



<https://eqrcode.co/a/GAJpg8>

ARTÍCULO ORIGINAL

Evaluación de cortinas rompevientos para la protección de paneles fotovoltaicos enclavados en zonas rurales

Evaluation of windbreaks for the protection of photovoltaic panels located in rural areas

MSc. Alexander Laffita-Leyva*, Dr.Cs. Arturo Martínez-Rodríguez, Dr.C. Pedro A. Valdés-Hernández, Ing. Agustín Alonso-Fraga, Ing. Rigoberto Acosta-Díaz

Universidad Agraria de La Habana (UNAH), la Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. La investigación pertenece a un proyecto aprobado por el Programa Nacional de Energía. El objetivo del trabajo consiste en evaluar el efecto de protección que pueden brindar las cortinas rompe vientos a un campo fotovoltaico situado en un área rural, ante la acción de vientos huracanados, aplicando herramientas de Dinámica de Fluido Computacional (CFD). Se simula una cortina rompevientos de Bugambilia (*Bougainvillea spectabilis*) de 2 y 3 m de altura y porosidades de 0,56 y 0,79. Se determinan, para diferentes intensidades y dirección de los vientos, la distribución de velocidades del viento en el entorno de un sector de campo fotovoltaico compuesto por diez baterías, conformadas por 10 módulos fotovoltaicos cada una con un arreglo de 5x2 paneles. Asimismo, se determinan las cargas aerodinámicas y las tensiones de Von Mises que actúan sobre los paneles. Como resultado se obtiene que la cortina proporciona una protección efectiva a todo el campo fotovoltaico conservándose la integridad de los paneles solares, debido a que las tensiones dinámicas máximas alcanzadas no superan las cargas permisibles para vientos de hasta 56 m/s (200 km/h) coincidente con los límites superiores de la velocidad del viento en huracanes de categoría III de la escala Saffir Simpson.

Palabras clave: porosidad, campos fotovoltaicos, CFD, cargas permisibles, huracanes.

ABSTRACT. The research belongs to a project approved by the National Energy Program. The objective of the work is to evaluate the protection effect that windbreak curtains can provide to a photovoltaic field located in a rural area, in the face of hurricane force winds, applying Computational Fluid Dynamics (CFD) tools. A windbreaker of Bugambilia (*Bougainvillea spectabilis*) of 2 and 3 m in height and porosities of 0.56 and 0.79 is simulated. The distribution of wind speeds in the environment of a photovoltaic field sector composed of ten batteries, made up of 10 photovoltaic modules each with an arrangement of 5x2 panels, are determined for different intensities and direction of the winds. Likewise, the aerodynamic loads and the Von Mises stresses acting on the panels are determined. As a result, it is obtained that the curtain provides effective protection to the entire photovoltaic field, preserving the integrity of the solar panels, due to the fact that the maximum dynamic tensions reached do not exceed the permissible loads for winds of up to 56 m / s (200 km / h) coinciding with the upper limits of the wind speed in category III hurricanes of the Saffir Simpson scale.

Keywords: porosity, photovoltaic fields, CFD, allowable loads, hurricanes.

INTRODUCCIÓN

Numerosas investigaciones han estado dirigidas a obtener la configuración y estructura óptima de cortinas rompevientos conformadas por árboles y/o arbustos para la protección de cultivo y evitar las erosiones del suelo (Gillies *et al.*, 2002;

Grala, 2004; Řeháček *et al.*, 2017). La cantidad de protección y el rango de la zona a proteger por la cortina depende de su estructura tales como la porosidad, espesor y forma, así como de condiciones medioambientales tales como la dirección e

*Autor para correspondencia: Alexander Laffita-Leyva, e-mail: alexl@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5584-4786>

Recibido: 12/12/2020.

Aprobado: 19/04/2021.

intensidad del viento (Wang *et al.*, 2001). Wang & Takle (1997), refieren que la estructura de las cortinas rompevientos puede ser caracterizada por una combinación de la estructura interna (la porosidad) y la estructura externa (la forma). Zhou *et al.* (2005), amplían estas definiciones basados en las observaciones de campo de numerosos estudios definiendo que toda la estructura aerodinámica en las tres dimensiones de la cortina está definida por: las características externas tales como longitud, altura, ancho y forma de la sección transversal y por los componentes de su estructura interna a saber cantidad y distribución de la cantidad de área y volumen de vegetación, así como la forma geométrica de los elementos individuales de la misma.

Estudios de la porosidad de la cortina han concluido que una cortina media densa brinda la mayor protección, al obtener los mayores valores promedios de reducción de la velocidad del viento sobre la zona de influencia de la cortina. Sin embargo, el efecto de protección que genera la forma de la cortina aún no está bien demostrado y está aún sin resolver al no contarse con estudios teóricos y numéricos en este sentido (Wang & Takle, 1997). Algunos investigadores sugieren que una forma suave produce una menor reducción de la velocidad, sin embargo, Woodruff and Zingg (1953) citados por Wang & Takle (1997), reportaron a partir de ensayos realizados en un túnel aerodinámico pequeñas diferencias en cuanto a reducción del viento para diferentes formas de cortina, aunque desafortunadamente no emplearon cortinas de forma rectangular. Aunque esta última es actualmente una de las más recomendadas para obtener máxima reducción del viento, Wang & Takle (1997) concluyen que la forma de la cortina no influye significativamente en la protección a partir de los resultados alcanzados durante modelaciones numéricas realizadas para siete formas diferentes de cortinas rompevientos.

Por otra parte, la porosidad no resulta un parámetro invariable, puede ser modificada por la velocidad del flujo de aire. De esta manera, para las cortinas constituidas por especies latifoliadas (árboles o arbustos que tienen las hojas anchas y planas, en contraposición a las coníferas que tienen hojas estrechas, aciculares o escamadas), las hojas tienden a colocarse de manera paralela al flujo del aire (Golberg *et al.*, 2003). La porosidad aumenta con la velocidad del viento y la barrera se torna más permeable.

En cortinas de coníferas, por el contrario, las ramas tienen tendencia a apretarse unas contra otras cuando la velocidad del viento aumenta, entonces la porosidad disminuye y la barrera se hace más impermeable reduciendo la velocidad del viento a sotavento (Golberg *et al.*, 2003).

La posición geográfica de archipiélago cubano, junto a un grupo de factores físico geográficos y meteorológicos, así como su configuración estrecha y alargada rodeado por mares poco profundos en su plataforma y grandes volúmenes de agua en el Mar Caribe, Golfo de México y el Océano Atlántico favorece la existencia de una compleja distribución espacio-temporal de los procesos meteorológicos, y su manifestación en consecuencia de una múltiple combinación de los procesos atmosféricos de la zona tropical y las latitudes medias (Batista & Matos, 2013).

Los campos fotovoltaicos se ubican generalmente en zonas

abiertas y despejadas por lo que presentan gran vulnerabilidad ante la acción de los vientos. Cuba se encuentra en una zona de alta recurrencia de huracanes y aunque la energía fotovoltaica presenta bajos costos de operación y mantenimiento, su inversión inicial es considerable; por lo que se hace necesario preparar las estructuras para que resistan las cargas de viento durante su vida útil.

Existen numerosos trabajos que han desarrollado estudios de simulación mediante CFD de las cargas aerodinámicas del viento sobre baterías y módulos fotovoltaicos (Gofran, 2008; Castelli *et al.*, 2012; Menacho & García, 2013; Salman *et al.*, 2014; Abjeg, 2016). Dichas investigaciones han sido dirigidas fundamentalmente para evaluar el comportamiento estructural de los sistemas de apoyo, los cuales se encuentran montados sobre seguidores solares en campos fotovoltaicos o sobre el techo de las edificaciones y no han reportado la incidencia de las cargas aerodinámicas sobre el comportamiento estructural del módulo fotovoltaico. Por otro lado, el efecto de protección que pueden brindar las cortinas rompe vientos de Bugambilia a objetivos agrícolas ante el impacto de vientos huracanados no ha sido abordado en Cuba.

Por lo que se plantea como objetivo del trabajo evaluar el efecto de protección que pueden brindar las cortinas rompe vientos a un campo fotovoltaico de paneles solares situado en un área rural, ante la acción de vientos huracanados, aplicando herramientas de Dinámica de Fluido Computacional (CFD).

MATERIALES Y METODOS

Materiales y métodos para la modelación del campo fotovoltaico

En la Figura 1 se muestra la modelación de la cortina rompevientos, campo fotovoltaico conformado por diez baterías de módulos fotovoltaicos con el arreglo de 5x2 módulos y el suelo. Los elementos que conforman dicha modelación fueron realizados con la ayuda del software SolidWorks. La ubicación de la cortina rompevientos en el campo fotovoltaico responde a la protección que debe brindar a las baterías ante la dirección de los vientos predominantes, dejándose una distancia mínima de 3 m entre la base de la misma y el módulo más próximo para la realización de mantenimientos.

La dirección de los vientos predominantes se establece de norte a sur con valores de velocidad teniendo en cuenta las categorías I, II y III (33; 49 y 56 m/s equivalentes a 118; 176 y 201 km/h) para huracanes, según la escala Saffir Simpson. Las dimensiones exteriores de las estructuras para cada batería son iguales a 3 456 x 5 090 m con una inclinación de 15° con respecto al suelo de acuerdo a los planos de las estructuras soporte facilitados por la planta de herrajes y galvanizado de Nueva Paz, Mayabeque.

Se modela una cortina rompevientos de Bugambilia (*Bougainvillea spectabilis*) de 2 y 3 m de altura de acuerdo a la altura que pueden adquirir las mismas en pocos años evitando provocar zonas de sombra sobre las baterías fotovoltaicas y con porosidades de 0,56 y 0,79.

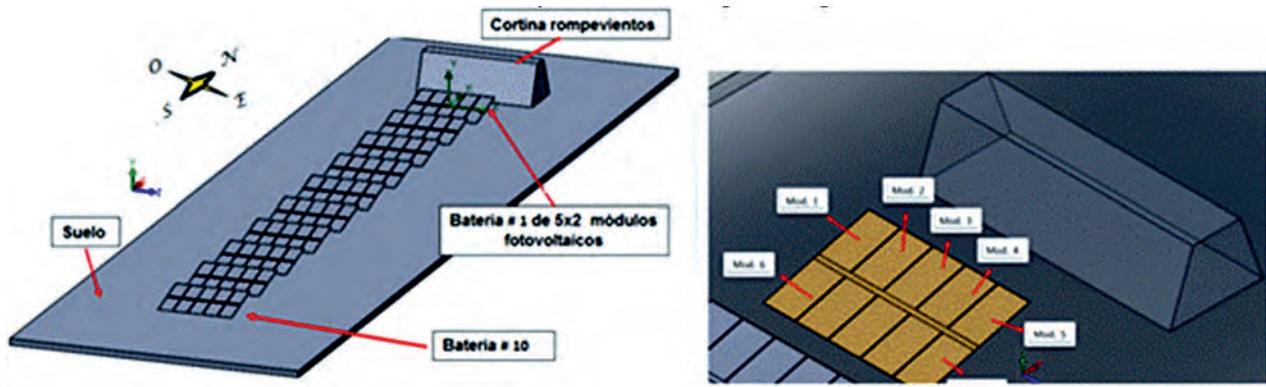


FIGURA.1 Modelación del campo fotovoltaico.

La Tabla 1 muestra las diferentes combinaciones de tratamientos de las variables independientes a emplear durante la simulación mediante CFD para evaluar el impacto de las cargas

aerodinámicas del viento con la presencia de elementos de protección. Además, se realiza una simulación sin la presencia de cortinas rompevientos.

TABLA 1. Combinaciones de tratamientos empleados durante la investigación

| Tratamientos Variables | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
|--|------|------|------|------|------|------|
| Velocidad del viento (V_v), m/s | 33 | 49 | 56 | 33 | 49 | 56 |
| Altura cortina (H_{cr}), m | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Porosidad de la cortina (ϵ) | 0,56 | 0,56 | 0,56 | 0,79 | 0,79 | 0,79 |
| Tratamientos Variables | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 | T12 |
| Velocidad del viento (V_v), m/s | 33 | 49 | 56 | 33 | 49 | 56 |
| Altura cortina (H_{cr}), m | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Porosidad de la cortina (ϵ) | 0,56 | 0,56 | 0,56 | 0,79 | 0,79 | 0,79 |

Materiales y métodos para determinar las cargas aerodinámicas del viento sobre las baterías de módulos fotovoltaicos

El análisis del comportamiento de la corriente de aire para los diferentes tratamientos se realizó con la ayuda del módulo de Dinámica de Fluidos Computacional SolidWorks Flow Simulation. En la figura 2 se muestra el dominio computacional y algunas de las dimensiones que se tuvieron en cuenta para colocar los elementos que conforman el campo fotovoltaico.

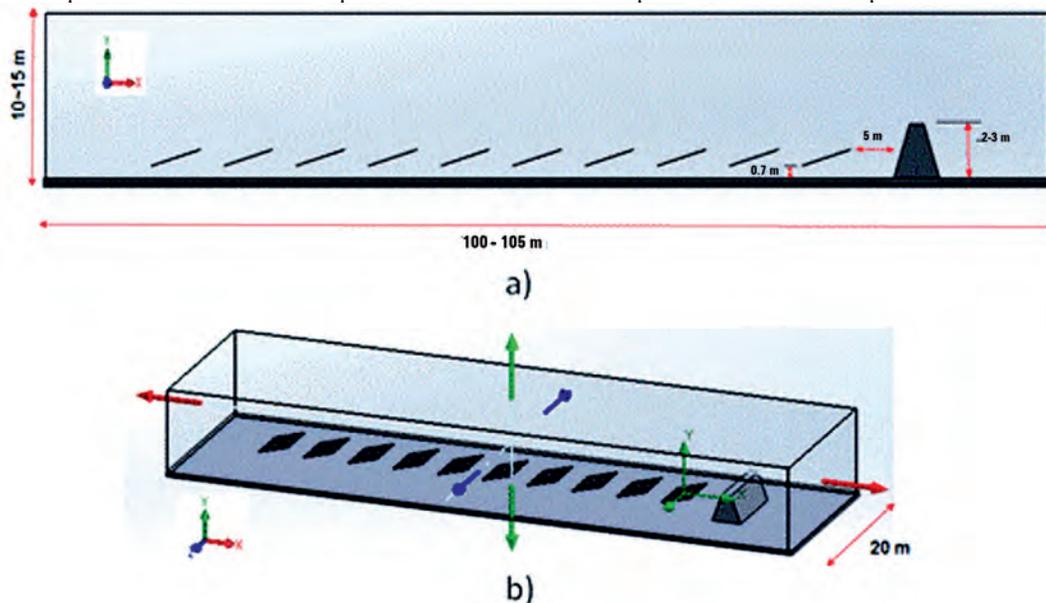


FIGURA 2. Vistas del dominio computacional, a) vista frontal; b) vista isométrica.

Materiales y métodos para determinar las tensiones y deformaciones en el módulo fotovoltaico

Una vez determinada la distribución de fuerzas sobre el panel sometido a mayor carga se efectúa, sobre el modelo digitalizado del módulo fotovoltaico DSM-240-C, un análisis de tensiones y deformaciones mediante el método de los elementos finitos empleando el módulo SolidWorks Simulation. El módulo ha sido subdividido en 6 sectores debido a la variabilidad de la distribución de fuerzas sobre el mismo. De esta manera se trata de lograr una mayor aproximación a la acción real de las cargas aerodinámicas del viento. Para la digitalización del módulo fotovoltaico DSM-240-C se utilizan las dimensiones facilitada por la empresa de componentes electrónicos Ernesto Che Guevara ubicada en la provincia de Pinar del Río.

En la Figura 3 se establecen las condiciones de frontera impuestas al modelo y se declaran: las restricciones al movimiento en los tres ejes coordenados en los soportes superiores, situados en las cuatro esquinas del módulo fotovoltaico (flechas de color verde) y valores de presión correspondientes a la fuerza obtenida de la simulación mediante CFD (flechas de color rojo) aplicada en la superficie de cada sector del sándwich.

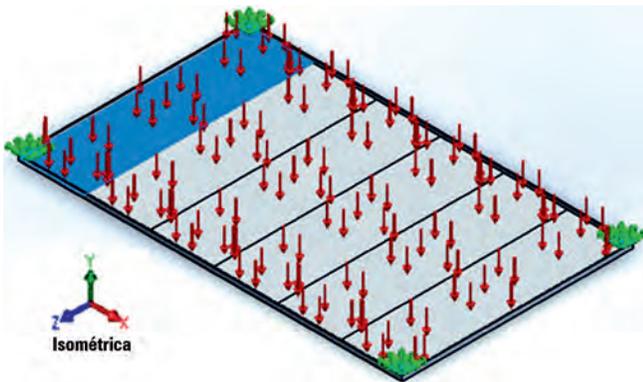


FIGURA 3. Condiciones de frontera impuestas al modelo.

Determinación de las tensiones dinámicas

Es conocido que las cargas aerodinámicas del viento no presentan solamente un carácter sostenido sobre las baterías fotovoltaicas ya que los vientos huracanados se manifiestan en forma de ráfagas que convierten esas cargas en dinámicas. Para tener en cuenta este efecto, se determinan las tensiones dinámicas sobre la base de emplear la norma cubana NC-285:2003 (2003) según lo propuesto por López *et al.* (2017).

$$\sigma_d = C_r \cdot \sigma_e \quad (1)$$

donde:

σ_d - Esfuerzo dinámico sobre el módulo fotovoltaico, MPa;

C_r -Coeficiente de ráfaga, 1,4;

σ_e -Esfuerzo estático sobre el módulo fotovoltaico, MPa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de la distribución de velocidades y presiones que actúan sobre las baterías fotovoltaicas

En las Figuras 4 y 5 se presentan la distribución de velocidades en el plano X-Y para los tratamientos 1 y 7 para una velocidad del viento igual a 33 m/s a 2 y 3 m de altura e igual porosidad de la cortina respectivamente. De las mismas se visualiza como la cortina de Bugambilia influye sustancialmente en el comportamiento del perfil de velocidades en las primeras seis baterías, que representa una distancia de 30 m, atenuándose hasta un 55% como promedio del valor inicial y a partir de la séptima hasta la décima (que representa una distancia de 52 m), se atenúa entre un 30 y un 18% respectivamente. Así mismo se aprecia el grado de autoprotección que generan las baterías entre sí.

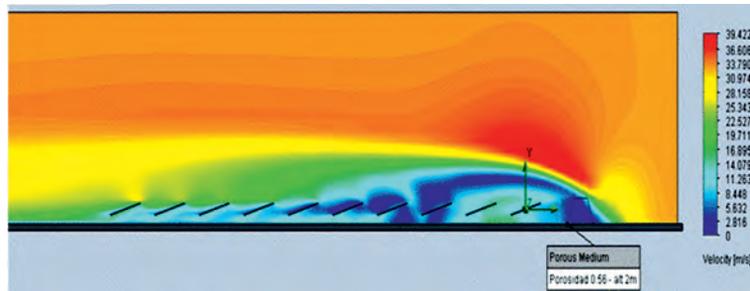


FIGURA 4. Distribución de velocidades en el plano X-Y para el tratamiento T1.

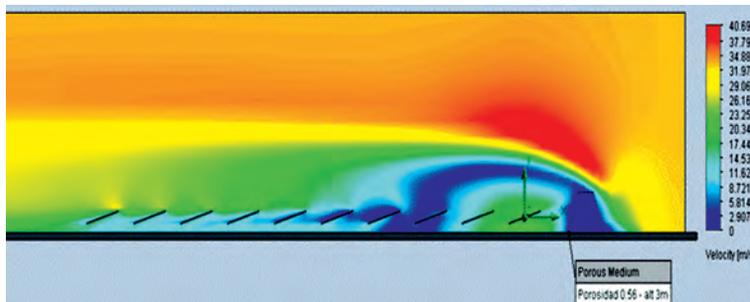


FIGURA 5. Distribución de velocidades en el plano X-Y para el tratamiento T7.

En la Figura 6 se muestran la distribución de presiones obtenida con y sin protección de cortina rompevientos para una velocidad del viento igual a 49 m/s. En los resultados obtenidos, con cortina se minimizan los valores de presión relativa positiva sobre la superficie inferior de los módulos fotovoltaicos de 500 a 260 Pa como promedio, lo que representa un 48% y se

evidencian un menor efecto de succión en las superficies superiores, con respecto a cuándo no existe cortina. Este efecto de succión que se genera, no ha sido considerado frecuentemente en los cálculos de la fuerza aerodinámica total que se genera sobre módulos fotovoltaicos, dato de interés para el diseño de su estructura de apoyo.

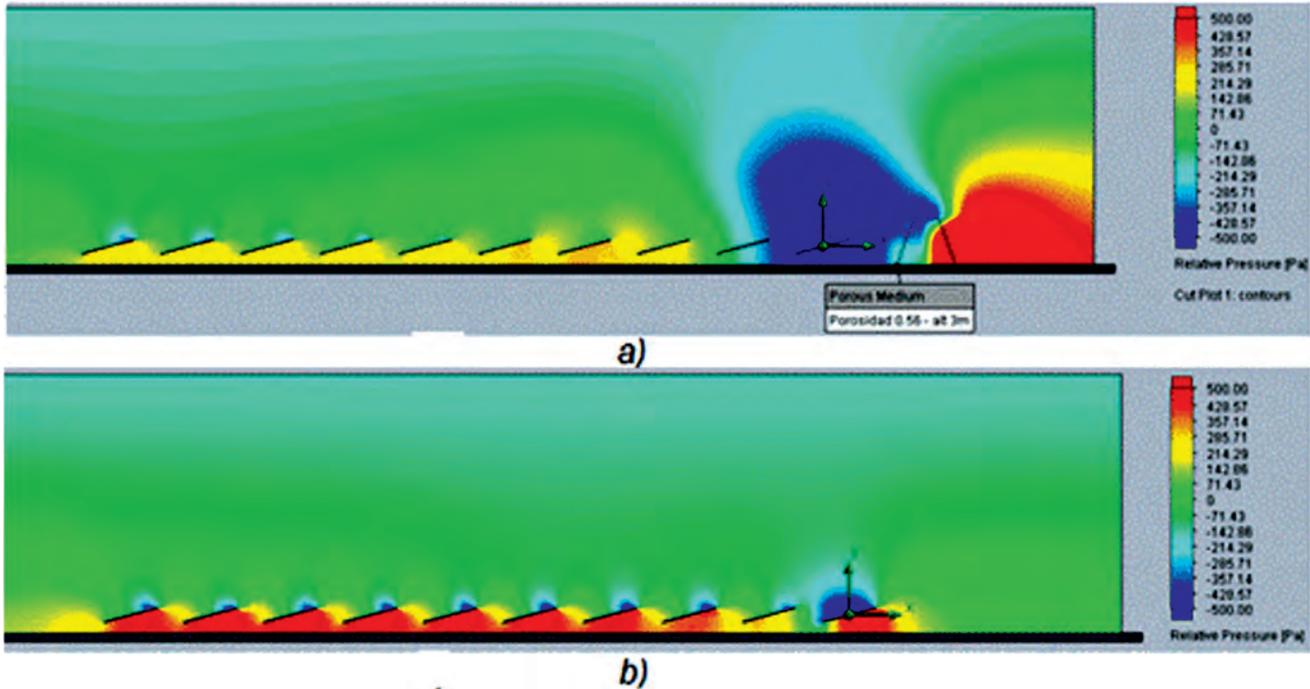


FIGURA 6. Distribución de presiones relativa para una velocidad de 49 m/s a) con protección, tratamiento T8 y b) sin protección.

Determinación de las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre las baterías de módulos fotovoltaicos

En las Figuras 7, 8 y 9 se presentan la distribución de fuerzas aerodinámicas promedios en las baterías con y sin la presencia de cortina rompevientos para las velocidades de 33 m/s (119 km/h), 49 m/s (176 km/h) y 56 m/s (201 km/h) respectivamente. En todos los casos se observa que existe una reducción de las fuerzas aerodinámicas sobre el campo fotovoltaico con la presencia de la cortina entre un 28,8 y 38,7% como promedio, para la velocidad mínima (33 m/s) y máxima (56 m/s) respectivamente, lo que justifi-

ca el empleo de cortinas de Bugambilia. No obstante, el cambio de la porosidad no arrojó efecto significativo en la protección de las baterías. Los mayores valores de carga aerodinámica se presentan en la cuarta y última batería en el entorno de 2 036 a 7 705,8 N y de 2 848 a 8 135,7 N respectivamente, para los valores de velocidad en estudio. Así mismo cuando no existe protección la primera batería soporta los mayores valores de carga aerodinámica en el orden de los 7 163 a 20 658 N para las velocidades en estudio, comportándose como una barrera de autoprotección para el resto de las baterías de módulos fotovoltaicos.

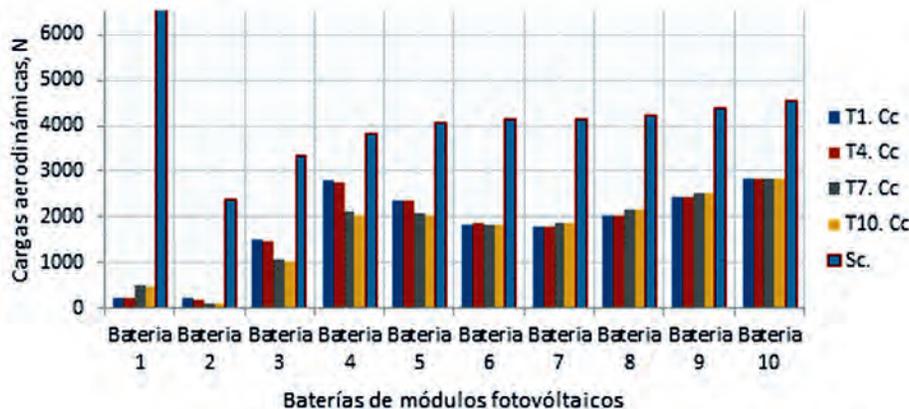


FIGURA 7. Distribución de fuerzas aerodinámicas sobre las baterías con y sin la presencia de cortina rompe vientos para velocidad de 33 m/s.

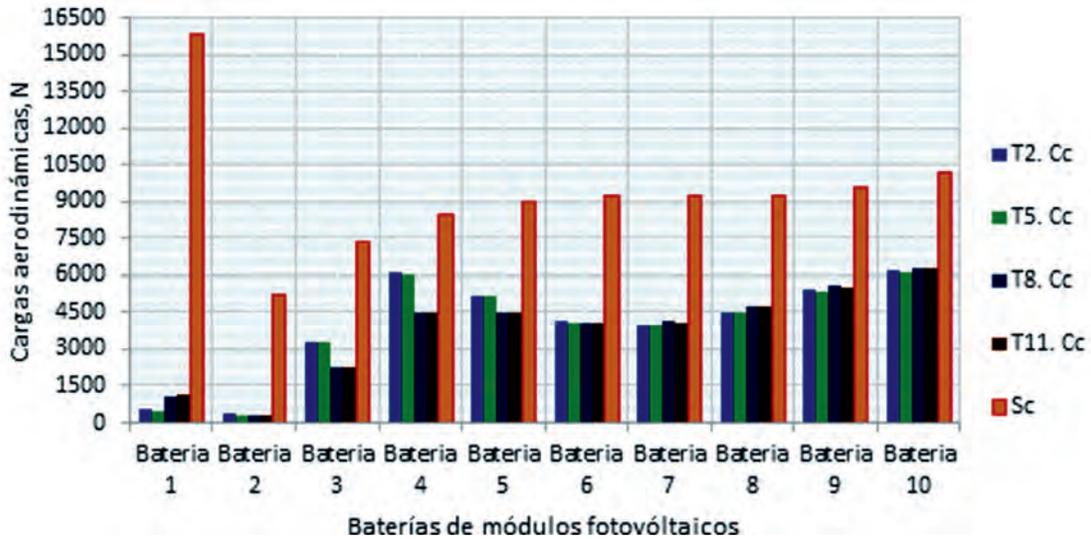


FIGURA 8. Distribución de fuerzas aerodinámicas sobre las baterías con y sin la presencia de cortina rompe vientos para velocidad de 49 m/s.

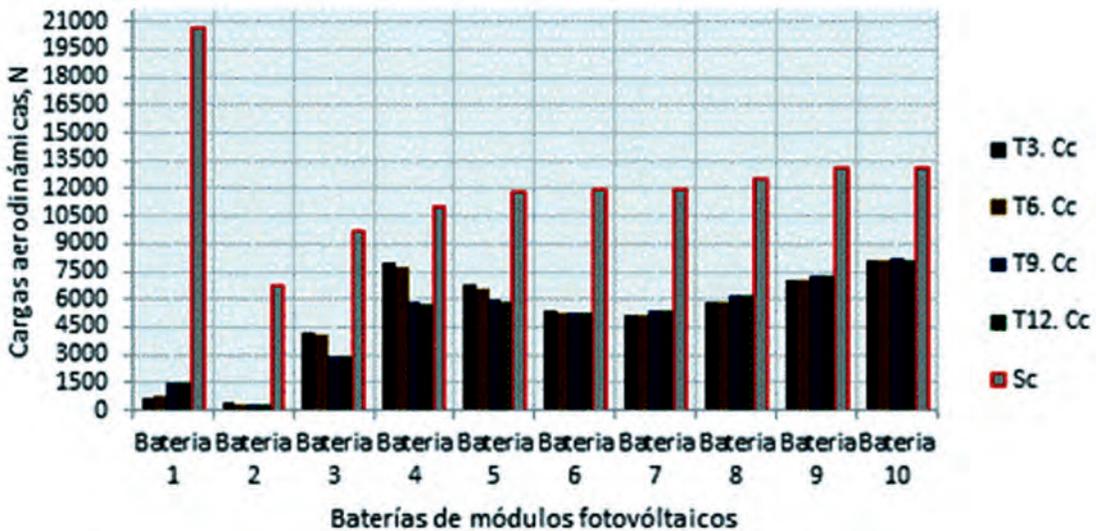


FIGURA 9. Distribución de fuerzas aerodinámicas sobre las baterías con y sin la presencia de cortina rompe vientos para velocidad de 56 m/s.

Determinación de las tensiones en el módulo fotovoltaico más cargado con y sin protección

En la Tabla 2 se presentan las tensiones equivalentes máximas para las velocidades en estudio, sobre el módulo 3 de las baterías 10 y 1 más cargadas, con y sin la presencia de cortina rompe vientos. Como resultado se obtiene que las tensiones dinámicas máximas no superan el valor límite de resistencia a la flexión igual a 79 MPa, del material base de los paneles

(cristal templado), según Alucrasa S.A. (2008) y Euroglas S.A. (2013), para la batería 10 más cargada, por lo que la cortina proporciona una protección efectiva a todo el campo fotovoltaico conservándose la integridad de los paneles solares, no siendo así para cuando no existe la presencia de la cortina para valores de velocidad de 49 y 56 m/s.

En la Figura 10 se presenta la distribución de tensiones en el módulo 3 de la batería 10 para el caso de la velocidad de 56 m/s.

TABLA 2. Tensiones equivalentes máximas sobre los módulos más cargados con y sin la presencia de cortina rompevientos

| Velocidad, m/s | 56 | | 49 | | 33 | |
|----------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|
| | Bat 10. Cc | Bat 1. Sc | Bat 10. Cc | Bat 1. Sc | Bat 10. Cc | Bat 1. Sc |
| σ_{est} , MPa | 46,91 | 97,25 | 35,62 | 76,23 | 16,14 | 33,71 |
| σ_d , MPa | 65,67 | 136,15 | 49,87 | 106,72 | 22,60 | 47,19 |

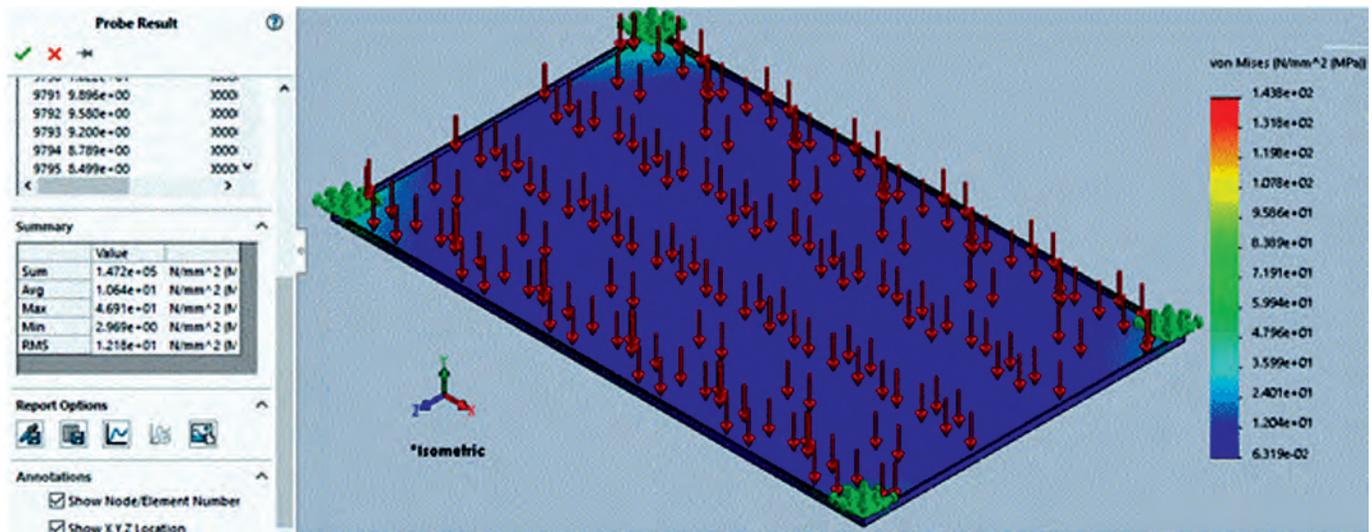


FIGURA 10. Distribución de tensiones en el módulo 3 de la batería 10 para una velocidad de 56 m/s.

CONCLUSIONES

- Mediante la simulación, aplicando técnicas de dinámica de fluido computacional, se justifica el empleo de cortinas rompavientos de Bugambilia para la protección de objetivos en áreas rurales, a partir de los resultados siguientes:
- Se obtuvo que el empleo de la cortina rompe vientos de Bugambilia en las primeras seis baterías representó una atenuación de la velocidad del viento de hasta un 55% del valor inicial y a partir de la séptima hasta la décima entre un 30 y un 18% respectivamente.
- Se obtuvo que con cortina se minimizan los valores de presión relativa positiva sobre la superficie inferior de los módulos fo-

- tovoltaicos de 500 a 260 Pa como promedio, lo que representa hasta un 48% y se evidencia un menor efecto de succión en las superficies superiores, con respecto a cuándo no existe cortina.
- En todos los casos se observa que con el empleo de la cortina existe una reducción de las fuerzas aerodinámicas sobre el campo fotovoltaico entre un 28,8 y 38,7% para la velocidad mínima (33 m/s) y máxima (56 m/s) respectivamente.
- Con la presencia de la cortina en los módulos fotovoltaicos más cargados, para las velocidades en estudio, se obtuvo valores de tensiones dinámicas inferiores a las tensiones límite de resistencia a la flexión del material base de los módulos fotovoltaicos (cristal templado).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABJEG, H.: *Concentrated photovoltaic tracker component stability and economic study*, School of science and engineering of Morocco, Eng. Thesis, Morocco, 2016.
- ALUCRASA S.A.: *Soluciones en aluminio y cristal*, [en línea], Alucrasa, 2008, Disponible en: <http://www.alucrasa.com/?s=faq>, [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
- BATISTA, T.M.; MATOS, P.F.: “¿Realidad o incertidumbre?”, *Revista Energía y tú*, 61: 29-31, 2013, ISSN: 1028-9925.
- CASTELLI, M.R.; TONIATO, S.; BENINI, E.: “Numerical Simulation of the Aerodynamic Loads acting on top of the SMART Centre for PV Applications”, *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, 6(3): 725-730, 2012.
- EUROGLAS S.A.: *Ficha técnica de cristal templado*, [en línea], Euroglas, 2013, Disponible en: <http://euroglas.mx/sites/default/files/parades-cargar/fichaTEMPLADO3.pdf>, [Consulta: 10 de diciembre de 2013].
- GILLIES, J.; NICKLING, W.; KING, J.: “Drag coefficient and plant form response to wind speed in three plant species: Burning Bush (*Euroyonimus alatus*), Colorado Blue Spruce (*Picea pungens glauca.*), and Fountain Grass (*Pennisetum setaceum*)”, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D24): 1-15, 2002, ISSN: 0148-0227, DOI: <https://dx.doi.org/10.1029/2001jd001259>.
- GOFRAN, C.: *Experimental validation of CFD model predicting wind effects on inclined-roof mounted photovoltaic modules*, KTH Industrial Engineering and Management Department of Energy Technology Division of Heat and Power Technology, Theses (in option of academic title Master of Science), Stockholm, 2008.
- GOLBERG, D.; BOLDES, U.; COLMAN, J.: *Capítulo 5: La protección de los cultivos de los efectos del viento: En Viento, Suelo y Plantas/ Edit*, Ed. INTA, INTA ed., Argentina, 130 p., 2003, ISBN: 987-521-104-4.
- GRALA, K.R.: *An evaluation of the benefits and costs of in-field shelterbelts in Midwestern USA*, [en línea], Midwestern, Retrospective Theses and Dissertations, Midwestern USA, 2004, Disponible en: <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/1163>, [Consulta: 10 de diciembre de 2016].
- LÓPEZ, L.A.; LEÓN, F.E.D.; PARNÁS, V.B.E.; CATALDO, O.J.: “Estudio de coeficientes de presión en paneles solares frente a la acción del viento”, *Revista Cubana de Ingeniería*, 7(3): 35-44, 2017, ISSN: 2223-1781.
- MENACHO, J.; GARCÍA, G.A.A.: “A Study about the Protection of an Array of Solar Panels from the Wind Load Action”, En: *World Congress on Engineering, World Congress on Engineering*, vol. 3, 2013, ISBN: 978-988-19252-9-9.

Laffita-Leyva *et al.*: Evaluación de cortinas rompevientos para la protección de paneles fotovoltaicos enclavados en zonas rurales NC-285:2003: *Carga de viento. Método de cálculo*, Inst. Oficina Nacional de Normalización, Norma Cubana NC, La Habana, Cuba, vig de 2003.

ŘEHÁČEK, D.; KHEL, T.; KUČERA, J.; VOPRAVIL, J.; PETERA, M.: "Effect of windbreaks on wind speed reduction and soil protection against wind erosion", *Soil and Water Research*, 12(2): 128-135, 2017, ISSN: 1805-9384, DOI: <https://dx.doi.org/10.17221/45/2016-SWR>.

SALMAN, A.; HOMSIRIKAMOL, E.; SHIH, P.J.: "Solar Panels Support Systems in Tropical Countries: An Inexpensive Approach", *ALAM CIPTA, International Journal of Sustainable Tropical Design Research and Practice*, 6(2): 53-58, 2014, ISSN: 2289-3687.

WANG, H.; TAKLE, E.S.: "Model-simulated influences of shelterbelt shape on wind-sheltering efficiency", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 36(6): 695-704, 1997, ISSN: 1520-0450.

WANG, H.; TAKLE, E.S.; SHEN, J.: "Shelterbelts and windbreaks: mathematical modeling and computer simulations of turbulent flows", *Annual Review of Fluid Mechanics*, 33(1): 549-586, 2001, ISSN: 0066-4189.

ZHOU, X.; BRANDLE, J.; MIZE, C.; TAKLE, E.: "Three-dimensional aerodynamic structure of a tree shelterbelt: Definition, characterization and working models", *Agroforestry systems*, 63(2): 133-147, 2005, ISSN: 1572-9680.

Alexander Laffita-Leyva, Profesor Asistente, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: alexl@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5584-4786>

Arturo Martínez-Rodríguez, Profesor e Investigador Titular, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: armaro646@gmail.com ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-0539-1114>

Pedro A. Valdés-Hernández, Profesor e Investigador Titular, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: pvaldes@unah.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8570-0895>

Agustín Alonso-Fraga, Adiestrado, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: tin140600tin@gmail.com agustinalonso66@nauta.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5336-667X>

Rigoberto Acosta-Díaz, Egresado de la Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: alexl@unah.edu.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

