polvo DSM501a

Parámetros	Condición	(V)	(V)
$V_{(salida_sensor)}$	No existe partículas de polvo	4	4,3
$V_{(salida_sensor)}$	Si existe partícula de polvo	Mayor a 0	0,7

El funcionamiento del sensor de polvo visto desde un diagrama de flujo se encuentra indicado en la Fig. 2.

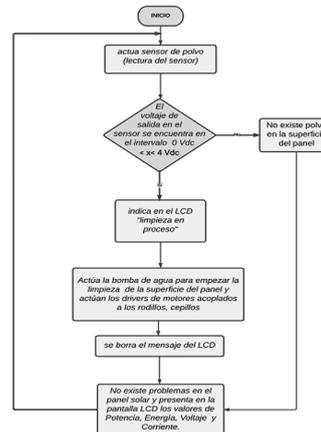


Fig. 2. Funcionamiento del sensor de polvo.

Para la calibración del sensor de corriente se utilizó la relación lineal que está dada por [11] el problema del ahorro energético ha tomado una gran importancia en la industria debido al impacto que el derroche de energía tiene en el medio ambiente (Ministerio de Energía de Chile, 2018):

$$V = Sensibilidad * I + 2,5 \quad (3)$$

donde V es el voltaje de salida del sensor, I es la corriente consumida por la carga donde está conectado el sensor y *Sensibilidad* que depende del tipo de sensor, especificado en la Tabla I.

Para que el autómata identifique si el panel solar posee un cortocircuito interno se utilizó la corriente de cortocircuito (I_{cc}) de la Tabla I, el cual permite determinar el voltaje de salida del sensor, para ello se utilizó (3), resultando un $V=3,18\text{ Vdc}$; es decir, que para voltajes superiores al calculado significa que existe un cortocircuito interno en el panel solar.

El proceso de detección de la corriente de cortocircuito del panel solar visto desde un diagrama de flujo se encuentra indicado en la Fig. 3.

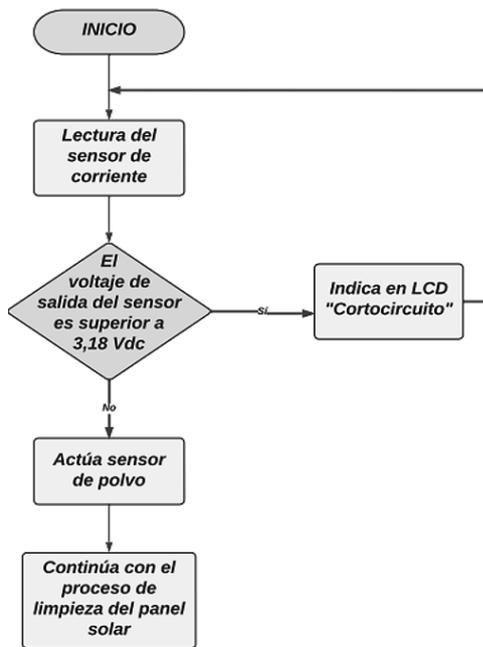


Fig. 3. Funcionamiento del sensor de corriente.

El principio de funcionamiento detrás del diseño del sensor LDR es actuar como un divisor de voltaje cuando se conecta una resistencia en serie. El voltaje de alimentación se divide entre el LDR y la resistencia, el voltaje a través de la resistencia se puede usar como señal de voltaje de entrada hacia el microcontrolador Arduino Uno [12]often ignore their concern for electricity consumption, such as allowing unused electronic equipment to turn on and lights on during the day. To save electricity at home, prevention efforts are needed by making a system for monitoring electricity consumption and control by utilizing digital technology that can be controlled remotely and works automatically. To make the electric energy consumption monitoring system not expensive, because we can utilize the impulse indicator from the kWh meter measuring device that is installed in each home. The devices used are impulse indicator LED on kWh Meter which can be censored by LDR every time the LED blinks, relay as remote control switch via the internet, NodeMCU ESP8266 as processor and sender of data from sensor and server as a place of recording data provided by NodeMCU with use ESP8266 as a WiFi connection via HTTP protocol and PHP language. Device testing is done starting from the LDR sensor that can work well, continued testing on the manual switch with good results, and testing the virtual button's performance against the relay also works well even though there is a delay between the button and the relay for 750ms, but not affect button performance with fundamental relays. From the overall test results, the system can be categorized as working well so that it is feasible to be implemented in homes for savings in the use of electricity.”,”container-title”:"2019 5th International Conference on Computing Engineering and Design (ICCED, al conectar el LDR a la parte positiva de la fuente se tiene que, al incidir una mayor cantidad de luz provocará una menor caída de voltaje entre la fuente de alimentación y la salida denominada salida de voltaje.

La configuración de conexión del sensor LDR utilizado en el presente trabajo de investigación está indicado en la Fig. 4 [12]often ignore their concern for electricity consumption, such as allowing unused electronic equipment to turn on and lights on during the day. To save electricity at home,

prevention efforts are needed by making a system for monitoring electricity consumption and control by utilizing digital technology that can be controlled remotely and works automatically. To make the electric energy consumption monitoring system not expensive, because we can utilize the impulse indicator from the kWh meter measuring device that is installed in each home. The devices used are impulse indicator LED on kWh Meter which can be censored by LDR every time the LED blinks, relay as remote control switch via the internet, NodeMCU ESP8266 as processor and sender of data from sensor and server as a place of recording data provided by NodeMCU with use ESP8266 as a WiFi connection via HTTP protocol and PHP language. Device testing is done starting from the LDR sensor that can work well, continued testing on the manual switch with good results, and testing the virtual button's performance against the relay also works well even though there is a delay between the button and the relay for 750ms, but not affect button performance with fundamental relays. From the overall test results, the system can be categorized as working well so that it is feasible to be implemented in homes for savings in the use of electricity.”,”container-title”:"2019 5th International Conference on Computing Engineering and Design (ICCED, al conectar el LDR a la parte positiva de la fuente se tiene que, al incidir una mayor cantidad de luz provocará una menor caída de voltaje entre la fuente de alimentación y la salida denominada salida de voltaje.

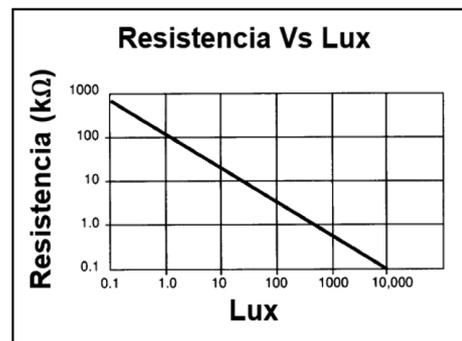


Fig. 4. Conexión del LDR hacia el microcontrolador Arduino Uno.

De la Fig.4, la señal de salida del LDR está dada por [12]:

$$V_{salida_voltaje} = V_{entrada} * \frac{R_1}{R_{LDR} + R_1} \tag{4}$$

donde es el valor de la resistencia para conformar el divisor de voltaje que en este caso es igual a 10 kΩ, voltaje de entrada, se utilizó la salida del microcontrolador Arduino Uno con un valor de 5 Vdc.

Para calibrar el LDR se utilizó la Fig. 5.

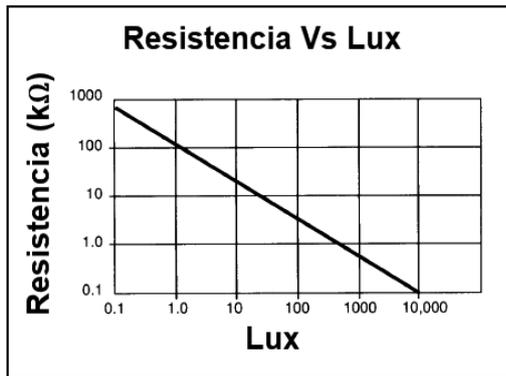


Fig. 5. Curva de Resistencia vs Lux del sensor LDR.

De la Fig. 5, se determinó que para un valor de resistencia del LDR superior a los 950 kΩ aproximadamente, el lux es igual a cero, por ende, no existe radiación solar. Esta afirmación es verdadera siempre que el LDR este censando valores en jornadas nocturnas, pero para dar como verídica esta afirmación se utilizó un módulo RTC, el cual al ser un reloj en tiempo real permite validar la información registrada por el LDR.

El mínimo nivel de voltaje de salida del divisor de voltaje fue calculado por (4).

$$V_{salida_voltaje} = 5 * \frac{10 \text{ k}\Omega}{950 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} = 0,052 \text{ Vdc}$$

Este valor de voltaje sirve como referencia para que el microcontrolador Arduino Uno detecte o no la presencia de luxes, es decir, todo voltaje igual o superior al calculado indica la presencia de luxes y todo valor por debajo del mismo indica la ausencia de luxes. El funcionamiento del LDR y módulo RTC visto desde un diagrama de flujo se encuentra indicado en la Fig. 6.

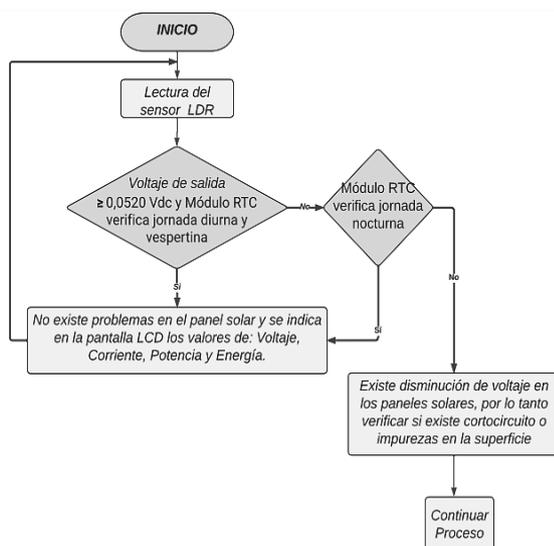


Fig. 6. Funcionamiento del sensor LDR y módulo RTC.

El proceso de actuación de los diferentes sensores del autómat de limpieza visto desde un diagrama de flujo se presenta en la Fig. 7.

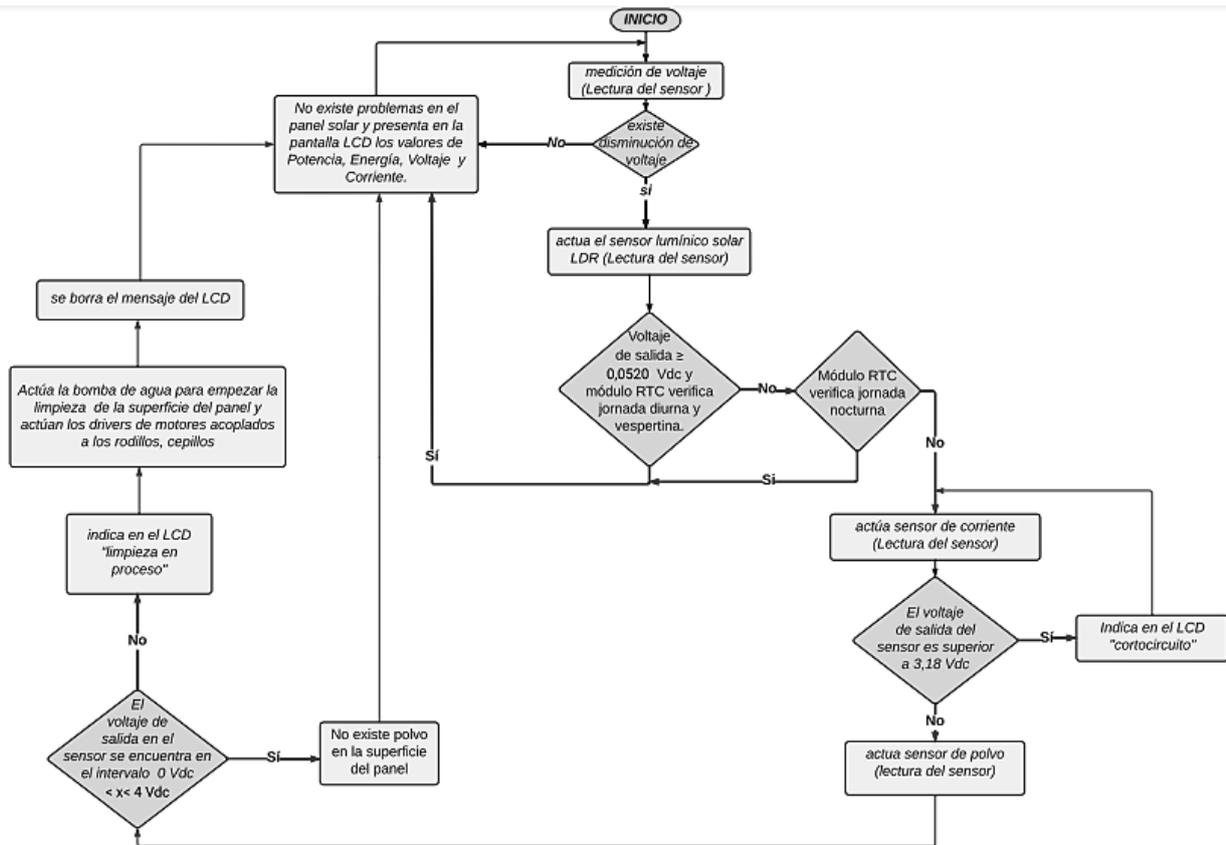


Fig.7. Proceso de actuación de los sensores del sistema automática.

En la Fig. 8(a) y Fig. 8(b), se indican las conexiones de los componentes que interviene en el sistema automática de limpieza, se verificó el funcionamiento del sistema en el software Proteus.

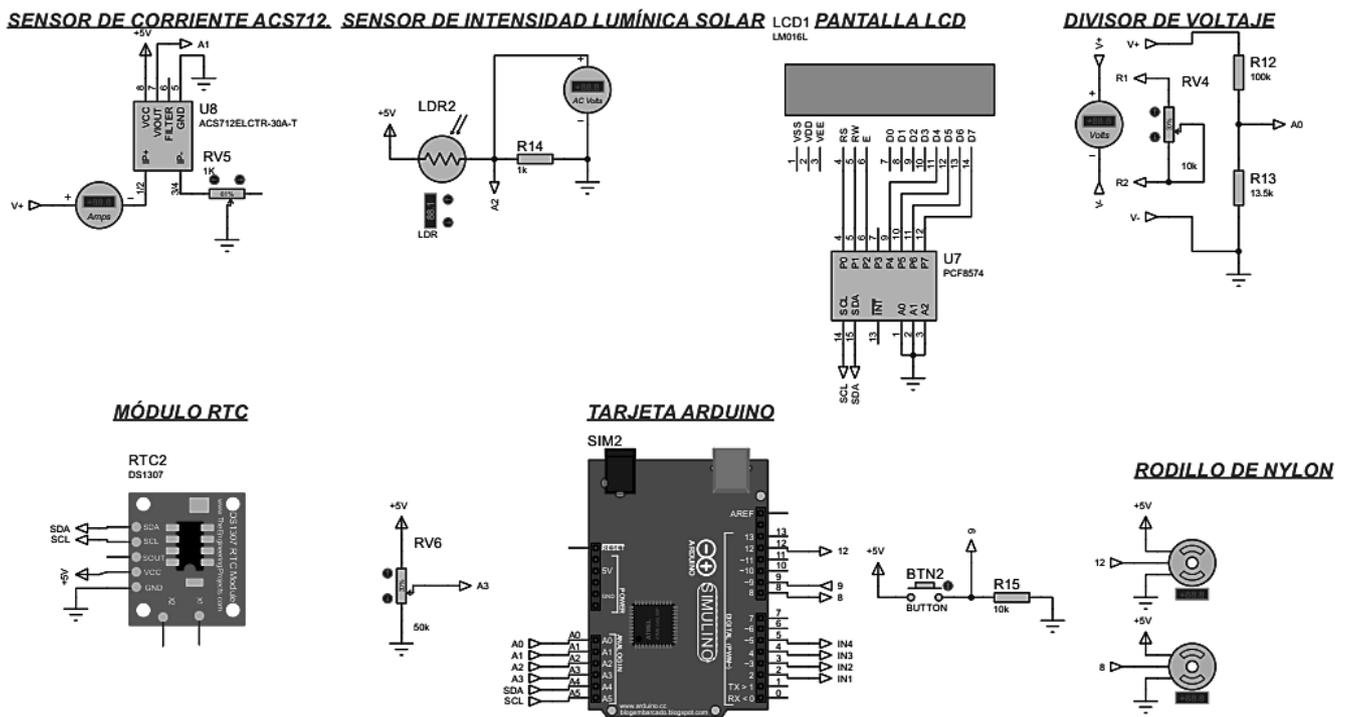


Fig. 8(a) Esquema completo del sistema automático propuesto.

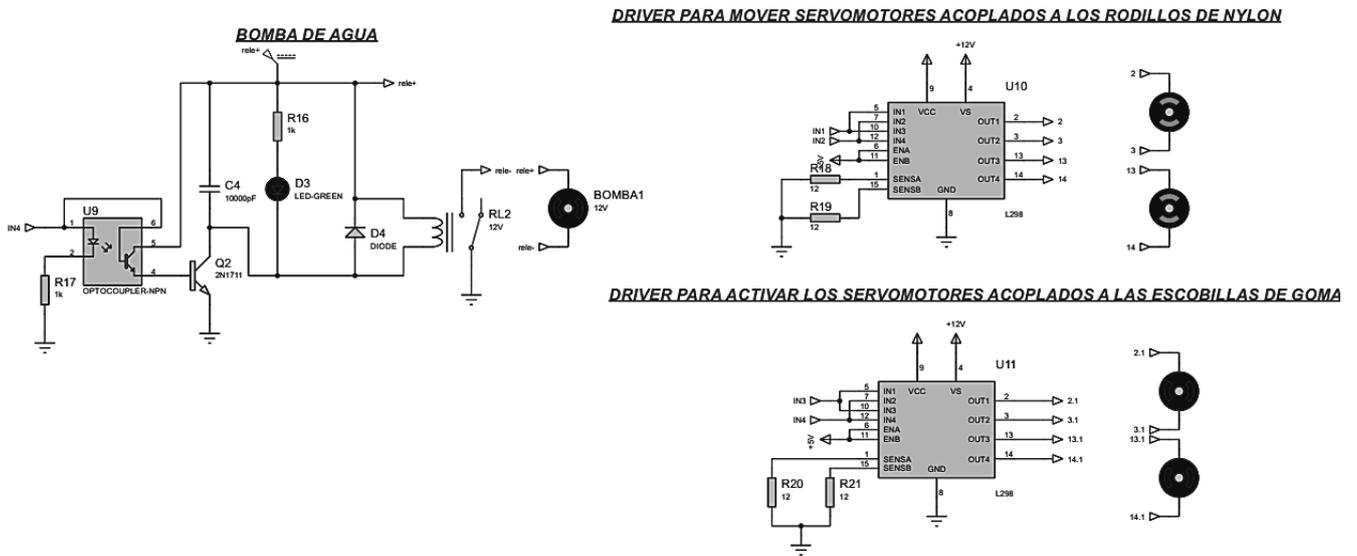
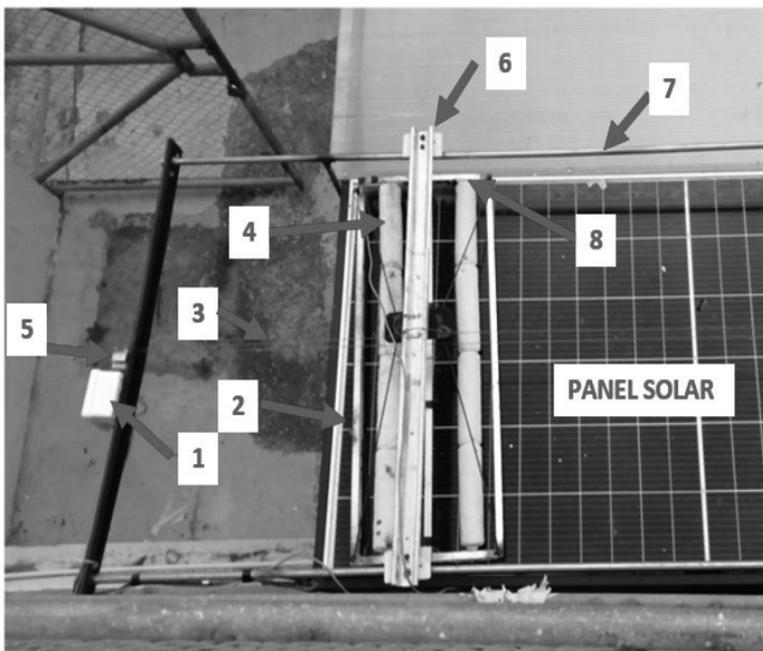


Fig. 8(b). Esquema completo del sistema automático propuesto.

En la Fig. 9, se indica el prototipo del sistema automático implementado.



1. Caja protectora para los drivers de control para los motores de C.C.
2. Cepillos de gomas.
3. Cable de guía para mover el automático
4. Rodillos de nylon.
5. Servomotor para desplazar al automático por la superficie del panel.
6. Rodamientos.
7. Tubería de acceso para el agua.
8. Motores de C.C. para girar los rodillos de nylon.

Fig. 9. Automata para la limpieza de superficie de paneles solares.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente trabajo de investigación se analizó la limpieza de la superficie del panel solar, pero para evitar que el automatismo funcione de manera innecesaria, se consideró dos situaciones por las cuales el nivel de voltaje de la salida del panel también puede disminuir sin que exista impurezas en la superficie, estas pueden ser: hora del día, es decir, jornada matutina, vespertina o nocturna y cortocircuito interno en el panel.

Como se observa en la Fig. 10, al comenzar la curva de potencia del panel es casi la misma, pero a medida que pasa el tiempo, existe una disminución con respecto a la potencia de salida debido a la acumulación de impurezas en la superficie. Se visualiza claramente que el porcentaje de diferencia es aproximadamente el 10% debido a la acumulación de polvo, por ende, se activó el sistema automático de limpieza. Estos datos fueron recolectados en el mes de marzo de 2021.

En la Fig. 10, existen datos de potencia de salida de 0 W, esto se debe a que no existía ninguna carga conectada en el panel solar.

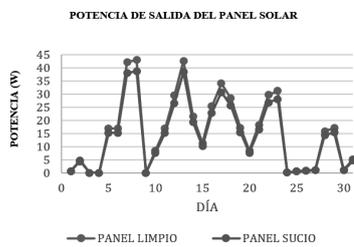


Fig. 10. Comparación de la potencia de salida sin y con impurezas en la superficie del panel solar.

En la Fig. 11(a) y Fig. 11(b), se visualiza la diferencia de impurezas en la superficie del panel luego de haber actuado el sistema automático.

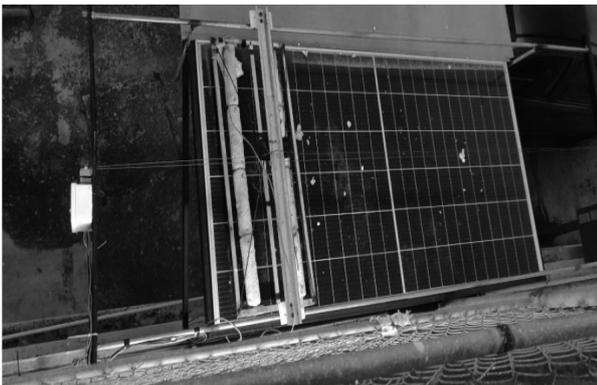


Fig. 11(a) Impurezas en la superficie del panel solar.

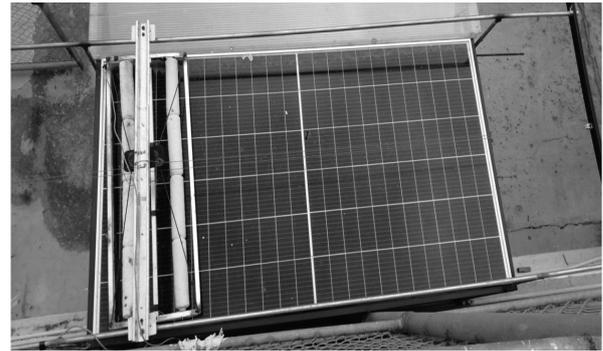


Fig. 11(a) Actuación del sistema automático para la limpieza de impurezas.

En la Fig. 12, se observa la variación de voltaje de salida en el panel solar, esta diferencia se debe a la acumulación de polvo en la superficie, por lo que, se activó el sistema automático de limpieza para que el nivel de voltaje se establezca en el valor nominal, que en este caso es de aproximadamente 48 Vdc.

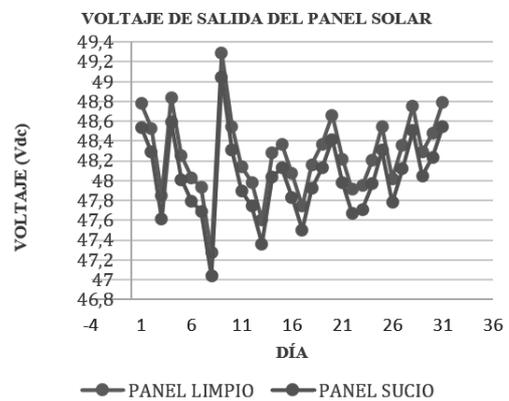


Fig. 12. Curva de voltaje de circuito abierto del panel solar limpio y sucio.

Para comprobar el funcionamiento del sensor de corriente, se instaló una carga en la salida del panel solar con un consumo superior a los 10,4 A, esto se realizó para simular una corriente de cortocircuito en el panel. El mensaje que se visualiza en el LCD al momento de originarse este inconveniente está indicado en la Fig. 13.

Este mensaje queda enclavado en el LCD hasta que el personal técnico solucione este problema.



Fig. 13. Cortocircuito en el panel solar.

V. CONCLUSIONES

El autómata implementado presenta las siguientes ventajas con respecto a otras técnicas propuestas, tales como: eliminación con polvo electrostático que no es adecuado para instalaciones fotovoltaicas acopladas a estructuras metálicas, limpieza electrostática que es económico y adecuado para plantas solares en desiertos, pero presenta la desventaja que el rendimiento disminuye cuando el polvo es superior a $1 \mu\text{m}$ y nano películas auto limpiables superhidrofóbicas que deben ser instaladas con un pequeño ángulo de balanceo para eliminar el polvo, lo mencionado no es aplicable al trabajo de investigación, pues fue implementado en paneles solares que están instalados en estructuras metálicas, trabaja para impurezas superiores a los $1 \mu\text{m}$ y no necesita ningún ángulo específico de instalación.

Con la limpieza de impurezas de la superficie del panel mediante el sistema automático se evita que exista una reducción de aproximadamente el 10% de la potencia de salida, además se logra que no exista una reducción de voltaje por la presencia de impurezas.

Un problema que presenta el sistema automático propuesto es la ubicación del sensor de polvo, pues al no estar posicionado de forma correcta para que cense todas las impurezas depositadas en la superficie del panel, al momento del funcionamiento solo censa un área delimitada, la cual si se encuentra limpia ya no actúa de forma correcta el autómata aún si el resto del panel se encuentra con impurezas, por lo que, se debe instalar un sistema que permita a los sensores de polvo hacer un censo completo de toda la superficie del panel solar.

El autómata propuesto tiene la ventaja de que antes de iniciar el funcionamiento de limpieza primero verifica que la reducción de voltaje de salida no se origine por otras causas que no estén relacionados con la acumulación de impurezas, tales como: jornada en la que esté funcionando el panel (matutino, vespertino o nocturno) o debido a una falla interna en el panel que genere un cortocircuito. Una vez comprobado que no existe estas dos causas mencionadas, el autómata interpreta que la reducción de voltaje de salida se debe a la acumulación de impurezas, por lo que, empieza el proceso de limpieza.

REFERENCIAS

- [1] H. Rodríguez Murcia, "Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas", *Rev. Ing. Univ. Los Andes*, vol. 28, p. 2, ene. 2009.
- [2] J. M. Méndez Muñoz y R. Cuervo García, *Energía Solar Fotovoltaica*, 2da ed., vol. 2do. España: Fundación Confemetal, 2011. Accedido: 15 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://books.solar&f=false>
- [3] M. Hossain, F. Rabbi, S. Zaman, F. Rahman, y Md. S. Islam, "Study of Dust Effect on PV Panel's Efficiency During Winter for Dhaka, Bangladesh", en *2020 2nd International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0 (STI)*, Dhaka, Bangladesh, dic. 2020, pp. 1-4. doi: 10.1109/STI50764.2020.9350391.
- [4] M. Mazumder et al., "Characterization of Electrodynamic Screen Performance for Dust Removal from Solar Panels and Solar Hydrogen Generators", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 49, n.o 4, pp. 1793-1800, jul. 2013, doi: 10.1109/TIA.2013.2258391.
- [5] V. Kavya y R. M. R. Keshav, "Solar Dust Detection System", en *2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC)*, Greater Noida, India, abr. 2018, pp. 138-140. doi: 10.1109/PEEIC.2018.8665410.
- [6] S. K. Thomas, S. Joseph, T. S. Sarrop, S. B. Haris, y R. Roopak, "Solar Panel Automated Cleaning (SPAC) System", en *2018 International Conference on Emerging Trends and Innovations In Engineering And Technological Research (ICETIETR)*, Ernakulam, jul. 2018, pp. 1-3. doi: 10.1109/ICETIETR.2018.8529032.
- [7] B. Miranda, J. L. Casais, M. E. Bierzchudek, H. Parks, y B. Djokic, "A Study of Voltage Dependence of a High DC Voltage Divider", en *2020 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM)*, Denver (Aurora), CO, USA, ago. 2020, pp. 1-2. doi: 10.1109/CPEM49742.2020.9191731.
- [8] P. G. Kale, K. K. Singh, y C. Seth, "Modeling Effect of Dust Particles on Performance Parameters of the Solar PV Module", en *2019 Fifth International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*, Chennai, India, feb. 2019, pp. 1-5. doi: 10.1109/ICEES.2019.8719298.
- [9] E. Widmann, J. Schanz, M. Rohlfes, y O. König, "WINDFINDER", Alemania, 1999. Accedido: 19 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://es.windfinder.com/#12/-2.7094/-78.8736/2022-05-19T18:00Z>
- [10] S. SAMYOUNG, "Particle / Dust Sensor Module DSM 501 Series". 2012. Accedido: 19 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://altronics.cl/uploads/dsm501.pdf>
- [11] O. M. Aguilar Barrientos, "Diseño e implementación de prototipo para el monitoreo de consumo eléctrico basadas en red CC2530, ACS712 y ZigBee", Andrés Bello, Chile, 2018.
- [12] A. Suryana, M. R. Fauzi, R. A. Ramadhan, y F. Muiz, "Monitoring Electrical Energy Consumption Through Impulse Detection Using LDR Sensors and Relay With NodeMCU ESP8266", en *2019 5th International Conference on Computing Engineering and Design (ICCED)*, Singapore, Singapore, abr. 2019, pp. 1-7. doi: 10.1109/ICCED46541.2019.9161127.

Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional