

ANÁLISIS TÉCNICO- ECONOMICO DE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS ROBÓTICAS PARA LA LIMPIEZA DE PANELES SOLARES ANALIZADAS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.

Ing. Abraham Quiroz López
Comisión Federal de Electricidad.
Dirección Corporativa de Ingeniería y Proyectos de Infraestructura,
Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil

Abstract—El incremento de la infraestructura de Generación Fotovoltaica en México, requerirá implementar técnicas de mantenimiento para conservar la eficiencia del Sistema, por lo que este documento, pretende analizar la viabilidad técnico económica del uso de las herramientas robóticas para limpieza de paneles con respecto a las técnicas tradicionales.

Keywords—*Paneles Fotovoltaicos, herramientas robóticas de limpieza, eficiencia, viabilidad técnico económica, coeficiente de rendimiento (Performance Ratio).*

I. INTRODUCCIÓN

Un sistema fotovoltaico interconectado a la Red, está conformado, por los siguientes elementos:

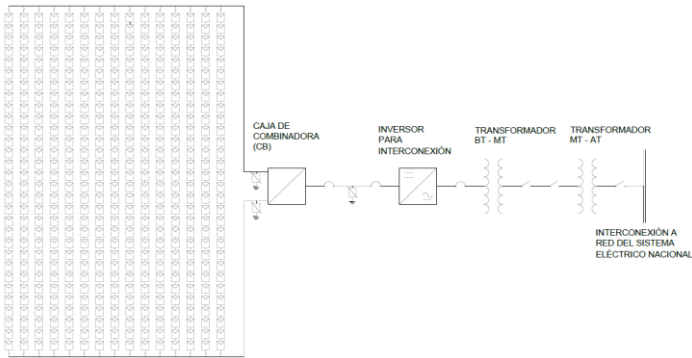


Fig. Arreglo fotovoltaico general.

- Arreglo fotovoltaico (paneles), cajas combinadoras, protecciones, canalizaciones y conductores.
- Inversores DC a AC.
- Subestaciones de transformación.
- Unidades de medición meteorológica, monitoreo y control.
- Infraestructura para la Interconexión a la Red Eléctrica Nacional.

Para conservar la integridad y generación eléctrica normalmente; se realizan los siguientes trabajos de mantenimiento:

- Inspección visual y termografías para identificar, sombras, suciedad, cables sueltos, dañados por roedores, abrasión, daños en estructura de soporte, fijaciones, calentamientos en conexiones, etc.
- Limpieza de los paneles fotovoltaicos.
- Pruebas a equipos, conductores en baja, media y alta tensión.
- Medición de calidad de la energía y análisis de la generación.

Uno de los factores que determinan la viabilidad económica de estos proyectos, es la pérdida de potencia por acumulación de suciedad (soiling impact), ya que puede ir desde el 5% en climas templados con lluvia moderada hasta un 40% anual en climas áridos y desérticos, basado en el artículo “Energy yield loss caused by dust

deposition on PV panels” (Arash Sayyah, 2014); por lo que es un factor muy importante a considerar para los desarrolladores y constructores de los parques.

El método tradicional para combatir el soiling impact, es mediante un lavado periódico a mano; sin embargo, representa un procedimiento especialmente caro ya que involucra gran cantidad de mano de obra y agua, por lo que se convierte en un problema de sostenibilidad de los proyectos.

Otro método innovador de limpieza involucra el uso de nanomateriales diluidos aplicados con herramientas robotizadas capaces de alcanzar los niveles de limpieza que brindan las técnicas tradicionales.

Este artículo pretende analizar la viabilidad técnico económica de las 2 opciones de limpieza desde el punto de vista coeficiente de rendimiento, seguridad, sostenibilidad y economía.

II. DESARROLLO.

Para este estudio; se contempló un parque de generación de 50 MW instalados y una potencia de salida de 40 MW, ubicado en zona desértica de México y está calculado con base en los criterios establecidos en la norma internacional IEC 61724-3:2016 y con la experiencia de diseñar y evaluar diversos sistemas fotovoltaicos.

Para analizar el rendimiento, es necesario obtener el Performance Ratio, el cuál expresa la relación del rendimiento energético real con respecto al calculado teóricamente a través de los modelos de generación contemplando las pérdidas por soiling impact, caídas de tensión, envejecimiento de semiconductores, baja irradiancia, paros programados por mantenimiento anual y fallas, etc. El procedimiento de cálculo contempla:

- Obtener la potencia pico a instalar.

$$\text{Potencia pico a instalar} = \frac{\text{Energía a generar en punto de interconexión (kWh)}}{\text{Horas de Pico Solares (PSH)} \times \text{Rendimiento promedio del sistema}}$$

- Determinar el recurso energético solar estimado en Horas Pico Solares y el cociente de la irradiación promedio (constante global).

$$\text{Horas Pico Solares (PSH)} = \frac{\text{Irradiación promedio en sitio kWh/m}^2}{\text{Irradiancia global (1 kW/m}^2)} = \frac{G_{\text{sitio}}}{E_{\text{global}}}$$

- Rendimiento promedio del sistema, considerando la siguiente ecuación:

$$PR = \frac{\sum_{j=1}^N G_j}{\sum_{j=1}^N \left[P_o \left(\frac{E_{mj}}{E_{STC}} \right) \left(1 - \frac{\gamma}{100} (T_{c,j,avg} - T_{c,j}) \right) \right]}$$

E_j Energía estimada en el punto de interconexión en el intervalo j (kWh).

P_o Potencia nominal del sistema en condiciones estándar de prueba (STC), de acuerdo con el fabricante (kWp).

E_{STC} Irradiancia en condiciones STC (1 kW/m²).

- E_m Irradiancia media en el plano de los módulos (kWh/m2)
- N Número total de intervalos
- γ Coeficiente térmico de temperatura de P_{max} del módulo, de acuerdo con el fabricante (%/°C)
- $T_{c,j}$ Temperatura del módulo, medida en el intervalo j (°C)
- $T_{c,avg}$ Temperatura de módulo promedio, en estación meteorológica (°C)

• Considerar las pérdidas en la generación.

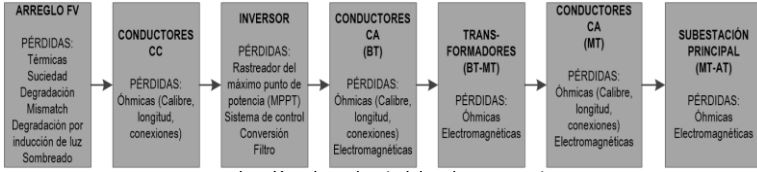


Fig. Desglose de pérdidas de generación

Utilizando el software PV SIST, se determinó el nivel de generación.

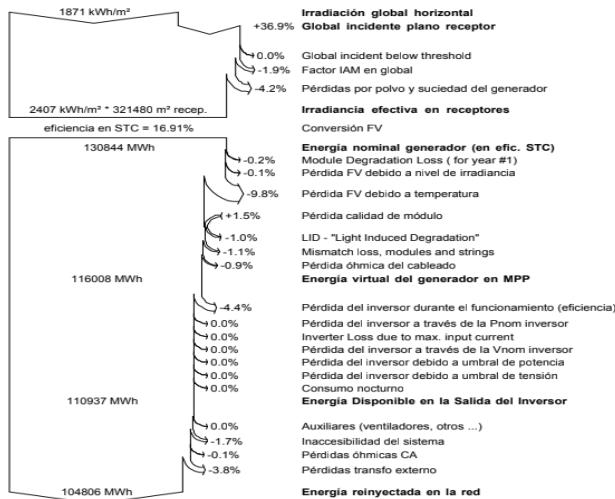


Fig. Simulación del nivel de generación del parque fotovoltaico.

Para la proyección técnico financiera es necesario calcular el rendimiento por el tiempo de vida esperado.

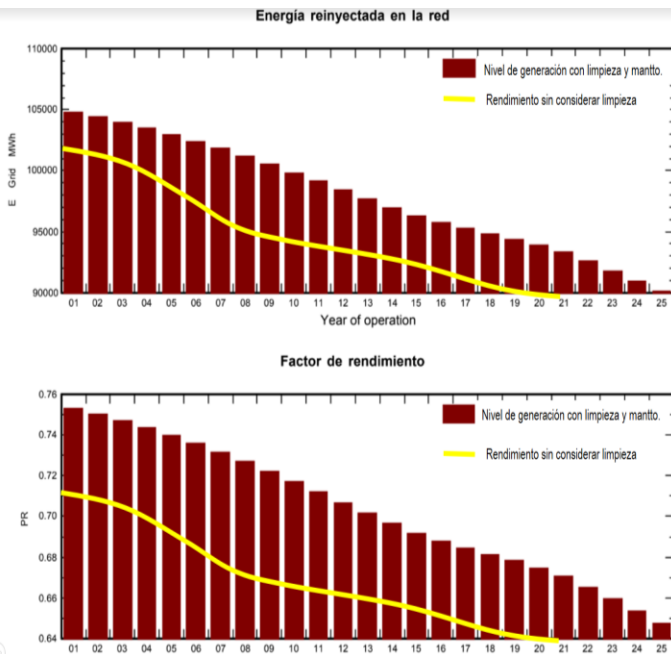


Fig. Comportamiento de la generación considerando la limpieza de paneles

Como resultado de la simulación, se determina un Performance Ratio del 75% en el primer año que corresponde a una generación de 104,806 MWh con un abatimiento de hasta del 63.8% o 90,230 MWh a los 25 años, contemplando los mantenimientos y limpiezas anuales.

El no realizar la limpieza a los paneles impacta en la reducción en la generación hasta el 71.6% (100,054 MWh) en el primer año y a los 25 años podría llegar a 51.8% (73,258 MWh), lo que representa una pérdida económica de \$975,000.00 USD en el primer año del considerando un precio promedio de \$ 20.5 centavos de dólar por kwh ofertado en la tercera subasta de energía en 2019; el cual se incrementaría conforme avance la vida útil del parque y baje su rendimiento, representando un impacto muy alto en la rentabilidad del proyecto.

Las técnicas de limpieza para grandes parques, pueden ser:

Limpieza manual con agua a presión	Sistema de rodillo autopropulsado con inyección de agua	Sistema de limpieza robotizada y uso de nanomateriales diluidos aplicados
Principales Ventajas		
Procedimiento sencillo que no requiere especialización del personal y ni herramientas complicadas	Procedimiento rápido, reduce significativamente el uso de personal y el consumo de agua.	Sistema automático que emplea poco personal, realiza mejor limpieza, reduce al máximo el uso de agua, por lo que representa la opción con menor impacto ambiental. Al plantear el uso de robots desde el inicio del proyecto, se puede tener la flexibilidad de limpiar con mayor periodicidad aumentando la confiabilidad, seguridad y rendimiento, impactando directamente en los retornos de inversión.
Principales Desventajas		
Se invierte gran cantidad de tiempo, personal, recursos materiales y existe mucho desperdicio de agua.	El equipamiento es caro y se requiere especializar a los operadores, para evitar daño a la infraestructura.	Sistemas en desarrollo y pruebas, por lo que repercute en un mayor costo de limpieza por kW. Para ser rentables debe contemplarse desde el proyecto para acceder a las ventajas competitivas del sistema.

Fig. Ventajas y desventajas de los metodos de limpieza.

Tomando como referencia los costos en México promedio de la limpieza con rodillo propulsado e inyección de agua de \$ 0.58 centavos de dólar x Watts instalado; la inversión es aproximadamente de \$290,000.00 USD por año, lo que representa un 29% con respecto a la pérdida económica por el bajo rendimiento de generación, por lo que se determina la rentabilidad de la limpieza para este tipo de parques.

En el caso de la limpieza manual con agua a presión, presenta un costo promedio de \$ 0.72 centavos de dólar x Watts, el cuál es más elevado, que el uso de rodillos motorizados, principalmente por que se emplea mayor consumo de agua (poco disponible en las zonas

desérticas), mas equipos de trabajo y el tiempo de ejecución es mayor.

En cuanto al uso de herramientas robotizadas, se puede evaluar desde 2 perspectivas.

1. Cuando no se contemplaron los equipos desde el proyecto, los costos por mantenimiento pueden llegar hasta \$1.52 centavos de dólar x Watt, principalmente debido a los preparativos necesarios en las cadenas de generación (strings), la renta de los equipos especializados, nivelaciones, uso de químicos diluidos para limpieza, energía para mover los robots, mantenimiento y reparaciones.
2. Cuando se contemplan los equipos desde un inicio del proyecto, se requiere una inversión adicional sobre le CAPEX que ronda del 12 al 18%, sin embargo; estos costos extra pueden ser abatidos a través de la flexibilización de mantenimientos, operación y el performance Ratio al mediano y largo plazo.

Actualmente las soluciones autónomas para la limpieza aun no son rentables comparados con los sistemas tradicionales; sin embargo, ofrecen varias ventajas técnicas que impactan directamente en los indicadores de desempeño:

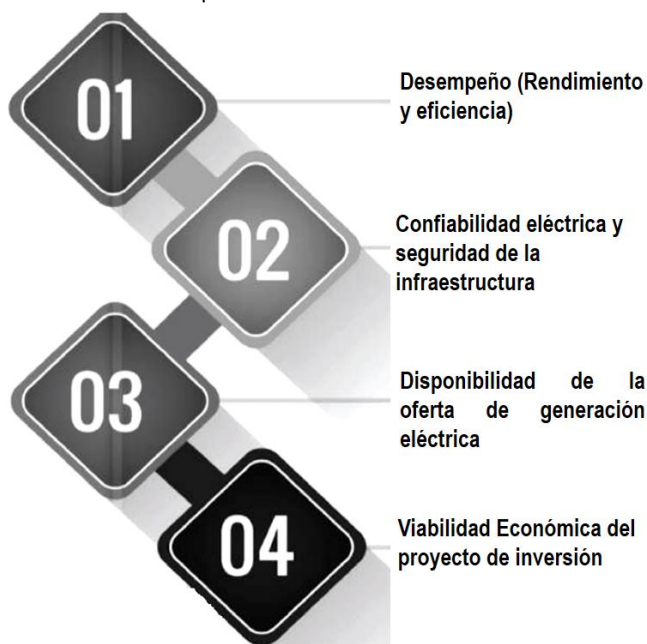


Fig. Indicadores de desempeño de los parques fotovoltaicos.

Por lo tanto, se abre una ventana de oportunidad para el desarrollo tecnológico de los sistemas robotizados y nanomateriales para la limpieza de módulos fotovoltaicos en parques de gran escala bajo las condiciones específicas de México, como se ha ido desarrollando en los países líderes Alemania, Italia, Israel, EEUU y Canadá.

III. CONCLUSIONES.

Al evaluar el comportamiento del coeficiente de rendimiento (Performance Ratio) de un parque de gran escala 50 MW ubicando en una zona desértica del norte de México, se determinó la

rentabilidad de aplicar la limpieza de los paneles con una periodicidad anual, ya que el costo del mantenimiento representa solo un 29% de la pérdida económica provocada por la acumulación de polvo (soiling impact) que deriva en una reducción significativa de la generación eléctrica.

En cuanto a las técnicas de limpieza, se determinó que el uso de rodillo propulsado con la inyección de agua, es la opción más viable económicamente para mantener el rendimiento del parque; sin embargo; la solución automática en conjunto con los nanomateriales, ofrece varias ventajas técnicas y ambientales que impactan sobre los indicadores de desempeño; por lo que en futuro representara la mejor opción.

Aprovechando la coyuntura del incremento de la infraestructura de Generación Fotovoltaica y las condiciones Económicas y ambientales que ofrece México, se debe continuar con el desarrollo de las tecnologías para limpieza de paneles que ofrezcan las mejores condiciones técnicas, económicas y ambientales para que se tenga un desarrollo energético sostenible en el largo plazo.

REFERENCIAS

- IEC 61724-1, "Photovoltaic system performance – Part 1: Monitoring", 2017.
- IEC 61724-2, "Photovoltaic system performance – Part 2: Capacity evaluation method". 2016
- IEC 61724-3, "Photovoltaic system performance - Part 3: Energy evaluation method", 2016
- IEC 63049 "Terrestrial photovoltaic (PV) systems - Guidelines for effective quality assurance in PV systems installation, operation and maintenance". 2017
- Cedric Brehaut, "Megawatt-Scale pv O&M and Asset Management", Markets, Services and Competitors, 2016-2021.
- NMX-J-643/1-ANCE "Dispositivos fotovoltaicos – Parte 1: Medición de la característica corriente-tensión de los dispositivos fotovoltaicos." 2011
- NMX-J-643/3-ANCE "Dispositivos fotovoltaicos - Parte 3: Principios de medición para dispositivos solares fotovoltaicos terrestres (FV) con datos de referencia para radiación espectral". 2011
- Arash Sayyah, "Energy yield loss caused by dust deposition on PV panels", 2014