



1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Medida de ensuciamiento en placas solares fotovoltaicas utilizando técnicas photometric stereo

Descripción general (resumen y metodología):

Las tecnologías del recurso solar, como la fotovoltaica, han demostrado ser alternativas eficaces y económicamente competitivas a la generación convencional de electricidad. La producción eléctrica mediante estas tecnologías depende de la disponibilidad de recurso solar en los lugares de interés. Sin embargo, este recurso no depende exclusivamente de las condiciones atmosféricas y del ciclo día-noche, sino también del estado de suciedad de las superficies colectoras [1,2]. El ensuciamiento deteriora la capacidad de captación de la radiación solar por parte de las superficies colectoras, provocando las consecuentes pérdidas económicas[3]. Por otro lado, las tareas de limpieza conllevan un gasto económico, tanto en materiales como en recurso humano. Por lo tanto, poder determinar el momento exacto de la limpieza dependerá tanto de las pérdidas generadas por la suciedad como de la inversión en las tareas de operación y mantenimiento [4]. Para ello es crucial poder determinar el estado de suciedad de las superficies captadoras usando métodos que monitoricen puntualmente los dispositivos. Los sistemas de captura de imagen son un buen candidato para esta tarea, y han sido empleados con éxito para este tipo de tareas utilizando cámaras acopladas a drones [5].

Aprovechando la próxima instalación de placas fotovoltaicas en la azotea de la Facultad de Ciencias con fines de investigación, en este trabajo se pretende avanzar en el desarrollo de una metodología basada en la toma de imágenes con la técnica photometric stereo para determinar los niveles de ensuciamiento de las superficies captadoras. Mediante esta técnica, que consiste en la toma de imágenes en cuatro geometrías diferentes de iluminación-observación, se puede modelizar la fracción de luz reflejada de forma especular y de forma difusa en una superficie plana, y una hipótesis plausible es que el depósito de suciedad en una placa fotovoltaica resulte en un aumento de la porción de reflexión difusa frente a la especular en la placa.

Tipología: Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática del Grado.

Objetivos planteados:

El objetivo general es diseñar y probar un método basado en la toma de imágenes con la técnica photometric stereo capaz de medir los niveles de suciedad en las placas fotovoltaicas.

Para ello se fijan los siguientes objetivos parciales y la metodología descrita en cada uno:

1. Revisión bibliográfica de los diferentes métodos de evaluación de la suciedad en captadores solares existentes que utilicen imágenes como datos de partida.
2. Puesta a punto del set-up en laboratorio para la toma de datos con la técnica photometric stereo, utilizando varias superficies planas (celdas solares entre ellas).
3. Implementación del modelo de análisis utilizado en la técnica para obtener la distribución de normales en la superficie, y las imágenes de fracción de luz especular y difusa.
4. Aplicación de la técnica usando paneles ensuciados en laboratorio y/o en exterior como validación.

Bibliografía básica:

- [1] Adekanbi, M. L., Alaba, E. S., John, T. J., Tundealao, T. D., & Banji, T. I. (2024). Soiling loss in solar systems: A review of its effect on solar energy efficiency and mitigation techniques. *Cleaner Energy Systems*, 7, 100094. <https://doi.org/10.1016/J.CLES.2023.100094>

- [2] Alkharusi, T., Alzahrani, M. M., Pandey, C., Yildizhan, H., & Markides, C. N. (2024). Experimental investigation of nonuniform PV soiling. *Solar Energy*, 272, 112493. <https://doi.org/10.1016/j.SOLENER.2024.112493>
- [3] Sarver, T., Al-Qaraghuli, A., & Kazmerski, L. L. (2013). A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22(0), 698-733. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.065>
- [4] Ammari, N., Mehdi, M., Alami Merrouni, A., Benazzouz, A., & Chaabelasri, E. (2024). In-situ soiling evaluation and cleaning schedules optimization for several PV technologies under desert climate. *Renewable Energy*, 224, 120167. <https://doi.org/10.1016/j.RENENE.2024.120167>
- [5] Winkel, P., Wilbert, S., Röger, M., Krauth, J., Algner, N., Nouri, B., Wolfertstetter, F., Carballo, J., Alonso-García, M., Polo, J., Fernández-García, A., & Pitz-Paal, R. (2024). Cell-Resolved PV Soiling Measurement Using Drone Images. *Remote. Sens.*, 16, 2617. <https://doi.org/10.3390/rs16142617>

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Sería recomendable una cierta familiaridad con los entornos de programación de Python o Matlab

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: AITOR MARZO ROSA

Ámbito de conocimiento/Departamento: ÓPTICA

Correo electrónico: aitorm@ugr.es

3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):

Nombre y apellidos: EVA MARÍA VALERO BENITO

Ámbito de conocimiento/Departamento: ÓPTICA

Correo electrónico: valerob@ugr.es

4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):

Nombre y apellidos:

Correo electrónico:

Nombre de la empresa o institución:

Dirección postal:

Puesto del tutor en la empresa o institución:

Centro de convenio Externo:

5. DATOS DEL ESTUDIANTE:

Nombre y apellidos:

Correo electrónico:

Título: Medida de ensuciamiento en placas solares fotovoltaicas utilizando técnicas *photometric stereo*

Tutores: Aitor Marzo Rosa y Eva M. Valero Benito

Plazas: 1

Grado en física

Descripción general (resumen):

Las tecnologías del recurso solar, como la fotovoltaica, han demostrado ser alternativas eficaces y económicamente competitivas a la generación convencional de electricidad. La producción eléctrica mediante estas tecnologías depende de la disponibilidad de recurso solar en los lugares de interés. Sin embargo, este recurso no depende exclusivamente de las condiciones atmosféricas y del ciclo día-noche, sino también del estado de suciedad de las superficies colectoras [1,2]. El ensuciamiento deteriora la capacidad de captación de la radiación solar por parte de las superficies colectoras, provocando las consecuentes pérdidas económicas[3]. Por otro lado, las tareas de limpieza conllevan un gasto económico, tanto en materiales como en recurso humano. Por lo tanto, poder determinar el momento exacto de la limpieza dependerá tanto de las pérdidas generadas por la suciedad como de la inversión en las tareas de operación y mantenimiento [4]. Para ello es crucial poder determinar el estado de suciedad de las superficies captadoras usando métodos que monitoricen puntualmente los dispositivos. Los sistemas de captura de imagen son un buen candidato para esta tarea, y han sido empleados con éxito para este tipo de tareas utilizando cámaras acopladas a drones [5].

Aprovechando la próxima instalación de placas fotovoltaicas en la azotea de la Facultad de Ciencias con fines de investigación, en este trabajo se pretende avanzar en el desarrollo de una metodología basada en la toma de imágenes con la técnica *photometric stereo* para determinar los niveles de ensuciamiento de las superficies captadoras. Mediante esta técnica, que consiste en la toma de imágenes en cuatro geometrías diferentes de iluminación-observación, se puede modelizar la fracción de luz reflejada de forma especular y de forma difusa en una superficie plana, y una hipótesis plausible es que el depósito de suciedad en una placa fotovoltaica resulte en un aumento de la porción de reflexión difusa frente a la especular en la placa.

Objetivos y metodología:

El objetivo general es diseñar y probar un método basado en la toma de imágenes con la técnica *photometric stereo* capaz de medir los niveles de suciedad en las placas fotovoltaicas.

Para ello se fijan los siguientes objetivos parciales y la metodología descrita en cada uno:

1. Revisión bibliográfica de los diferentes métodos de evaluación de la suciedad en captadores solares existentes que utilicen imágenes como datos de partida.
2. Puesta a punto del set-up en laboratorio para la toma de datos con la técnica *photometric stereo*, utilizando varias superficies planas (celdas solares entre ellas).
3. Implementación del modelo de análisis utilizado en la técnica para obtener la distribución de normales en la superficie, y las imágenes de fracción de luz especular y difusa.

4. Aplicación de la técnica usando paneles ensuciados en laboratorio y/o en exterior como validación.

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante

Sería recomendable una cierta familiaridad con los entornos de programación de Python o Matlab

Bibliografía básica:

- [1] Adekanbi, M. L., Alaba, E. S., John, T. J., Tundealao, T. D., & Banji, T. I. (2024). Soiling loss in solar systems: A review of its effect on solar energy efficiency and mitigation techniques. *Cleaner Energy Systems*, 7, 100094. <https://doi.org/10.1016/J.CLES.2023.100094>
- [2] Alkharusi, T., Alzahrani, M. M., Pandey, C., Yildizhan, H., & Markides, C. N. (2024). Experimental investigation of nonuniform PV soiling. *Solar Energy*, 272, 112493. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2024.112493>
- [3] Sarver, T., Al-Qaraghuli, A., & Kazmerski, L. L. (2013). A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22(0), 698–733. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.065>
- [4] Ammari, N., Mehdi, M., Alami Merrouni, A., Benazzouz, A., & Chaabelasri, E. (2024). In-situ soiling evaluation and cleaning schedules optimization for several PV technologies under desert climate. *Renewable Energy*, 224, 120167. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2024.120167>
- [5] Winkel, P., Wilbert, S., Röger, M., Krauth, J., Algnier, N., Nouri, B., Wolfertstetter, F., Carballo, J., Alonso-García, M., Polo, J., Fernández-García, A., & Pitz-Paal, R. (2024). Cell-Resolved PV Soiling Measurement Using Drone Images. *Remote. Sens.*, 16, 2617. <https://doi.org/10.3390/rs16142617>